

# REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO: A INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NO DIMENSIONAMENTO.

Erick de Queiroz<sup>1</sup>  
Erivelton Cortes da Silva<sup>2</sup>  
Guilherme Trindade Medeiros<sup>3</sup>  
Kleyton Braz Teixeira<sup>4</sup>  
Leonardo Severiano Alvim<sup>5</sup>  
Douglas Bitencourt Vidal<sup>6</sup>

## RESUMO

A realidade do Brasil é desanimadora quanto ao emprego de sistemas de esgotamento sanitário. Fontes do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (Snis, 2015) apontam que apenas 56,3% do esgoto do país é coletado, sendo que apenas 39% da parcela de esgoto passa por algum tipo de tratamento. A situação aponta para uma realidade sanitária alarmante, refletindo no panorama epidemiológico da população devido a falta de infraestrutura sanitária. O sistema de esgotamento sanitário possui um papel importantíssimo para o afastamento de esgotos da população com posterior tratamento evitando a propagação de doenças. Para propiciar uma melhoria no cenário sanitário do país se faz necessária a implantação de redes de esgotamento sanitário de forma coerente, procedimento este que não vem acontecendo, o que leva à conveniência de conhecimento dos critérios aceitáveis de projeto para redes de esgoto. O presente trabalho buscou expor os procedimentos para cálculo de rede coletora de esgoto sanitário embasado na NBR 9649/86, procurando determinar os principais critérios que projetistas e engenheiros devem levar em conta quando as condições topográficas forem com elevação e levemente plana. A adoção de dois exemplos de loteamentos fictícios e utilização de planilhas de cálculo permitiram a representação dos efeitos da topografia sobre os valores de tensão trativa sendo esta o principal aspecto considerado para dimensionamento das redes de esgoto propostas. Os resultados obtidos demonstraram a importância da observação da velocidade crítica em relação à velocidade final nos trechos e a cautela ao se lidar com valores de tensão trativa próximos a 1 Pascal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Topografia. Esgoto Sanitário. Rede Coletora. Tensão Trativa.

## ABSTRACT

Brazil's reality is discouraging related to the use of sewage systems. The national system information in sanitation (SNIS, 2015) shows that only 56.3 % of the country's sewage is collected, with only 39% of the sewage portion undergoing some kind of treatment. The situation points to an alarming health situation, reflecting the

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX

<sup>6</sup> Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Centro Universitário de Caratinga Campus Nanuque e Professor da Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX

epidemiological panorama of the population because of the lack of sanitary infrastructure. The sewage system has an important role in the population's sewage removal with subsequent treatment preventing the proliferation of diseases. To provide an improvement in the health situation of the country, the construction of sewage systems in a coherent manner is required, a procedure that has not been happening, which leads to a need for knowledge of the design parameters for sewers. This paper sought to expose the procedures for collection system calculation of sewage based in the NBR 9649/86 to determine the main criteria that designers and engineers must take into consideration when topographical conditions are with high and slightly flat. The adoption of two examples of fictitious allotments and use of spreadsheets allowed the representation of the effects of topography on drag voltage values and this is the main aspect considered for design of sewage systems proposals. The results showed the importance of observing critical speed in relation to the final speed on the area and caution when dealing with drag voltage values close to 1 Pascal.

**KEY-WORDS:** Topography. Sanitary/sewage system. Collection system. Drag voltage.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, o Brasil viveu um expansionismo urbano acelerado. O crescimento econômico das últimas décadas, devido ao advento da indústria, ocasionou uma ocupação territorial desordenada, principalmente nos grandes centros urbanos, causando prejuízos irreparáveis aos recursos naturais.

As políticas socioeconômicas atuais garantem a continuação do crescimento urbano. Tais políticas como o programa Minha Casa, Minha Vida, desencadearam o alavancamento do setor imobiliário e por consequência a aceleração da construção civil no país. Devido a necessidade de encontrar novas áreas para promoção da expansão urbana, problemas de ocupação desordenada vem ocorrendo.

O crescimento urbano no Brasil ao longo dos anos não foi dotado de um devido planejamento para infraestrutura, o que resulta na destinação incorreta de efluentes. Neste sentido a criação de um sistema de esgotamento sanitário possui papel fundamental para um apoio à saúde pública, de forma a alcançar redução significativa no custo para tratamento da água, bem como reduzir casos de enfermidades relacionadas. Para tanto Heller, (1998) ressalta que países nos quais possuem sistemas de saneamento eficientes tendem a possuir populações mais saudáveis, de forma que evidencia a importância da cobertura por serviços de água e esgoto como indicadores de desenvolvimento humano.

Com o intuito de alcançar índices de qualidade de vida da comunidade, além da conservação de recursos naturais, as cidades devem promover a implantação de sistemas de esgotamento sanitário respeitando-se projetos com diretrizes e critérios normativos.

Tais projetos, quando apresentados à órgãos avaliadores, passam por dificuldades quanto à aprovação dos conteúdos metodológicos, principalmente por razões de insuficiência técnica. A elaboração de trabalhos com base em normativas é essencial para alcançar resultados que satisfaçam exigências mínimas para uma rede coletora de esgoto sanitário que permita o livre escoamento do esgoto. (GAMEIRO,2003).

