

## II-056 - CARACTERIZAÇÃO DE HIDROGRAMAS DIÁRIOS DE VAZÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM CONDOMÍNIO DE BELO HORIZONTE

**Luciano Albuquerque Rosa Junior<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Cláudio Leite de Souza<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Lucas Martins Machado<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Vereador João Veloso, 48 – Centro – Arcos – MG – CEP: 35588-000 – Brasil – Tel: (37) 99104-6604 – e-mail: [luciano.albuquerque94@gmail.com](mailto:luciano.albuquerque94@gmail.com)

### RESUMO

As características quantitativas da geração de esgoto doméstico em sistemas de coleta e tratamento são de suma importância para a correta concepção, dimensionamento e otimização do sistema visando a sustentabilidade. A normatização brasileira de coleta de esgoto (NBR-9649) fornece valores para coeficiente de retorno de esgoto/água ( $C = 0,8$ ) e coeficientes de variação de vazão ( $K1 = 1,2$ ,  $K2 = 1,5$  e  $K3 = 0,5$ ), que são generalizadamente utilizados em projetos, tanto para sistemas de esgoto de pequena e grande escalas. Para o dimensionamento de sistemas de transporte e estações de tratamento de esgoto (ETE) com vazões relativamente maiores, os valores de coeficientes normatizados tendem a ser realísticos. Porém, dentro da abordagem mais localizada e visando sistemas e ETEs sustentáveis e descentralizadas, as informações são escassas e há fortes receios no sentido de que as variações das vazões sejam muito mais contundentes e distantes dos parâmetros das normas habituais. O presente estudo teve como objetivo medir e avaliar hidrogramas diários de vazão de esgoto doméstico especialmente no contexto da geração em condomínio residencial de pequena escala. Para isso, foi instalada uma calha medidora de vazão (tipo Palmer-Bowlus, associada com sensor ultrassônico e sistema de aquisição e registro automatizado-datalogger) em um condomínio residencial de Belo Horizonte. Nesse sistema, obtiveram os valores de vazão de esgoto para cada minuto do dia, ao longo do ano de 2015 e alguns meses de 2017. Por meio de análises estatísticas de dados, calcularam-se médias móveis de 24 termos horários. Os resultados obtidos indicaram que as variações das vazões no condomínio monitorado com relação às médias mensais e anual, para população de cerca de 300 habitantes, não foram muito contundentes e variáveis como se esperava. Com isso, o presente estudo traz informações que subsidiam o dimensionamento de sistemas descentralizados de coleta e tratamento de esgotos domésticos, até mesmo ao nível de ETEs pequenas em condomínios habitacionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Condomínio, tratamento de esgoto, hidrograma, vazão, descentralização.

### INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico é um dos grandes desafios para o Brasil nas próximas décadas. Segundo dados recentes (ANA, 2015), 45% da população não possui tratamento de esgoto e 27% da população não possui seu esgoto coletado e tratado. Nas regiões Norte e Nordeste esses números se tornam ainda mais alarmantes, apenas 33% e 48% da população respectivamente possui tratamento adequado de esgoto.

Visando não somente questões ambientais, mas também como forma de prevenção de doenças e geração de qualidade de vida, a democratização dos serviços e a universalidade de atendimento é talvez a principal premissa buscada para o esgotamento sanitário (BARROS et. al 2007). Aliado a essa questão, busca-se ampliar a responsabilidade e participação popular no gerenciamento dos esgotos gerados, através do acesso a informação e conscientização da população com relação aos perigos causados pelo não tratamento dos esgotos.

Sendo assim, as discussões sobre o uso de sistemas descentralizados ou centralizado para o tratamento de esgoto se tornam cada vez mais presentes visando um cenário de sustentabilidade e atendimento integral de saneamento. Para isso, se faz necessários conhecer parâmetros quantitativos e qualitativos de geração local a fim de otimizar o dimensionamento das unidades de tratamento.

