

II-279 - INFLUÊNCIA DOS CRITÉRIOS DAS NORMAS NBR 9649 E NBR 14486 NO DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE COLETORA DE ESGOTO DE MATERIAL PVC

Luís Henrique Magalhães Costa⁽¹⁾

Orientador – Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

Lívia Figueira de Albuquerque⁽²⁾

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) - Aluna do curso de pós-graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará (UFC) – Bolsista CNPq

Artemisa Fontinele Frota⁽³⁾

Aluna do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) - Bolsista CNPq

Endereço⁽¹⁾: Av. da Universidade, 850 - Campus da Betânia – Sobral – CE – Brasil – email: luishenrique.uva@gmail.com; ⁽²⁾ Avenida Humberto Monte, 2510 – Fortaleza – CE - Brasil; ⁽³⁾ Rua Teodomiro Barros, 470 – Martinópolis – CE – Brasil.

RESUMO

Em análise ao crescimento urbano é importante destacar que, para a preservação ambiental, os serviços de sistema de esgotamento sanitário têm papel fundamental para a destinação correta dos excretas humanos. Dessa forma, torna-se necessário a correta concepção de projetos de redes coletoras de esgoto para que haja um melhor desempenho desses sistemas nos centros urbanos, a fim de que futuramente sejam evitados custos adicionais referentes a eventuais reparos nesses sistemas. Visto isso, as normas NBR 9649 (ABNT, 1986) e NBR 14486 (ABNT, 2000) prescrevem diferentes condições exigíveis para a elaboração destes projetos, no que diz respeito ao correto dimensionamento dos componentes da rede. Dada essa parametrização, o presente trabalho teve como objetivo analisar a influência dos critérios de cada uma das normas supracitadas no dimensionamento de redes coletoras de esgoto. Além disso, foi objetivo deste projeto estabelecer as principais diferenças entre as mesmas, apontando vantagens e desvantagens ao adotar cada uma delas como parâmetros de dimensionamento, no que diz respeito a redes coletoras de PVC, tipo de material utilizado nesta análise. O método de dimensionamento das análises se baseou em dois cenários, considerando o cenário 1 como referência aos parâmetros da NBR 9649 (ABNT, 1986) e cenário 2 como referência a NBR 14486 (ABNT, 2000). O dimensionamento foi feito através de uma aplicação WEB de automação de projetos de saneamento, conforme dito, disponível em <<http://www.AquaCAD.net/>>. O objetivo principal deste site é fornecer aos projetistas de saneamento serviços online de automação de diferentes processos a partir de arquivos criados em programas como o AutoCAD (.dxf), o Excel (.xls) e o Epanet (.inp). Em análise, pode-se concluir que o cenário 2 (NBR 14486) exigiu um menor volume de escavação para ser realizado e tubulação de menor diâmetro que o exigido no cenário 1 (NBR 9649). Isto se reflete de forma mais considerável quando se trata de redes mais extensas e de contribuições maiores a população. Além disso, com o auxílio do programa de automação, foi possível simular duas situações de uma forma mais rápida que auxiliará em projetos mais complexos na área.

PALAVRAS-CHAVE: NBR 9649, NBR 14486, Rede coletora de Esgoto.

INTRODUÇÃO

Em análise ao crescimento urbano, é importante destacar que, para a preservação ambiental, os serviços de sistema de esgotamento sanitário têm papel fundamental, pois estes contribuem para a destinação correta dos excretas humanos. Este procedimento em vigor evita a consequente proliferação de doenças, ocasionadas quando tal serviço é escasso ou ineficiente.

Dessa forma, torna-se necessário a concepção correta de projetos de redes coletoras de esgoto para que haja um melhor desempenho desses sistemas nos centros urbanos, a fim de que futuramente sejam evitados custos adicionais referentes a eventuais reparos nesses sistemas.

Visto isso, as normas NBR 9649 (ABNT, 1986) e NBR 14486 (ABNT, 2000) prescrevem diferentes condições exigíveis para a elaboração destes projetos, no que diz respeito ao correto dimensionamento dos componentes

da rede em material PVC. Mais precisamente, cada uma dessas normas cita um valor mínimo de tensão trativa média que cada trecho deve seguir.

Segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), a tensão trativa é uma tensão tangencial exercida sobre a parede do conduto pelo líquido em escoamento, ou seja, é a componente tangencial do peso do líquido sobre a unidade de área da parede do coletor e que atua sobre o material sedimentado, promovendo seu arraste.