Neste estudo são apresentados métodos já conhecidos e preconizados pela NBR 9649/1986 para propiciar o dimensionamento correto de redes de esgotamento sanitário, tendo como objetivo analisar os efeitos da topografia no comportamento da defluência do esgoto.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 SANEAMENTO BÁSICO E SAÚDE PÚBLICA

A manutenção da saúde humana está diretamente relacionada com a preservação do meio ambiente e desta forma o saneamento básico é um agente contribuinte para a aprimoramento da qualidade de vida.

O Brasil possui um imenso território nacional no qual apresenta muitas desigualdades econômicas, refletindo fortemente ao acesso de saneamento básico. Segundo dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações em Saneamento (Snis,2015) a porcentagem da população que possui abastecimento de água é elevada, apresentando cerca de 93,0 % de domicílios atendidos, no entanto apenas 56,3% da população tem acesso à coleta de esgoto, onde apenas 39% desta parcela de esgoto passa por algum tipo de tratamento.

A realidade brasileira sobre saneamento básico é alarmante, refletindo no panorama epidemiológico da população, pois, de acordo com informações do Instituto Trata Brasil (2015), por dia 7 crianças morrem no país decorrentes de doenças vinculadas à falta de infraestrutura sanitária.

A Organização Mundial de Saúde (OMS,2015) esclarece que o saneamento desenvolve na sociedade papel fundamental para controle dos efeitos prejudiciais ao bem-estar físico, mental e social. É papel do município, estado e governo federal adotar medidas que assegurem a efetivação dos direitos do cidadão ao saneamento básico por meio do fornecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, manejo de resíduos sólidos e drenagem das águas pluviais. (ROUQUAYROL e ALMEIDA FILHO, 1999).

O consumo de água contaminada aliado à disposição incorreta de esgotos são circunstâncias que contribuem para o aparecimento de epidemias. Neste sentido Oliveira e Fernandez (2004), apontam os principais benefícios do saneamento básico:

- a) População com mais saúde;
- b) Redução dos recursos empregados no tratamento de doenças;

- c) Custos com tratamento de água reduzidos;
- d) Poluição estética e visual minimizadas;
- e) Conservação do espaço ambiental.

## 2.2. O ESGOTO SANITARIO

De acordo com Pereira (2006), as águas utilizadas para suprir as necessidades da população, após o descarte, possuem peculiaridades nas quais impossibilitam o consumo e retorno ao meio ambiente. Em linhas gerais, a água provinda do descarte pela utilização é chamada de água residuária, na qual possui características variadas que dependem de hábitos e costumes da população.

O termo esgoto sanitário é utilizado na engenharia para designar águas residuárias. Neste contexto a norma NBR 9648/1986 esclarece que esgoto sanitário corresponde a um despejo líquido resultante dos acréscimos de esgotos domésticos e de indústrias, águas de infiltração e contribuição pluvial.

De acordo com Nuvolari (2011), o esgoto sanitário forma-se a partir da utilização de água utilizada no abastecimento, sendo o volume de efluente gerado proporcional à quantidade de água consumida pela população.

A composição do esgoto sanitário segundo Tsutiya e Sobrinho (2011), é formada por compostos orgânicos e inorgânicos, sendo 99,9% com predominância de água e uma pequena parte de sólidos representando 0,1% do volume total. A matéria orgânica corresponde a 70% dos sólidos totais do esgoto sanitário, sendo 30 % referente à matéria inorgânica com grande representatividade de areia.

Devido ao percentual de 0,1% de sólidos presentes nos esgotos verifica-se a necessidade em realizar o tratamento do efluente sob condições específicas de forma a propiciar a destinação final do mesmo, Nuvolari (2011).

## 2.3 TIPOS DE SISTEMAS DE ESGOTO

O sistema de esgotamento sanitário é essencial para coletar os efluentes de áreas com alto índice populacional, como capitais e metrópoles. O principal objetivo dos sistemas de esgoto é transportar águas residuárias por meio de tubulações apropriadas e destinar o efluente para um devido tratamento. Desta maneira, em conformidade com Nuvolari (2011), os sistemas urbanos de esgotamento sanitário podem ser realizados seguindo três metodologias:

- a) Sistema unitário: águas residuárias, águas de infiltração e águas pluviais são transportadas por um único sistema;
- b) Sistema separador parcial: águas de telhados e pátios das economias que correspondem a parcela da água da chuva e águas residuárias são transportadas por um único sistema;
- c) Sistema separador absoluto: águas residuárias e de infiltração são transportadas por coletores diferentes das águas pluviais, sendo que estas possuem um sistema independente.