O processo de dimensionamento de sistemas de tratamento de esgoto apresenta lacunas referentes às variáveis envolvidas na estimação das vazões de projeto, principalmente, no que tange o comportamento das vazões de esgoto para pequenas populações. Tem-se que os questionamentos referentes à geração de esgoto são abordados predominantemente no âmbito das Estações de Tratamento centralizadas e para populações maiores que 1000 habitantes, em sua maioria.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento da variação dos hidrogramas diários de vazão de esgoto em um condomínio de Belo Horizonte, a fim de subsidiar de maneira quantitativa futuras abordagens locais no tratamento de águas residuárias.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **INSTALAÇÕES PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO**

O condomínio em estudo está localizado no bairro São Francisco, regional Pampulha em Belo Horizonte. Este é composto por 17 blocos, sendo que a calha medidora de vazão recebe efluentes de parte, 6 blocos, com estimativa de cerca de 300 moradores contribuindo com seus esgotos.

O condomínio tem em seu quadro de moradores muitos estudantes, mas também boa parte são famílias e trabalhadores comuns. Portanto, o local fornece um espaço amostral heterogêneo, e que, por sua vez, influencia diretamente na geração diária de esgoto.

O sistema de monitoramento da quantidade de esgoto bruto gerado instalado no condomínio consiste em uma caixa de passagem, onde se tem um canal aberto tipo Palmer e Bowlus, tamanho 4", fabricado em Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), contendo transmissor e indicador de vazão por ultrassom módulo eletrônico – ITS-2060701T0 –, sensor modelo SE020A511005 e data-logger NOVUS para armazenar os dados.

O sistema funcionou adequadamente durante 7 meses de 2015 e em agosto e setembro de 2017. Os resultados foram obtidos semanalmente através de uma interface com o sistema data-logger com resultados apresentados em termos da data, hora e vazão do canal. O sistema armazenava dados de cada minuto do dia e as respectivas vazões associadas. A Figura 1 mostra a vista superior do aparato medidor de vazão e seus componentes.

Os resultados obtidos eram fornecidos pelo sistema data-logger em arquivos txt. e, como supracitado, com vazões associadas a cada minuto do dia. Por conseguinte, se faz necessário um cálculo das vazões médias horárias. Este, por sua vez, é feito por média simples e apresenta como resultado os hidrogramas das vazões diárias.



**Figura 1: Vista superior do sistema medidor de vazão - calha, sensor e data-logger**

## CÁLCULO DAS VAZÕES MÉDIAS

Os dados de vazões obtidos para cada minuto do dia na calha, foram transformados em médias horárias. Sendo assim, as vazões verificadas nos 1.440 minutos de cada dia eram transformadas em 24 valores de médios horários. A partir das médias horárias de cada dia, obteve-se o valor médio mensal, somando as vazões correspondentes ao mesmo horário em cada dia e dividindo pelo número de dias analisados.

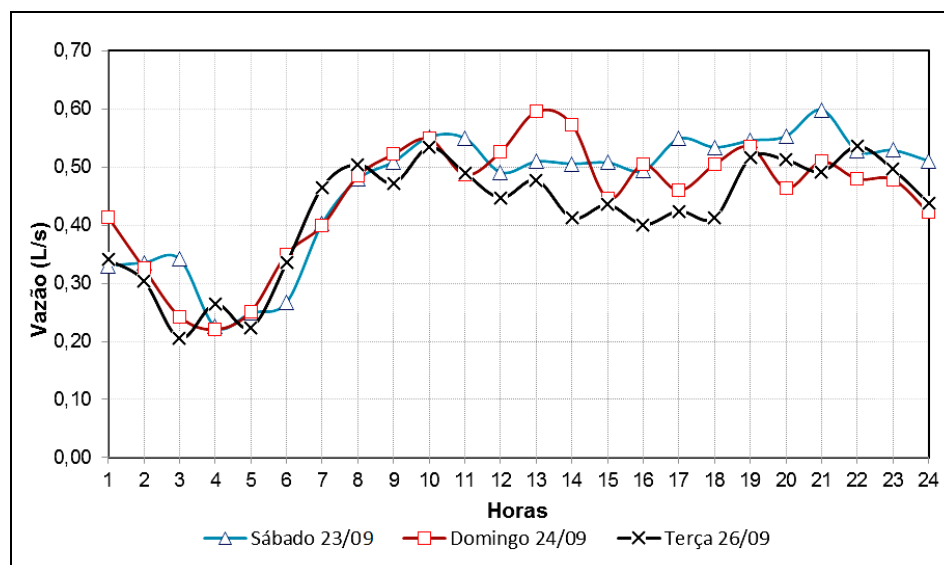
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### HIDROGRAMA DAS VAZÕES DIÁRIAS