Para cada tensão trativa média definida nessas normas, há um determinado coeficiente de Manning e uma equação de declividade mínima que atende a condição. Conforme a NBR 9649 (ABNT, 1986), cada trecho deve ser verificado pelo critério de tensão trativa média de valor mínimo 1,0 Pa, calculada para vazão inicial (Q_i), para coeficiente de Manning $n = 0,013$. A declividade mínima que satisfaz essa condição pode ser determinada pela equação 1 aproximada:

$$I_{o, \min} = 0,0055 \cdot Q_i^{-0,47} \quad \text{Equação (1)}$$

sendo $I_{o, \min}$ em m/m e Q_i em L/s.

Em contrapartida, a norma NBR 14486 (ABNT, 2000) cita que o critério de verificação da tensão trativa seja de no mínimo 0,6 Pa, para coeficiente de Manning de $n = 0,010$. Portanto, para garantir este critério a declividade mínima deve atender a seguinte equação 2:

$$I_{o, \min} = 0,0035 \cdot Q_i^{-0,47} \quad \text{Equação (2)}$$

sendo $I_{o, \min}$ em m/m e Q_i em L/s.

Em resumo, a tabela 1 expõe as características citadas anteriormente de cada norma.

Tabela 1: Parametrização das normas NBR 9649 (ABNT, 1986) e NBR 14486 (ABNT, 2000).

PARÂMETRO	NBR 9649	NBR 14486
Tensão trativa mínima	1.0 Pa	0.6 Pa
Coeficiente de Manning	0.013	0.01
Equação da declividade mínima	$I_{o, \min} = 0,0055 \cdot Q_i^{-0,47}$	$I_{o, \min} = 0,0035 \cdot Q_i^{-0,47}$

OBJETIVOS

Dada essa parametrização, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência dos critérios de cada uma das normas supracitadas no dimensionamento de redes coletoras de esgoto. Além disso, é finalidade deste projeto estabelecer as principais diferenças entre as mesmas, apontando vantagens e desvantagens ao adotar cada uma delas como parâmetros de dimensionamento, no que diz respeito a redes coletoras de PVC, tipo de material utilizado nesta análise. De forma mais detalhada, avaliar parâmetros do projeto que contribuem consideravelmente no orçamento de construção do empreendimento, tendo como exemplo o volume de escavação e escolha dos diâmetros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta análise comparativa, foi realizado um estudo de caso em uma rede coletora de esgoto e aplicados os critérios de ambas as normas no dimensionamento, criando dois cenários distintos. A rede hipotética está situada em um loteamento de 2742 lotes, localizada em uma altitude que varia de 52m a 67m. A figura 1 mostra o sistema nesta estruturação, com identificação das sub-bacias e respectivo sentido de escoamento em cada trecho da rede.

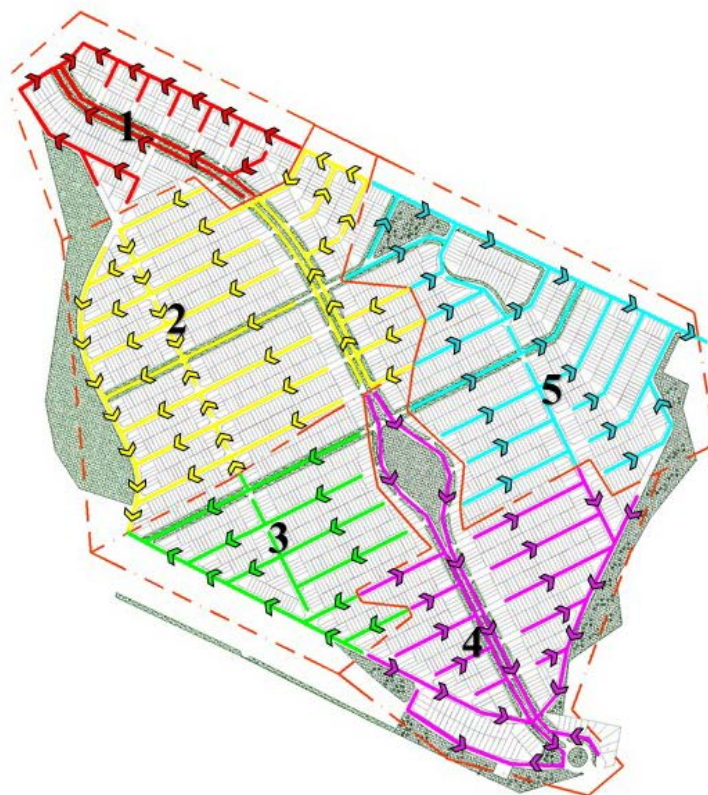


Figura 1: Rede em estudo com divisão de sub-bacias e sentido de escoamento.