## 2.4 PARTES CONSTITUINTES DE UM SISTEMA DE ESGOTO

Um sistema de esgoto é constituído por várias partes que são dependentes entre si para propiciar a coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário de forma eficiente. Para tanto, Tsutiya e Sobrinho (2011,p.6), relacionam as partes:

- a) Rede coletora: Conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios; o sistema de esgoto predial se liga diretamente à rede coletora por uma tubulação chamada coletor predial;
- b) Interceptor: canalização que recebe coletores ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas;
- c) Emissário: canalização destinada a conduzir os esgotos a um destino conveniente (estação de tratamento e/ou lançamento) sem receber contribuições em marcha;
- d) Corpo de água receptor: corpo de água onde são lançados os esgotos;
- e) Estação elevatória: conjunto de instalações destinadas a transferir os esgotos de uma cota mais baixa para outra mais alta;
- f) Estação de tratamento: conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes de seu lançamento.

## 2.5 NORMAS PARA PROJETOS DE ESGOTO

Para propiciar o correto dimensionamento de redes e estruturas auxiliares de esgoto, se faz necessária a observação de recomendações estabelecidas pela ABNT abaixo relacionadas:

- a) NBR 9648 – Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário;
- b) NBR 9649 – Projetos de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário;
- c) NBR 12207 – Projetos de Interceptores de Esgoto Sanitário;
- d) NBR 12208 – Projetos de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário;
- e) NBR 12209 – Projeto de Estações de Tratamento Sanitário;

## 2.6 DIMENSSIONAMENTO DE COLETORES

A rede coletora de esgoto é construída pelo emprego de um conjunto complexo de condutos interligados por meio de singularidades chamadas poços de visita (PV). Esta rede é implantada em ruas, avenidas e locais de servidão, captando o esgoto sanitário de residências e indústrias.

Para o estabelecimento do dimensionamento de uma rede de esgoto faz-se necessária a observação de critérios que irão propiciar o correto funcionamento. Neste sentido Tsutiya e Sobrinho (2011), elucidam que o projeto hidro sanitário das tubulações de esgoto deve considerar três aspectos muito importantes:

- a) Hidráulico: As vazões máximas e mínimas levadas em consideração no projeto deveram ser transportadas de forma eficiente, devendo considerar as tubulações funcionando como condutos livres.

- b) Controle de sulfetos de Hidrogênio: Deverão ser avaliados as circunstâncias nas quais propiciam reações bioquímicas resultantes de acúmulo de resíduo sólido no fundo da tubulação.
- c) Ação de autolimpeza: A deposição de materiais sólidos no tubo torna-se condição crítica para o surgimento de problemas, de forma que deverá ser propiciado condições específicas para o esgoto fluir por meio da gravidade.

Tsutiya e Neto (1985), alertam que áreas com topografia essencialmente plana tendem a possuir redes de esgotamento sanitário com baixa declividade e por consequência redução da capacidade de transporte do efluente que pode obstruir a rede, contribuindo para o surgimento de sulfeto de hidrogênio o qual, ao longo do tempo, corrói as paredes das tubulações, além de possuir elevada toxidez prejudicial à vida humana.

Para topografias elevadas observa-se um aumento significativo da velocidade no conduto resultante da ação da gravidade, de forma que Tsutiya e Sobrinho (2011), esclarecem que com o aumento da velocidade poderá ocasionar bolhas de ar em meio ao efluente e resultar em um acréscimo da altura da lâmina de água, comprometendo o pressuposto de um regime permanente e uniforme e passando para a possibilidade de um conduto forçado por pressão, comprometendo a rede.

Considerando-se o dimensionamento de redes coletoras de esgoto sanitário, admitia-se até 1986 a utilização do critério da velocidade de autolimpeza para enfrentar o problema de deposição de materiais sólidos no fundo do tubo. Tal critério é embasado pela observância de uma velocidade mínima admissível que propicie o arraste do esgoto (PEREIRA, 2006).

Pela promulgação da NBR 9646/86 foi estabelecida a utilização do critério da tensão trativa em troca do critério da velocidade de autolimpeza, uma vez que se trata de uma força hidrodinâmica que age nas paredes da tubulação como mecanismo direto do arraste de esgoto (TSUTIYA E SOBRINHO, 2011).

Em conformidade com Nuvolari (2011), o princípio de cálculo deve considerar a extensão total da rede, a população atendida, coeficiente de retorno, taxa de infiltração, critérios de consumo de água, os quais permitem a definição da vazão de coleta linear para início e final de plano de cada trecho. Desta forma em posse das vazões de início e final de plano de cada trecho torna-se possível calcular a declividade, diâmetro, tensão trativa e velocidade crítica para cada sequência de rede.

## 2.7 APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE DIMENSSIONAMENTO

As concepções utilizadas para dimensionamentos de redes de esgoto neste trabalho são baseadas na norma NBR 9649/1986 na qual é pertinente ao sistema separador absoluto onde águas residuárias e de infiltração são transportadas por coletores diferentes das águas pluviais. Para efeitos instrutivos, foi proposto dois layouts de loteamento contemplando situações antagônicas para critérios de topografia, como apresentados nos Anexos I, que demonstra uma situação de topografia elevada e

com isso grande declividade e o Anexo II, que demonstra uma situação de topografia levemente plana e assim baixa declividade. A adoção de medidas fictícias possibilitou a apresentação de realidades topográficas diferentes para uma mesma configuração de lotes, com o intuito de compreender os efeitos da topografia sobre os resultados alcançados.