A Figura 2 apresenta a variação do hidrograma de vazão para três dias de 2017. Para tais dias tem-se a ocorrência de um valor mínimo de vazão nas primeiras horas, entre 3:00 h e 5:00 h. Além disso, a partir das 10:00 h, a variação da vazão é substancialmente menor e permanece mais ou menos estável até o final do dia.

Observa-se também que as médias horárias das vazões de esgoto no fim de semana (23/09/2017 e 24/09/2017) é majoritariamente superior em relação ao dia de semana (26/09/2017). Isso pode ser explicado pelo afluxo de atividades domésticas ou presença em tempo integral dos moradores em suas residências.

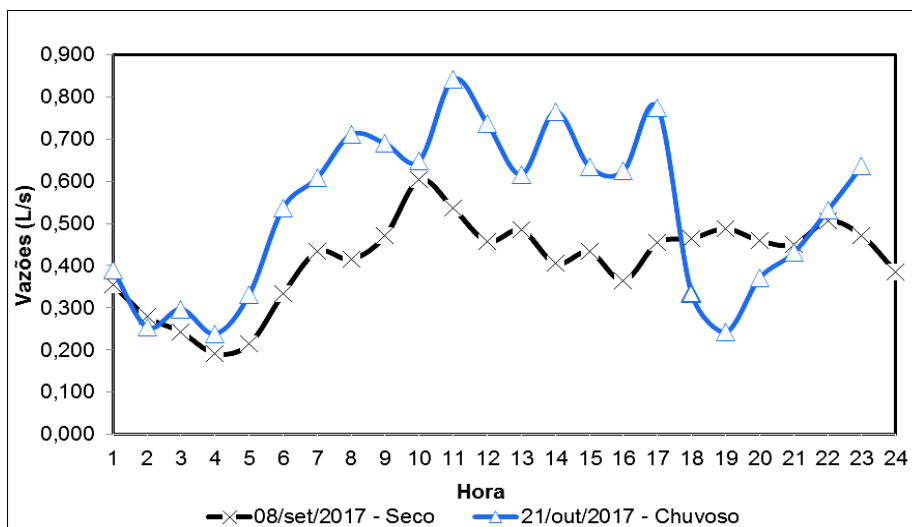
O condomínio apresenta um número elevado de estudantes em seu quadro de moradores. Como consequência, no hidrograma de terça-feira (26/09/2017) tem-se um valor médio de vazões no horário de 7:00 h maior que para os dias de fim de semana. Possivelmente devido a saída dos moradores para universidades, escolas e trabalho em um horário próximo ao identificado pelo hidrograma de vazão.



**Figura 2: Variação do hidrograma de vazões médias horárias em um fim de semana e um dia de semana no ano de 2017 para um condomínio de Belo Horizonte**

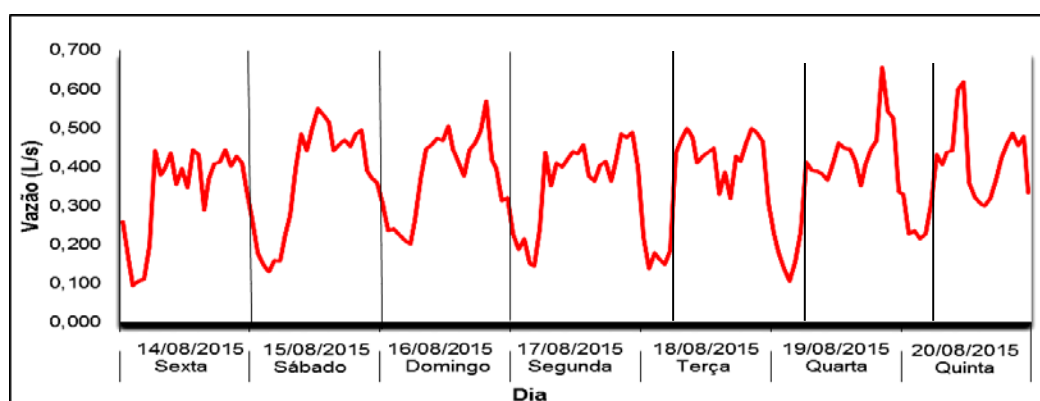
A Figura 3 apresenta a variação no hidrograma de vazões do condomínio em um dia chuvoso – cuja precipitação acumulada segundo a INMET foi de 33,8 mm – e em um dia que não houve chuva. Os valores médios horários para o dia chuvoso superam em praticamente todas as horas do dia o hidrograma de um dia não chuvoso. Infiltrações no sistema podem acarretar significativas variações na altura da lâmina de água e consequente alteração na leitura do sensor ultrassônico da calha Palmer-Bowlus.