Composta por 316 trechos, a rede apresenta uma área de aproximadamente 1,1Km² e conta com uma extensão de quase 18Km de canalização. De acordo com a disposição das declividades do terreno, a rede foi dividida em 5 sub-bacias. Para fins de dimensionamento, em cada lote será considerado uma família média de 5 membros, cada um consumindo por dia um volume de 150 litros. Além disso, para o cálculo das vazões de início e fim de plano, utilizou-se as equações (3) e (4) a seguir:

$$Q_i = \frac{P_i \cdot q \cdot C \cdot K_2}{86400} \quad \text{Equação (3)}$$

$$Q_f = \frac{P_f \cdot q \cdot C \cdot K_1 \cdot K_2}{86400} \quad \text{Equação (4)}$$

em que:

Qi: Vazão média de início de plano em L/s;

Qf: Vazão média de fim de plano em L/s;

Pi: População de início de plano (hab);

Pf: População de fim de plano (hab);

q: Consumo per capita (150 L/s.hab);

K₁: Coeficiente de máxima vazão diária (1,2);

K₂: Coeficiente de máxima vazão horária (1,5);

C: Coeficiente de retorno (0,8).

Dessa forma, a tabela 2 apresenta a vazão de início e fim de plano de cada uma das sub-bacias da rede em estudo. Para esta análise, a população de início e fim de plano apresenta o mesmo valor devido à rede já ter um contingente populacional numeroso, sem possibilidades de crescimento ao longo do tempo e por se tratar de um loteamento e já possuir sua população final previamente estabelecida em projeto.

Tabela 2: Vazões de início e fim de plano de cada sub-bacia.

SUB-BACIA	Nº DE LOTES	POPULAÇÃO	VAZÃO (L/s)	
			INÍCIO DE PLANO	FIM DE PLANO
1	219	1095	2.281	2.738
2	933	4665	9.719	11.663
3	386	1930	4.021	4.825
4	549	2745	5.719	6.863
5	655	3275	6.823	8.188

O método de dimensionamento dos cenários foi feito através de uma aplicação WEB de automação de projetos de saneamento, conforme dito, disponível em <<http://www.AquaCAD.net/>>. O objetivo principal deste site é fornecer aos projetistas de saneamento serviços online de automação de diferentes processos a partir de arquivos criados em programas como o AutoCAD (.dxf), o Excel (.xls) e o Epanet (.inp).

Segundo AquaCAD (2018), a partir dos dados de entrada presentes nestes arquivos, é possível criar relatórios, planilhas e desenhos de forma automática. Os arquivos de entrada (inputs) serão armazenados no servidor por meio de uploads. Os dados presentes nestes arquivos serão interpretados via linguagem de programação para que, em seguida, processos como cálculos de dimensionamento, conversão de arquivos (dxf ↔ inp), geração de planilhas e desenhos possam ser realizados de forma automática. Após a realização das automações, os arquivos de saída (outputs) poderão ser adquiridos pelos usuários via downloads. Devido ao AquaCAD ser uma aplicação WEB, as automações poderão ser feitas de qualquer computador (independente do sistema operacional) com acesso a internet.

Para que os elementos do projeto sejam reconhecidos e dimensionados de forma correta, o AquaCAD estabelece alguns critérios para a criação dos elementos de desenho (layers, polilinhas e textos) que representarão as partes construtivas da rede de esgoto. São exemplos desses parâmetros: a inserção dos trechos de cada sub-bacia de ser feito com um layer específico de cada sub-bacia e este deve possuir uma nomenclatura com formato “AQUA_SBN”, sendo o N o número da sub-bacias (ex: AQUA_SB1, AQUA_SB2, AQUA_SB3...).

Além disso, os coletores são representados por linhas, onde cada uma delas representa um trecho da rede, sendo a primeira linha a montante considerada como um trecho do tipo “ponta-seca”. O lançamento das linhas deverá ser feito no sentido do escoamento. Em relação às cotas das singularidades, estas são interpoladas a partir das curvas de nível contendo elementos do tipo polilinhas ou spline com o layer de nome “AQUA_CN”.