A declividade natural do terreno foi tomada como fundamentação para traçado da rede, propiciando o funcionamento por gravidade. Poços de visita localizadas em locais de mudança de direção do fluxo de esgoto fazem separação entre trechos de tubulações.

Uma planilha de cálculo foi montada para cada layout proposto em conformidade com o que sugere Tsutiya e Sobrinho (2011), contemplando os critérios essenciais para o perfeito funcionamento de condutos de esgoto. As formulações de parâmetros essenciais como vazões, declividade, diâmetro dos tubos, velocidades, máxima lâmina de água e tensão trativa, foram introduzidas nas planilhas para obtenção de resultados.

A menor profundidade dos coletores foi estabelecida como 1,00 m que atende ao valor necessário para estabelecimento de ligação predial e proteção da tubulação contra cargas externas, respeitando-se o estabelecido pela NBR 9649/86 na qual estabelece que a profundidade mínima entre a geratriz superior da tubulação e a cota de superfície não pode ser inferior a 90 cm.

O dimensionamento da rede foi realizado utilizando-se o critério da tensão trativa, permitindo que a tubulação obtenha um escoamento livre. A população considerada foi estipulada para efeitos de cálculo como 215 habitantes, admitindo-se uma média de 5 pessoas para cada economia, sendo adotados o mesmo valor para as populações inicial e final.

Uma utilização de água de 160 l/hab.dia, coeficiente de retorno de 0,80, taxa de infiltração de 0,1 l/s.Km e valor de vazão mínima a ser considerado no cálculo de 1,5 l/s, foram apontados conforme recomendado pela NBR 9649, 1986.

No que diz respeito ao diâmetro, foi adotado no estudo um valor de 150 mm, estando em conformidade com Tsutiya e Sobrinho (2011), em que enfatizam que, apesar da norma NBR 9649/86 apontar um valor mínimo de 100 mm para tubulação, torna-se conveniente a adoção de um valor de 150 mm para questões de segurança e eventuais extrapolações de vazões.

As informações topográficas que alimentaram as planilhas de dimensionamento foram obtidas pela análise das curvas de nível, sendo o layout do anexo 1 proposto com uma diferença de nível de 47,691 m e o layout do anexo 2 definido pela diferença de nível de 1,827 m. As tubulações foram traçadas de forma a considerar uma interligação em um poço de visita hipoteticamente existente para ambos os casos com profundidade de 1,00 m.

Para o dimensionamento da rede coletora é conveniente o conhecimento de todas as vazões que tendem a influenciar o sistema. Neste sentido, de acordo com a NBR 9649/1986, primeiramente deve-se encontrar as vazões de início de plano e final de plano a partir das seguintes equações:

$$Q_{di} = \frac{P_i \times C \times q \times K_2}{86400} + Tx_{inf} \quad Q_{df} = \frac{P \times C \times q \times K_1 \times K_2}{86400} + Tx_{inf}$$

Onde  $Q_{di}$ ;  $Q_{df}$  = vazões de início de final de plano;  
 C= coeficiente de retorno;  
 $q_i$  ;  $q_f$  , = consumo de água efetivo *per capita* inicial e final, l/hab. dia.  
 $P_i$  ;  $P_f$  = População inicial e final;  
 $K_1$  = Coeficiente de máxima vazão diária = 1,2;  
 $K_2$  = Coeficiente de máxima vazão horária = 1,5;  
 $Tx_{inf}$  = Taxa de infiltração.

Conhecidas as vazões de início e final de plano, é recomendado o cálculo das taxas de contribuição inicial e final, sendo que Tsutiya e Sobrinho (2011) enfatizam que a taxa de contribuição é representada por um valor fixo de parcela de esgoto para unidade de comprimento (m) de rede ou área esgotada (ha), de forma que devem ser consideradas as contribuições de esgoto acrescido das águas de infiltração.

As equações que melhor representam as taxas de contribuição inicial e final são apontadas pela NBR 9649/86 nas quais seguem abaixo:

$$T_{xi} = \frac{Q_{di}}{L_i} + T_{inf} \quad T_{xf} = \frac{Q_{df}}{L_f} + T_{inf}$$

Onde  $Q_{di}$ ;  $Q_{df}$  = vazões de início de final de plano;  
 C= coeficiente de retorno;  
 $T_{xi}$  , = taxa de contribuição em l/s.m;  
 $L_i$  = extensão total da rede em m;  
 $Tx_{inf}$  = Taxa de infiltração.

As vazões de contribuição características de cada trecho, sendo inicial e final, serão resultado do produto da distância da rede em metros pelas respectivas taxas de contribuição linear inicial e final, em conformidade com Tsutiya e Sobrinho (2011) no qual aponta três tipos de vazões diferenciadas:

- a) Vazão a montante: Resultado do acréscimo de todas as vazões que contribuem nos trechos localizados acima do trecho a considerar;
- b) Vazão de contribuição no trecho: Equivale à vazão gerada unicamente do trecho considerado;
- c) Vazão à jusante: Resultado da soma da vazão de montante mais a vazão de contribuição no trecho.