Outra possibilidade é que ocorram ligações da rede de drenagem de águas pluviais no sistema de coleta de esgoto do condomínio a montante da calha medidora de vazão, o que geraria um aumento da vazão afluente na calha. Além disso, pode haver também ligações clandestinas da rede de drenagem pluvial nos coletores públicos gerando um aumento da vazão a jusante do sistema que, por sua vez, culminariam em alterações a montante na calha Palmer-Bowlus.



**Figura 3: Variação do hidrograma de vazões em um dia chuvoso e um dia não chuvoso para o condomínio**

A Figura 4 apresenta a variação dos hidrogramas de vazão em uma semana do mês de agosto em 2015. Diante disto, é possível verificar variações semanais nas vazões de esgoto do condomínio.

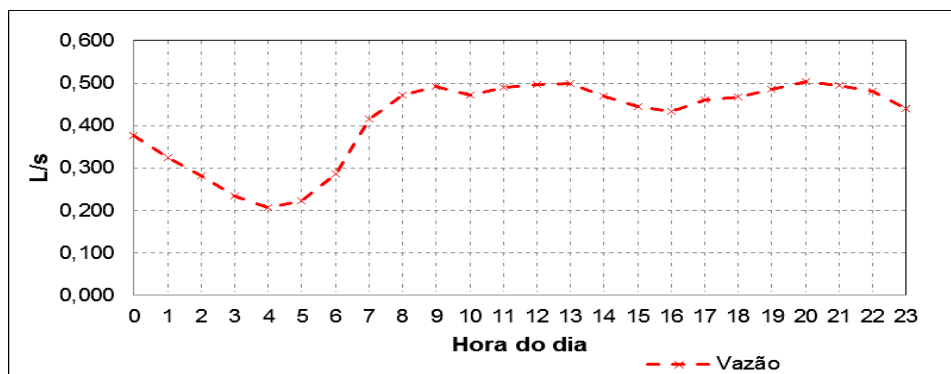


**Figura 4: Variação das vazões médias diárias no condomínio em uma semana do ano de 2015**

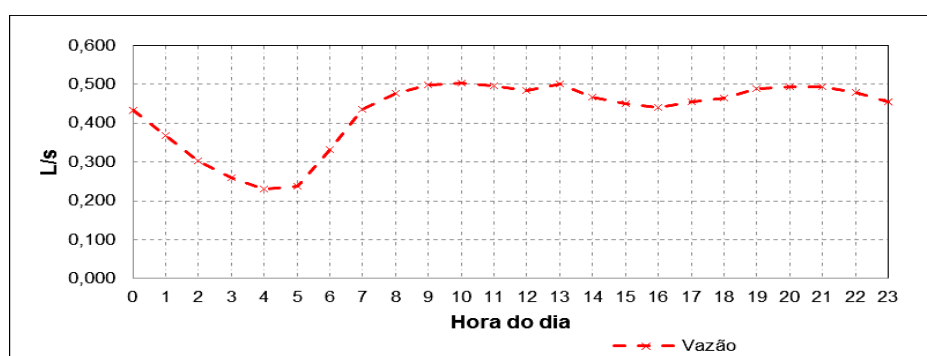
### VAZÕES MÉDIAS MENSAIS

Os hidrogramas na Figura 5, 6 e 7 apresentam os resultados das vazões médias horárias mensais para os anos de 2015 e 2017.

