

Impacto do método de dimensionamento e parâmetros de projeto em sistemas prediais de esgoto sanitário: uma avaliação comparativa

Impact of the sizing method and design parameters on plumbing sewage systems: a comparative evaluation

Impacto del método de dimensionamiento y de los parámetros de diseño en los sistemas de alcantarillado sanitario: una evaluación comparativa

Bruna Fioramonte * 

Universidade Federal de Goiás; Escola de Engenharia Civil e Ambiental; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Goiânia (GO), Brasil.
brunafioramonte@hotmail.com

Dary Ferreira da Silva Neto 

Universidade Federal de Goiás; Escola de Engenharia Civil e Ambiental; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Goiânia (GO), Brasil.

Ricardo Prado Abreu Reis 

Universidade Federal de Goiás; Escola de Engenharia Civil e Ambiental; Departamento de Construção Civil.
Goiânia (GO), Brasil.

* Autora correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Concepção; simulação de dados; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Redação –rascunho original; Redação - revisão e edição: FIORAMONTE, B.; Concepção; Análise de dados; Curadoria de Dados; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição: NETO, D. F. S.; Concepção; Curadoria de Dados; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Supervisão; Visualização; Validação; Redação - revisão e edição: REIS, R. P. A.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Não possui.

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho

Editores responsáveis: Daniel Sant’Ana (Editor-Chefe); Andreza Kalbusch (Editora Convidada); Heber Martins de Paula (Editor Convidado).

Resumo

O dimensionamento dos sistemas prediais de esgoto sanitário, conforme norma ABNT NBR 8160:1999 permite a aplicação de dois métodos distintos: o método de Unidades Hunter de Contribuição (UHC) e o método hidráulico. Este artigo apresenta uma análise comparativa entre os resultados obtidos pela aplicação de ambos os métodos na determinação do diâmetro das tubulações que compõem o sistema predial de esgoto sanitário. Foram feitas avaliações abrangendo três diferentes ambientes sanitários, simulados em uma edificação residencial, dotada de uma unidade habitacional por pavimento, considerando 4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos-tipo. No estudo proposto, foram analisados os dimensionamentos dos ramais de descarga e de esgoto, tubos de queda, subcoletores e coletores prediais. Foi constatada a recorrência do método de dimensionamento UHC em determinar diâmetros superiores àqueles definidos pelo método hidráulico, indicando a tendência de superdimensionamento das tubulações. Os resultados mostraram ainda, a ocorrência de situações que indicam a necessidade de adequações nas normativas e padrões de fabricação de aparelhos e acessórios sanitários, sobretudo na aplicação do método hidráulico.

Palavras-chave: Esgoto sanitário; Dimensionamento; Método UHC; Método hidráulico; Diâmetro; Comparação.

Abstract

The sizing of sanitary sewer systems, according to ABNT standard NBR 8160:1999, allows the application of two different methods: the Hunter Contribution Unit (HCU) and the hydraulic method. This paper presents a comparative analysis of the results obtained by applying both methods to determine the pipes diameter of the plumbing sewage system. Evaluations were carried out covering three different sanitary environments, simulated in a residential building, with one housing unit per floor, considering 4, 8, 12, 16 and 20 standard floors. In the proposed study, the sizing of discharge and sewage branches, waste stack pipe, building sewer pipe and sewer lateral pipe, was analyzed. The recurrence of the HCU sizing method in determining diameters greater than those defined by the hydraulic method was observed, indicating the tendency to oversize the pipelines. The results also showed the occurrence of situations that indicate the need for adjustments in the regulations and manufacturing standards for sanitary wares e fittings, especially when applying the hydraulic method.

Key-words: Sanitary sewage; Sizing; HCU method; Hydraulic method; Diameter; Comparison.

Resumen

El dimensionamiento de sistemas de alcantarillado sanitario, según la norma ABNT NBR 8160:1999, permite la aplicación de dos métodos: la Unidades de Contribución Hunter (UCH) y el método hidráulico. Este trabajo presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos al aplicar ambos métodos para determinar el diámetro nominal de las tuberías del sistema de alcantarillado sanitario. Se realizaron evaluaciones que abarcaron tres ambientes sanitarios diferentes, simulados en un edificio residencial, con una unidad habitacional por piso, considerando 4, 8, 12, 16 y 20 pisos. En el estudio propuesto, se analizó el dimensionamiento de los ramales de descarga y alcantarillado, bajantes, subcolectores y colectores del edificio. Se observó la recurrencia del método de dimensionamiento HCU en la determinación de diámetros mayores a los definidos por el método hidráulico, indicando la tendencia al sobredimensionamiento de las tuberías. Los resultados también mostraron la ocurrencia de situaciones que indican la necesidad de realizar ajustes en las regulaciones y normas de fabricación de aparatos y accesorios sanitarios, especialmente cuando se aplica el método hidráulico.

Palabras-clave: Alcantarillado sanitario; Método UHC; Método hidráulico; Diámetro; Comparación.

1 Introdução

O aumento do contingente populacional nas cidades brasileiras, fenômeno intensificado a partir da segunda metade do século XX, resultou em incremento do volume de despejos e resíduos gerados como consequência da utilização de aparelhos sanitários. Segundo Fernandes e Gonçalves (2006), tal fato deflagrou a necessidade de se prever um encaminhamento conveniente para as águas servidas geradas no interior das edificações. Deste modo, torna-se objeto de estudo e otimização o dimensionamento e desempenho dos Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário (SPES).