Em posse dos valores de vazões à jusante de cada trecho, no qual representa o acúmulo de vazões do coletor no trecho, é possível encontrar o valor mínimo necessário de declividade a ser empregada nos mesmos.

De acordo Tsutiya e Sobrinho (2011), para que a condição de autolimpeza seja estabelecida é necessário garantir, no mínimo uma vez diária, uma tensão trativa de 1,00 Pa, devendo ser calculada para início de plano. É função da declividade propiciar uma tensão trativa equivalente à linha de energia necessária ao deslocamento do esgoto.

A mínima declividade que satisfaz o critério da tensão trativa igual a 1,00 Pa pode ser definida pela NBR 9649/86 através da seguinte fórmula:

$$I_{\min} = 0,0055 Q_i^{-0,47}$$

Onde:  $I_{\min}$  = declividade mínima, m/m;

$Q_i$  = vazão de jusante do trecho no início do plano, l/s.

Conhecidas as vazões à jusante de cada trecho e a declividade mínima que propicie a condição de deslocamento do esgoto, foi então estabelecido o mínimo diâmetro que atendessem o recomendado pela NBR 9649/86, na qual aponta que a máxima lâmina líquida a percorrer pela tubulação deve ser aquela que ocupe no máximo aceitável 75% do diâmetro, onde os 25% restantes são destinados à circulação de ar. O mínimo diâmetro que satisfaz o estabelecido pela norma é definido pela equação a seguir:

$$D = \left( 0,0463 \frac{Q_f}{\sqrt{I}} \right)^{0,375}$$

Onde:  $D$  = diâmetro, m;

$Q_f$  = vazão final, m<sup>3</sup>/s;

$I$  = declividade, m/m.

Foi necessário o conhecimento da proporção da lâmina líquida e velocidades inicial e final que atuam nas tubulações de cada trecho, sendo as mesmas resultado da atuação das vazões à jusante inicial e final encontradas sobre a tubulação. Para tanto foi utilizada a tabela 4.3 do livro coleta e transporte de esgoto sanitário de Tsutiya e Sobrinho (2011).

Em posse dos valores de lâmina de água atuante e velocidades inicial e final, passou-se então para a obtenção do valor de tensão trativa atuante em cada trecho. Para Tsutiya e Neto (1985), a importância da tensão trativa corresponde ao fato de mesma evitar a deposição de sólidos de maior dimensão, evitar a formação de sulfetos, inibir o surgimento de gás sulfídrico e agir na promoção de autolimpeza.

De acordo com a NBR 9649/86, o peso do efluente sanitário atua sobre as paredes da tubulação por meio de uma força tangencial unitária chamada de tensão trativa,

sendo adotado o valor de 1,00 Pa como valor mínimo para propiciar o arraste. Para verificação da tensão trativa é utilizada a equação a seguir:

$$\sigma = \gamma \times RH \times Ip$$

Em que:  $\gamma$  = peso específico (N/m<sup>3</sup>);

$RH$  = raio hidráulico (m);

$Ip$  = declividade de projeto da tubulação (m/m).

A verificação da tensão trativa foi o principal aspecto considerado para dimensionamento das redes de esgoto propostas, seguidas do critério velocidade crítica na qual verifica a existência de condutos forçados. Neste sentido Tsutiya e Sobrinho (2011), enfatizam que a lâmina de água pode ser alterada em função do excesso de declividade da tubulação, uma vez que a mistura água-ar ocasiona formações de bolhas e por consequência aumento de volume.

A NBR 9649/86 traz recomendações para verificação se a tubulação projetada trabalha como conduto livre ou forçado:

“Quando a velocidade final  $V_f$  é superior a velocidade crítica  $V_c$ , a maior lâmina admissível deve ser de 50% do diâmetro do coletor, assegurando-se a ventilação do trecho”.

A velocidade crítica é definida por:

$$V_c = 6 \times \sqrt{g \times Rh}$$

Em que:  $V_c$  = velocidade crítica (m/s);

$RH$  = raio Hidráulico (m);

$g$  = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

Para propiciar uma comparação entre os resultados alcançados foi montado um perfil longitudinal de uma sequência de trechos até o poço de visita existente. Foi feito um paralelo entre os valores de declividade e tensão trativa das duas situações propostas para evidenciar a influência da topografia nos resultados alcançados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise dos dois layouts de loteamentos propostos, suas respectivas topografias e uso de fórmulas estabelecidas por norma, pode-se chegar a alguns dados que alimentaram as planilhas de dimensionamento, fornecendo resultados de valores que permitem realizar um diagnóstico sobre o funcionamento da rede de esgotamento sanitário.

Os valores alcançados, nos dois layouts propostos, referentes à declividade mínima permitida na rede, se mantiveram constantes, devido à vazão de jusante de cada trecho não ter alcançado o valor de dimensionamento mínimo de 1,5 l/s, o que se

explica pelo fato das vazões serem proporcionais ao número de lotes contribuintes de esgoto, não possuindo relação com a topografia.