Os valores médios dos meses de agosto e setembro de 2017 mostram um comportamento similar, apresentando um intervalo mínimo entre 4:00 h e 5:00 h da manhã e dois períodos de pico, sendo o primeiro de 9:00 h às 13:00 h e posterior de 19:00 h às 21:00 h. Cabe salientar que os dois meses de referências não apresentaram dias chuvosos, isto é, não houve interferências nas medições das vazões condominiais.



**Figura 5: Hidrograma de vazões médias horárias em agosto de 2017**



**Figura 6: Hidrograma de vazões médias horárias em setembro de 2017**

Os resultados mensais de 2015 se comportaram de maneira semelhante aos obtidos para 2017. Percebe-se que os valores de máximo e mínimo foram superiores em 2017 e se manifestaram em faixas horárias similares como já havia sido observado na Figura 5 e Figura 6.

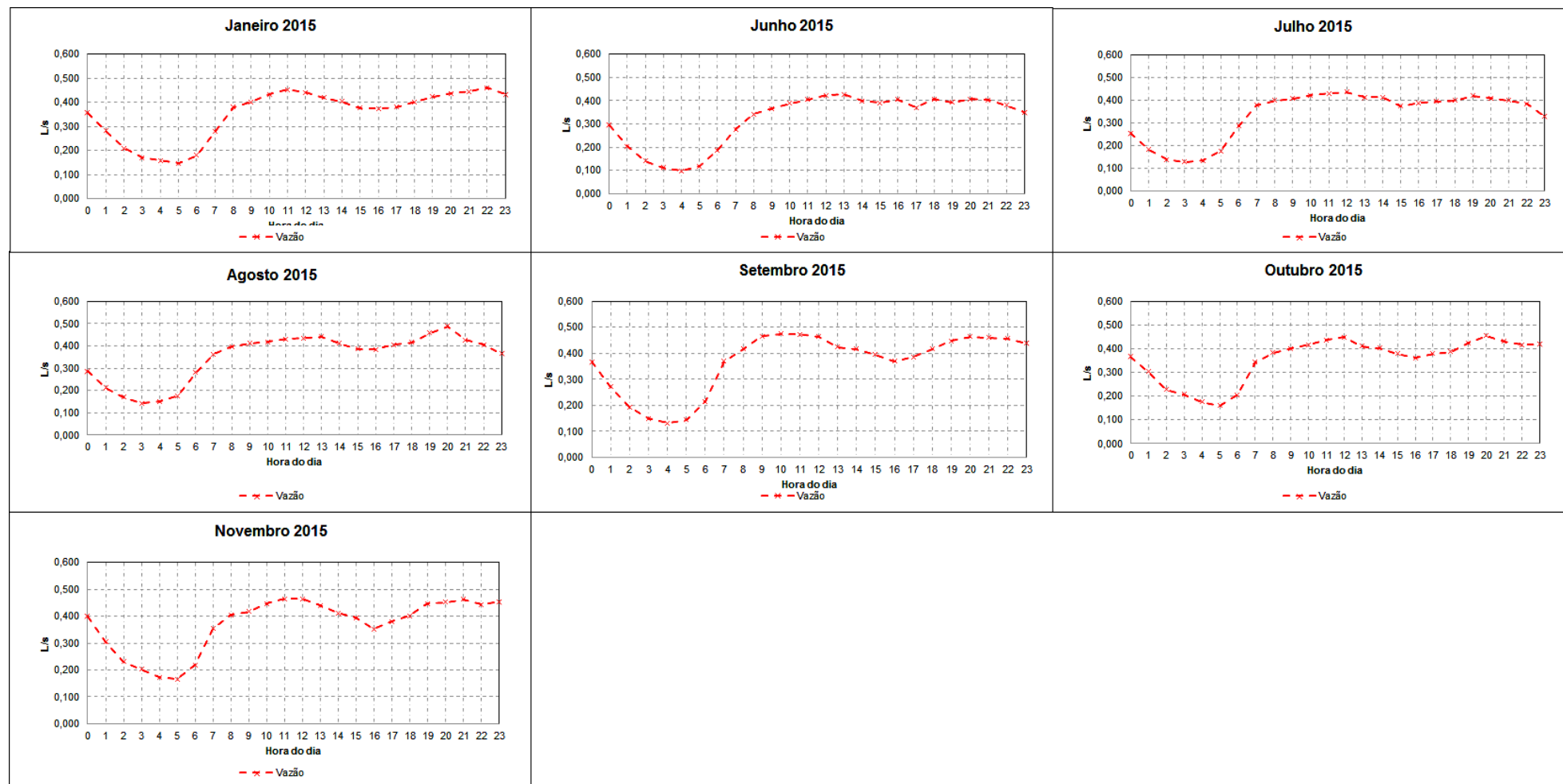
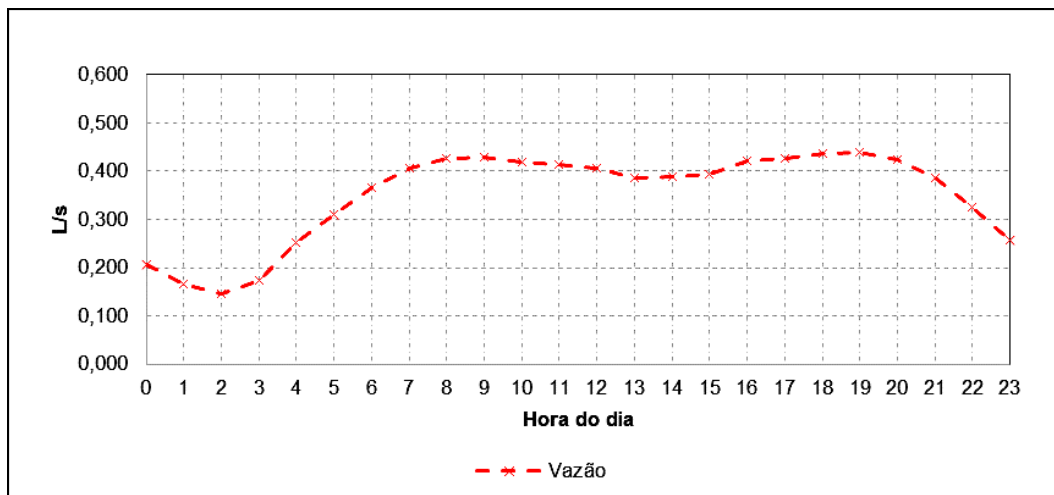