Outro detalhe importante a se destacar é a distinção das cores em cada trecho das sub-bacias. A caracterização dos trechos por diferentes cores possibilita a identificação de trechos com contribuição unilateral (cor azul), contribuição bilateral (cor verde) e sem contribuição (cor vermelha). Vale acrescentar que ao desenhar os trechos da rede é necessário que os mesmos estejam conectados em seus respectivos *endpoints* para que o AquaCAD possa reconhecer os trechos a montante e a jusante dos mesmos, sendo o trecho que possui o poço de visita (PV) final a única exceção a essa regra. Caso isso não ocorra, o AquaCAD entenderá que há mais de um PV final.

Desse modo, é possível determinar o tipo de contribuição e os trechos a montante e a jusante de cada trecho da rede via linguagem de programação, sendo estas condições de fundamental importância para o dimensionamento correto da rede. Feito tudo isso, a figura 2 apresenta a disposição do detalhamento da rede pós-dimensionamento pelo AquaCAD e a figura 3 mostra um exemplo de detalhamento de um trecho da rede.

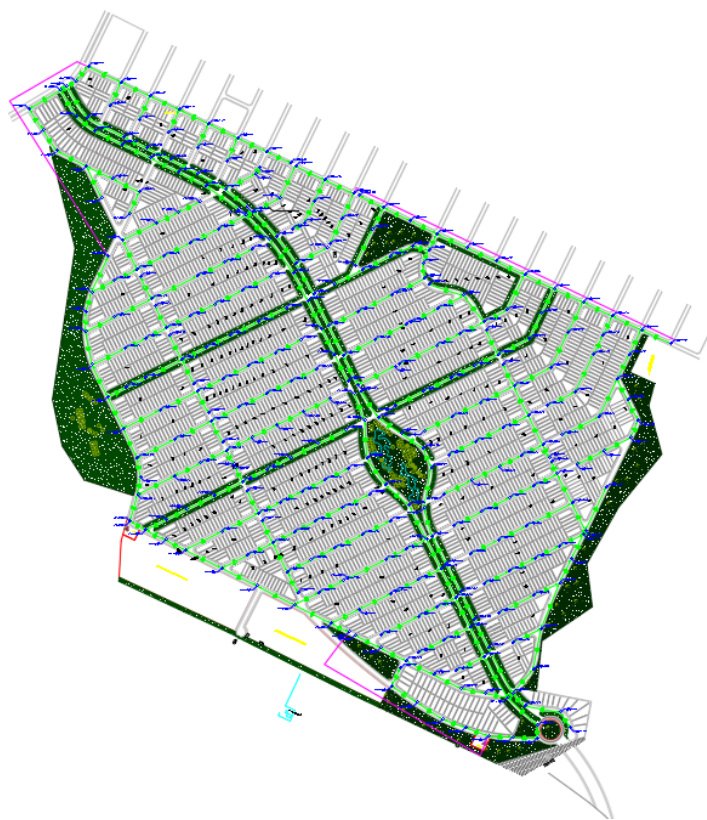


Figura 2: Desenho da rede pós-dimensionamento no AutoCad.



Figura 3: Exemplo de detalhamento de um trecho.

RESULTADOS OBTIDOS

A análise foi feita considerando a quantidade de escavação e os diâmetros das tubulações, sempre buscando o menor custo de obra. Dada esta relação, sabe-se que menores escavações são resultadas de declividades mínimas adotadas, propiciando menores custos nesta etapa de execução do empreendimento. Por outro lado, pequenas escavações exigem que sejam adotadas tubulações de maiores diâmetros, favorecendo um maior custo nesses componentes da rede.

Segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), estimativas preliminares mostram que o custo de implantação de redes coletoras de baixa declividade pode ser cerca de 20 a 25% menor que o de redes convencionais. Dessa forma, os resultados da análise se basearam nesta inter-relação “escavação ↔ tubulação ↔ custo”. Então, foram avaliados, em cada simulação, o quantitativo de trechos por diâmetro e a escavação total a ser feita para a construção da rede.

Para a análise comparativa entre as normas, considerou-se o cenário 1 como referência aos parâmetros da NBR 9649 (ABNT, 1986) e cenário 2 como referência a NBR 14486 (ABNT, 2000). Feita a simulação em ambos os cenários, gerou-se a planilha de dados através da aplicação de automação, conforme dito anteriormente. Assim, dados do volume escavado em cada trecho podem ser analisados. A tabela 3 mostra o volume de escavação nos dois cenários em cada sub-bacia e o volume total.