Os resultados globais são apresentados em forma de planilha para os dois layouts propostos, de forma que é apresentado primeiramente as redes com topografia elevada (anexo 1).

**Tabela 1- Planilha de dimensionamento de redes de esgoto - topografia elevada.**

Parâmetros de projeto						Parâmetros físicos												
Profundidade mínima adotada (PVs)		1 metro		Peso específico da água		10000 N/m <sup>3</sup>												
População atual		215 hab		Aceleração da gravidade		9,8 m/s <sup>2</sup>												
Consumo per capita		160 l/hab.dia																
Coeficiente de retorno		0,8																
Taxa de infiltração		0,1 l/s.km																
K1		1,2																
K2		1,5																
Vazão mínima de projeto		1,5 l/s																
Comprimento total da rede		452,00 m																
						* K1 ( Coeficiente do dia de maior contribuição)												
						* K2 ( Coeficiente da hora de maior contribuição)												
PV	Cota do tampão (m)	Cota de fundo do PV (m)	Trecho	Comprimento (m)	Vazão no trecho (l/s)		Vazão de infiltração (l/s)	Vazão a jusante (l/s)		Declividade mínima (m/m)	Declividade projetada (m/m)	Diâmetro mínimo (m)	Velocidade no trecho (m/s)		Velocidade crítica (m/s)	Lâmina y/D		Tensão trativa (Pa)
					inicial	final		inicial	final				inicial	final		inicial	final	
1	151,480	150,480	1 - 3	68,00	0,072	0,086	0,007	0,079	0,093	0,0045	0,3344	0,034	1,87	1,87	1,74	0,090	0,090	28,86
2	135,450	134,450	2 - 3	40,00	0,042	0,051	0,004	0,046	0,055	0,0045	0,1677	0,039	1,47	1,47	1,89	0,106	0,106	17,01
3	128,744	127,744	3 - 4	40,00	0,042	0,051	0,004	0,171	0,203	0,0045	0,1096	0,042	1,27	1,27	1,99	0,118	0,118	12,25
4	124,360	123,360	4 - 5	43,00	0,045	0,055	0,004	0,221	0,261	0,0045	0,2312	0,036	1,65	1,65	1,83	0,099	0,099	21,90
5	114,420	113,420	5 - 9	62,00	0,066	0,079	0,006	0,293	0,346	0,0045	0,1032	0,042	1,24	1,24	2,00	0,119	0,119	11,71
6	148,090	147,090	6 - 7	80,00	0,085	0,101	0,008	0,093	0,109	0,0045	0,2940	0,035	1,79	1,79	1,77	0,093	0,093	26,18
7	124,570	123,570	7 - 9	75,00	0,079	0,095	0,008	0,179	0,212	0,0045	0,2207	0,037	1,62	1,62	1,84	0,100	0,100	21,16
8	115,220	114,220	8 - 9	25,00	0,026	0,032	0,003	0,029	0,034	0,0045	0,2880	0,035	1,77	1,77	1,78	0,093	0,093	25,78
9	108,020	107,020	9 - EXIST	19,00	0,020	0,024	0,002	0,523	0,619	0,0045	0,2227	0,037	1,63	1,63	1,84	0,100	0,100	21,30
EXIST	103,789	102,789		452,00														

**FONTE: Próprios autores**

As redes de esgoto com topografia elevada apresentaram resultados de tensão trativa altos e com isso satisfatórios, comprovando a influência da topografia no dimensionamento. Os trechos 1-3 e 6-7 apresentarão velocidade final superior à velocidade crítica, entretanto verifica-se que as lâminas de água, resultantes das vazões de jusante dos trechos, foram inferiores à 50% do tubo e desta forma não atingiram o valor máximo preconizado por norma.

Os resultados alcançados para as redes de esgoto com topografia levemente plana comprovam que locais com declividade menos acentuada podem ser passíveis de ocorrência de maiores problemas, uma vez considerados os riscos de geração de sulfeto de hidrogênio pela falta de autolimpeza das tubulações. Neste sentido é apresentada a planilha de dimensionamento para as redes de topografia levemente plana (anexo 2).