Figura 7: Vazões médias horárias mensais para o ano de 2015

A partir dos dados mensais identificados na Figura 7, tem-se na Figura 8 o resultado da variação do hidrograma de vazão de esgoto condominial anual de 2015. Percebe-se que a mínima vazão média horária verificada às 3:00 h e a máxima às 20:00 h, com valores respectivos de 0,14 L/s e 0,49 L/s.



**Figura 8: Variação das vazões médias horárias para o ano de 2015**

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das vazões de esgoto no condomínio para o ano de 2015, levando em consideração todos os valores horários das coletas diárias. Os resultados de coeficiente de variação possuem valor máximo de 0,46 para o mês de junho, ao passo que a média anual foi de 0,37. Todos os meses de análise em 2015 obtiveram coeficiente de variação maior que 30%, podendo, assim, classificar a amostra como heterogênea.

Esse resultado era esperado, uma vez que, além das variações horárias médias já identificadas a priori, tem-se que a resposta à geração de esgoto (como por exemplo o uso de descarga sanitária) é sentida de forma imediata no sistema. Isso ocorre devido à proximidade entre a fonte geradora e o aparato de medição de vazão.

**Tabela 1: Estatística descritiva das vazões para cada mês de coleta no ano de 2015**

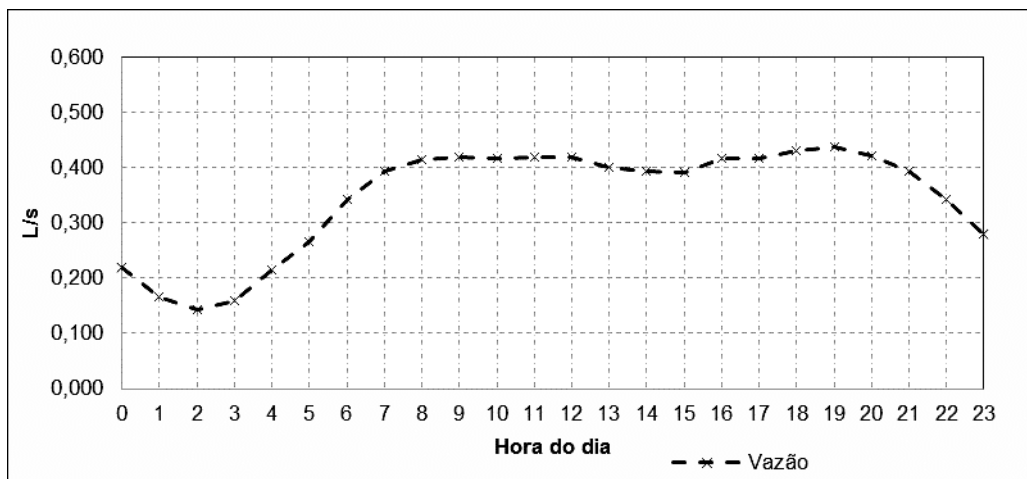
Mês	Vazões (l/s)			Medidas de Dispersão	
	Média	Mínima	Máxima	Desv. Padrão	Coef. Variação
<b>Janeiro</b>	0,35	0,08	0,82	0,12	0,35
<b>Junho</b>	0,32	0,05	1,10	0,15	0,46
<b>Julho</b>	0,34	0,09	0,80	0,12	0,36
<b>Agosto</b>	0,36	0,08	0,99	0,14	0,38
<b>Setembro</b>	0,36	0,08	0,85	0,13	0,35
<b>Outubro</b>	0,36	0,08	0,58	0,11	0,31
<b>Novembro</b>	0,37	0,07	0,69	0,12	0,33
<b>Anual</b>	0,35	0,05	1,10	0,13	0,37



## SAZONALIDADE DOS RESULTADOS

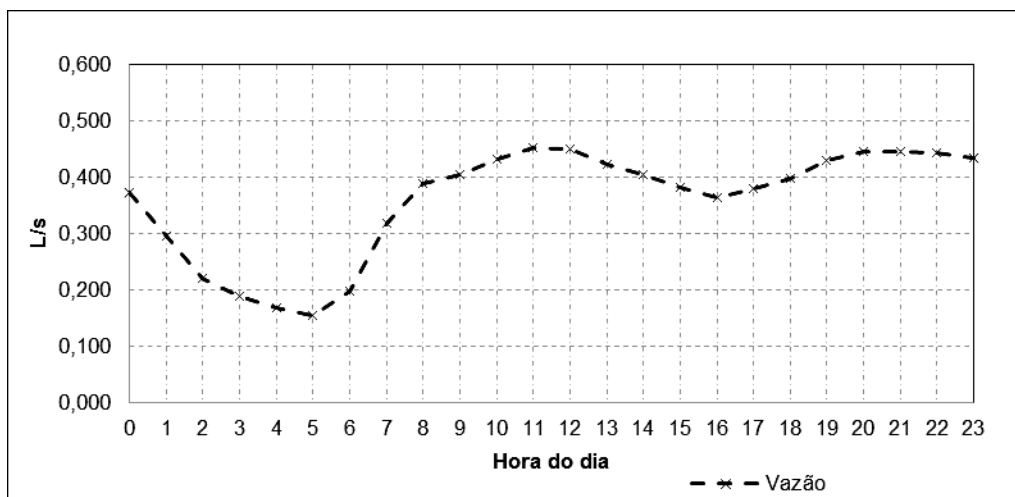
Clima, dia da semana, localização geográfica e relações socioeconômicas são alguns dos fatores que podem modificar o consumo de água de uma determinada população e a consequente geração de esgoto. A reação para essa sazonalidade teoricamente deveria ser refletida nos hidrogramas de vazão condominial, uma vez que, a afluência do esgoto no aparato medidor de vazão é praticamente imediata.

A Figura 9 e a Figura 10 apresentam o hidrograma médio de vazão para o período seco, de abril a setembro, e período chuvoso compreendido de janeiro a março e outubro a dezembro, para o ano de 2015.