Tabela 3: Volume de escavação nos dois cenários.

Sub-bacia	Volume de Escavação (m³)	
	Cenário 1	Cenário 2
1	1795,95	1696,28
2	4332,31	4237,75
3	1719,48	1691,52
4	3139,25	3083,97
5	2942,06	2907,70
Total	13929,05	13617,21

Em análise, observa-se uma diferença sutil no volume de escavação entre os cenários. Para a construção da rede, o cenário 1 exige um volume de 311,83 m³ (2,29%) a mais de escavação proposta pelo cenário 2. Isto significa que as declividades do cenário 2 são menores, gerando uma maior viabilidade econômica nesta etapa de construção. Caso fosse analisado em redes com terrenos desuniformes e pontos altos a serem vencidos, maior seria esta diferença de volume de escavação.

Outro fator que exige uma análise mais criteriosa é a escolha dos diâmetros das tubulações da rede, pois consistem na etapa mais onerosa de construção. Então, pela planilha de dados quantificou-se o comprimento de tubulação necessária por diâmetro em cada um dos cenários. A tabela 4 relata este dado.

Tabela 4: Comprimento de tubulações de acordo com os diferentes diâmetros.

Diâmetro (mm)	Comprimento de tubulação (m)	
	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
150	16306,97	16306,97
200	612,65	612,65
250	594,47	594,47
300	278,76	341,77
350	187,37	124,36
Total	17980,22	17980,22

Em análise, observa-se que para os diâmetros menores (150mm, 200mm e 250mm) não houve diferença de comprimento necessário, ambos os cenários exigiram quantidades equivalentes. Entretanto, para os diâmetros maiores (300mm e 350mm), presentes nas tubulações finais da rede, observou-se valores divergentes exigíveis.

Pelo desenho de projeto, percebeu-se que esta diferença entre os cenários é devido a um único trecho de 63,01m. No cenário 1 ele apresenta 350mm de diâmetro enquanto que no cenário 2 apresenta apenas 300mm. É importante destacar que apesar da diferença irrisória entre os cenários, trata-se de uma rede pequena, não exigindo tubulações tão grandes devido a sua pequena vazão.

Todavia, em grandes redes de esgoto é comum apresentarem tubulações maiores nos trechos finais próximos as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Sabendo que tubulações de maiores diâmetros apresentam um custo maior, complementa-se que para este item da obra o cenário 2 se mostrou mais eficiente no quesito

financeiro, mesmo se tratando de um pequeno trecho. A figura 4 apresenta o trecho em questão (1-20) exposto no desenho de projeto.



Figura 4: Trecho 1-20 nos cenários 1 e 2 respectivamente.

Avaliando as tensões trativas em cada cenário observou-se que estas se mantiveram equilibradas de acordo com o exigido em cada cenário. Pela tabela 5, observa-se que os cenários atendem a exigência do valor mínimo de tensão trativa que cada norma adota, validando a aplicação correta do dimensionamento.

Tabela 5: Valores máximos e mínimos de tensão trativa dos cenários 1 e 2.

Tensão Trativa (Pa)	Cenário 1	Cenário 2
Mínimo	1,03	0,64
Máximo	15,94	14,33

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que em um projeto de redes coletoras de esgoto existem vários parâmetros que influenciam de forma considerável no orçamento da obra. Esta relação custo-benefício é de extrema importância na escolha dos melhores materiais e para o planejamento das etapas de obra, pois como se trata de um projeto de grande porte, é essencial analisar de forma cuidadosa esta questão.

Portanto, observou-se que o cenário 2 (NBR 14486) exigiu um menor volume de escavação para ser realizado e tubulação de menor diâmetro que o exigido no cenário 1 (NBR 9649). Isto se reflete de forma mais considerável quando se trata de redes mais extensas, com terrenos que possuem grandes desníveis e de contribuições maiores a população. Além disso, com o auxílio do programa de automação, foi possível simular duas situações de forma rápida e confiável que auxiliará em projetos mais complexos na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 14486: Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
3. ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Univ. de São Paulo, 2000. 547 p.
4. Automação de Projeto de Saneamento, AQUACAD. 2018. Disponível em: <<http://www.AquaCAD.net/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.