**Tabela 2- Planilha de dimensionamento de redes de esgoto - topografia levemente plana.**

Parâmetros de projeto					Parâmetros físicos													
Profundidade mínima adotada (PVs)		1 metros			Peso específico da água					10000 N/m <sup>3</sup>								
População atual		215 hab			Aceleração da gravidade					9,8 m/s <sup>2</sup>								
Consumo per capita		160 l/hab.dia																
Coeficiente de retorno		0,8																
Taxa de infiltração		0,1 l/s.km																
K1		1,2																
K2		1,5																
Vazão mínima de projeto		1,5 l/s																
Comprimento total da rede		452,00 m																
					* K1 ( Coeficiente do dia de maior contribuição)													
					* K2 ( Coeficiente da hora de maior contribuição)													
PV	Cota do tampão (m)	Cota de fundo do PV (m)	Trecho	Comprimento (m)	Vazão no trecho (l/s)		Vazão de infiltração (l/s)	Vazão a jusante (l/s)		Declividade mínima (m/m)	Declividade projetada (m/m)	Diâmetro mínimo (m)	Velocidade no trecho (m/s)		Velocidade crítica (m/s)	Lâmina y/D		Tensão trativa (Pa)
					inicial	final		inicial	final				inicial	final		inicial	final	
1	227,837	226,837	1 - 3	68,00	0,072	0,079	0,007	0,093	0,093	0,0045	0,0094	0,066	0,54	0,54	2,61	0,215	0,215	1,81
					0,086	0,093		0,215	0,215									
2	227,400	226,400	2 - 3	40,00	0,042	0,046	0,004	0,055	0,055	0,0045	0,0050	0,074	0,43	0,43	2,80	0,252	0,252	1,11
					0,051	0,055		0,252	0,252									
3	227,199	226,199	3 - 4	40,00	0,042	0,171	0,004	0,203	0,203	0,0045	0,0100	0,065	0,55	0,55	2,59	0,212	0,212	1,90
					0,051	0,203		0,212	0,212									
4	226,800	225,800	4 - 5	43,00	0,045	0,221	0,004	0,261	0,261	0,0045	0,0090	0,067	0,53	0,53	2,63	0,218	0,218	1,75
					0,055	0,261		0,218	0,218									
5	226,415	225,415	5 - 9	62,00	0,066	0,293	0,006	0,346	0,346	0,0045	0,0046	0,076	0,41	0,41	2,82	0,258	0,258	1,03
					0,079	0,346		0,258	0,258									
6	227,350	226,350	6 - 7	80,00	0,085	0,093	0,008	0,109	0,109	0,0045	0,0063	0,071	0,46	0,46	2,73	0,238	0,238	1,32
					0,101	0,093		0,238	0,238									
7	226,850	225,850	7 - 9	75,00	0,079	0,179	0,008	0,212	0,212	0,0045	0,0096	0,066	0,54	0,54	2,61	0,214	0,214	1,84
					0,095	0,179		0,214	0,214									
8	226,300	225,300	8 - 9	25,00	0,026	0,029	0,003	0,034	0,034	0,0045	0,0067	0,070	0,48	0,48	2,71	0,234	0,234	1,40
					0,032	0,029		0,234	0,234									
9	226,132	225,132	9 - EXIST	19,00	0,020	0,344	0,002	0,406	0,406	0,0045	0,0064	0,071	0,47	0,47	2,72	0,236	0,236	1,35
					0,024	0,344		0,236	0,236									
EXIST	226,010	225,010		452,00														