**Figura 9: Hidrograma de vazões médias para o período seco do ano de 2015**

Apesar da diferença nos valores máximos não serem expressivos, observa-se que, para o período chuvoso, os picos são mais definidos e ocorrem em dois períodos, um por volta de 11:00 h e outro por volta de 20:00 h. Acrescenta-se que há um deslocamento do hidrograma seco em relação ao chuvoso, sendo que a menor vazão no primeiro ocorre por volta de 2:00 h e no segundo por volta de 4:00 h. Uma hipótese é a adoção do horário de verão no período chuvoso, no qual o horário oficial de Brasília é avançado em 1:00 h. Tal avanço é remetido, portanto, nos resultados dos hidrogramas de geração de esgoto.



**Figura 10: Hidrograma de vazões médias anuais para o período chuvoso no ano de 2015**

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas dos dados referentes ao período seco e chuvoso. A vazão média do período chuvoso é cerca de 3,0% maior que para o período de estiagem. Assim como o esperado, já que maiores temperaturas médias mensais normalmente implicam em um aumento no consumo de água.



**Tabela 2: Estatística descritiva das vazões no período seco e chuvoso no condomínio para o ano de 2015**

Período	Vazões (L/s)			Medidas de Dispersão	
	Média	Mínima	Máxima	Desv. Padrão	Coef. Variação
<b>Seco</b>	0,346	0,046	1,101	0,133	0,386
<b>Chuvoso</b>	0,358	0,073	0,818	0,119	0,333

## CONCLUSÕES

O objetivo geral dessa pesquisa foi avaliar os hidrogramas de vazão de esgoto em um condomínio de Belo Horizonte. Para isso, foram instalados uma calha Palmer-Bowlus e um sensor ultrassônico, tendo sido realizada a coleta semanal dos dados das vazões nos anos de 2015 e 2017. O presente trabalho espera ter sido um ponto de partida para caracterização das vazões de esgoto próximos às fontes geradoras.

Os resultados obtidos para os hidrogramas diários revelaram um padrão de distribuição não muito variável das vazões médias horárias ao longo dia. Identificou-se variações nos padrões dos resultados, associadas a dias da semana e finais de semana, mas também a fatores climáticos, sobretudo, ocorrência de chuvas.

Dessa forma, a partir dos dados apresentados é possível inferir que:

- Os hidrogramas condominiais apontaram um valor de mínima vazão horária para o período da madrugada – 2:00h a 5:00h – e dois picos, o primeiro de 10:00 h às 13:00 h e o posterior entre 19:00 h e 22:00 h.
- Na análise da sazonalidade, o dia chuvoso indicou maiores médias horárias de vazão. Sendo assim, identificou-se uma influência da precipitação em função de infiltrações indesejáveis e/ou ligações clandestinas.
- O estudo dos hidrogramas do período chuvoso e seco não apresentou variações significativas.
- As curvas dos hidrogramas mensais médios para o condomínio apresentaram pouca variação entre si.

Por questões geográficas, climáticas e sociais, a universalização do acesso a coleta e tratamento de esgoto passa pelo uso de sistemas descentralizados. Logo, é importante conhecer o comportamento dos parâmetros que influenciam no dimensionamento dos sistemas de tratamento de esgoto. Os resultados encontrados mostraram diferenças das expectativas teóricas referentes ao comportamento dos hidrogramas de vazão diária para pequenas populações. Portanto, ressalta-se a relevância de se aprofundar ainda mais nesse tipo de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Atlas Esgotos. Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasi, 2017. Disponível: < [http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSdespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo\\_livro.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSdespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf) >. Acesso em: 05/05/2018.
2. BARROS, R. T. de V. *et al* - Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. Belo Horizonte, MG: Escola de Engenharia da UFMG, Volume II - 2007.
3. TSUTIYA, M.; ALEM SOBRINHO, P.- Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. São Paulo, Escola Politécnica da USP. 2ª Edição. 1999.
4. TSUTIYA, M. - Abastecimento de Água. 1 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
5. VON SPERLING, M. 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Vol. 1, 3ª edição, DESA, Ed. UFMG. 2005.