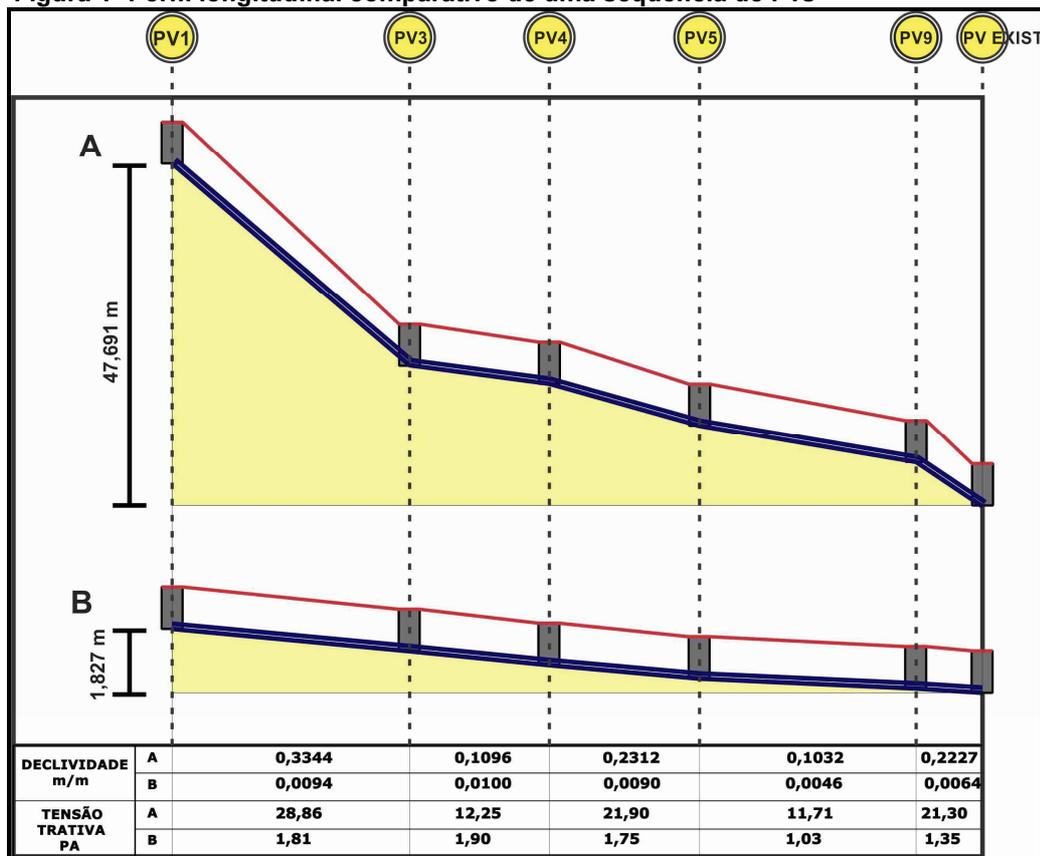
**FONTE: Próprios autores**

A rede de esgoto com topografia levemente plana apresentou resultados de tensão trativa satisfatórios, porém próximas à 1,00 Pa, o que demonstra uma maior tendência de acumulação de partículas sólidas no fundo do tubo. Trechos que apresentam tensão trativa próximas à mínima permitida em projeto, possuem maior possibilidade de apresentarem problemas quando executados, uma vez que, pequenas variações de declividade no assentamento do tubo podem ocorrer.

As lâminas líquidas alcançadas pelas vazões, em todos os trechos das redes com topografia levemente plana, se mostraram inferiores à 75% do tubo, o que garante o funcionamento como condutos livres e circulação de ar satisfatória.

Através da análise dos resultados se pode notar uma diferença relativamente grande em relação aos resultados de tensão trativa obtidos, onde o menor valor encontrado para topografia elevada é de 11,71 Pa, sendo que o maior valor de tensão trativa encontrado para topografia levemente plana foi 1,03 Pa, como mostra a figura abaixo:

Figura 1- Perfil longitudinal comparativo de uma sequência de Pvs



FONTE: Próprios autores

#### 4. CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados obtidos é possível observar que a topografia exerce uma influência muito grande sobre o dimensionamento de redes de esgotamento sanitário, visto a importância da manutenção de uma tensão tratativa de 1Pa para propiciar o deslocamento do esgoto e assim impedir um correto funcionamento.

Em topografias elevadas é necessário que se tenha um cuidado quanto à extrapolação da declividade acima do estabelecido em projeto no momento da execução, uma vez que as tubulações poderão apresentar lâminas líquidas acima dos limites aceitáveis e desta forma tender a ser condutos forçados.

Em topografias levemente planas não é conveniente acentuar demasiadamente a declividade para aumento da tensão tratativa, pois poderá resultar em aprofundamento excessivo da rede e com isso aumento dos custos de escavação. O mais apropriado é o correto acompanhamento do nivelamento dos tubos para que se alcancem a declividade apontada em projeto.

A análise comparativa das duas situações propostas apontam a tensão tratativa como sendo um dos critérios mais importantes para propiciar o correto dimensionamento de redes de esgoto. A topografia assume um papel determinante sobre os

resultados alcançados, devendo ser analisada com uma maior atenção em casos extremos de baixa e alta declividade por refletir respectivamente em valores baixos de tensão trativa e elevada velocidade no conduto.

Os resultados alcançados permitem concluir que a topografia exerce total influência sobre o dimensionamento de redes coletoras de esgotamento sanitário, sendo que sua compreensão possibilitará o correto funcionamento dos condutos e evitar gastos desnecessários quando na execução dos projetos.

## 5. REFERENCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9648**: Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9649**: Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.
3. GAMEIRO, Luiz Fernando de Souza. **Dimensionamento otimizado de redes de esgotos sanitários com a utilização de algoritmos genéricos**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2003.
4. HELLER, Leo. **Relação Entre Saúde e Saneamento na Perspectiva do Desenvolvimento**. Revista Ciência & Saúde Coletiva, v.3. n2, p. 73-84, Rio de Janeiro, 1998.
5. MACHADO NETO, Joaquim Gabriel Oliveira e TSUTIYA, Milton. **Tensão Trativa: um Critério Econômico para o Dimensionamento das Tubulações de Esgoto**. Revista Dae. v.45. n140, p. 73-87, Rio de Janeiro, 1985.
6. NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto Sanitário** : Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda. 2ª Edição Revista, Atualizada e Ampliada. 2011.
7. OLIVEIRA, Anderson Luis Silva de e FERNANDEZ, José Carrera. **Análise da Eficiência do Setor de Saneamento Básico no Brasil**. Fórum Banco Do Nordeste De Desenvolvimento: IX Encontro Regional De Economia Da ANPEC, 2004.
8. OMS (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE) Disponível em [www.who.int/eportuguese/publications/pt](http://www.who.int/eportuguese/publications/pt).. Acesso em: 14 out. 2015.
9. PEREIRA, José Almir Rodrigues. **Rede Coletora de Esgoto Sanitário: Projeto, Construção e Operação**. 2. Ed. rev. e ampliada. Universidade Federal do Pará, 2006.

10. ROUQUAYROL, Maria Zélia e ALMEIDA FILHO, Naomar **Epidemiologia e Saúde**. Rio de Janeiro. Editora Medsi. 5º Edição. 1999.
11. SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO). Disponível em [www.snis.gov.br](http://www.snis.gov.br). Acesso em: 16 out. 2015.
12. TSUTIYA, Milton e ALEM SOBRINHO, Pedro. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 3ª Edição. 2011.