O SPES é definido como o aparato de tubulações, conexões, acessórios e instalações complementares que tem por finalidade a coleta e o transporte dos despejos sanitários, assegurando o direcionamento correto dos gases à atmosfera e obstruindo o contrafluxo de odores e resíduos em direção aos aparelhos de consumo, conforme a NBR 8160 (ABNT, 1999). O SPES tem funcionamento dinâmico, sendo influenciado diretamente pelos aparelhos e peças sanitárias que o constituem, de modo que as vazões individuais se somam para viabilizar o adequado desempenho de movimentação de resíduos e manutenção das pressões internas do sistema (Wise e Swaffield, 2002; Baroni, 2018; Fioramonte *et al.*, 2024). Assim sendo, o SPES deve atuar promovendo o escoamento eficiente dos dejetos dos aparelhos sanitários, promovendo o afastamento rápido e seguro das águas residuais por meio de instalações estanques quanto ao retorno inoportuno de gases e insetos (Foresti e Blundi, 1980).

Dentre os principais elementos constituintes dos SPES, na abrangência das tubulações, destacam-se os ramais de descarga e de esgoto, os tubos de queda, os subcoletores e os coletores prediais. Os ramais de descarga compreendem as tubulações que recebem os resíduos provenientes diretamente dos aparelhos sanitários; os ramais de esgoto remetem às tubulações que conduzem os despejos provenientes de dois ou mais ramais de descarga, não sendo exclusivos de um aparelho sanitário; os tubos de queda consistem em tubulações verticais, localizadas em edificações de dois ou mais pavimentos, que recebem os despejos oriundos dos ramais de descarga e de esgoto; os subcoletores são tubulações horizontais que conduzem os efluentes provenientes de um ou mais tubos de queda; por fim, o coletor predial contempla o trecho de tubulação disposto entre o último ponto de contribuição de despejos e o sistema particular, ou público, de canalização dos resíduos (Creder, 2006).

No Brasil, o dimensionamento dos componentes do SPES é regido pela norma técnica NBR 8160 (ABNT, 1999). A referida norma expõe os critérios a serem considerados visando a adequabilidade do SPES no que tange aos parâmetros de desempenho, higiene, segurança e conforto dos usuários. No que concerne ao dimensionamento dos elementos constituintes do SPES, a norma acima mencionada apresenta duas principais metodologias passíveis de aplicação: o dimensionamento pelo somatório de Unidades Hunter de Contribuição (UHC) e o dimensionamento pelo método hidráulico, sendo ambas as metodologias de caráter probabilístico.

O dimensionamento baseado nas Unidades Hunter de Contribuição deriva de estudos idealizados pelo pesquisador Dr. Roy B. Hunter, sendo pautado na atribuição de um fator numérico definido em função do uso habitual de cada um dos tipos de aparelho sanitário (Carvalho Júnior, 2016). Desta forma, a determinação dos diâmetros nominais dos elementos constituintes do SPES se dá por meio do somatório dos valores de UHC que

concorrem para um mesmo trecho da instalação, mediante a incorporação de parâmetros como declividade da tubulação e altura da edificação, conforme a NBR 8160 (ABNT, 1999).

Já o dimensionamento pelo método hidráulico provém de estudos desenvolvidos por Graça (1985) e que consideram avaliações sobre o uso simultâneo de aparelhos sanitários, associados ao fator de falha do sistema predial, ao intervalo de tempo médio que existe entre descargas sucessivas, o tempo médio de duração de cada descarga, aqui entendida como o evento de consumo de água para movimentação dos despejos gerados no uso dos aparelhos sanitários e a taxa de ocupação das tubulações. Mediante o levantamento dessas informações associadas ao perfil de consumo dos aparelhos sanitários, são aplicados os modelos matemáticos apresentados no Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999) para a determinação dos diâmetros nominais dos elementos integrantes do SPES.

Deste modo, este trabalho teve por objetivo comparar o dimensionamento dos SPES mediante a aplicação das duas metodologias mencionadas acima para o subsistema de coleta e transporte. Além de analisar comparativamente os métodos, também foi investigado, para o método hidráulico, o impacto da utilização de diferentes parâmetros de fator de falha, bem como a influência do número de pavimentos em ambos os métodos.

2 Metodologia

Para atingir o objetivo deste trabalho, foi realizado uma simulação em diferentes cenários de estudo. Esta refere-se a um edifício residencial de múltiplos pavimentos e foi conduzido em três etapas. A primeira etapa foi a escolha e caracterização do edifício estudado e de seus ambientes sanitários. A segunda etapa foi o dimensionamento do subsistema de coleta e transporte pelo método das Unidades Hunter de Contribuição (UHC) e pelo método hidráulico. Por fim, na terceira etapa, foram realizadas as análises comparativas entre os resultados obtidos com cada um dos métodos.

2.1 Definição dos cenários de estudo e caracterização do edifício e dos ambientes sanitários

O estudo contemplou um modelo hipotético de edifício residencial, caracterizado pela disposição de múltiplos pavimentos, onde cada pavimento possui exclusivamente um único apartamento. A análise não se limitou a um cenário específico, mas sim, contemplou várias configurações, uma vez que o referido edifício foi submetido a uma série de estudos de dimensionamentos, contemplando variações no número de pavimentos. Logo, os cenários investigados compreenderam simulações com 4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos-tipo. O critério de seleção adotado para os diferentes cenários da edificação previu o acréscimo progressivo de 4 pavimentos-tipo e, por conseguinte, de 4 aparelhos sanitários por tipo visando capturar a diversidade de contextos habitacionais possíveis, considerando as variações no número de pavimentos-tipo, e permitir uma análise dos efeitos das diferentes alturas do edifício em relação às características e requisitos do SPES levando em conta a variação no número de aparelhos sanitários contribuindo com despejos.

Cada uma dessas unidades habitacionais foi projetada com um arranjo padrão de três ambientes sanitários, sendo uma área de serviço, um banheiro e uma cozinha. No banheiro, foram considerados os seguintes aparelhos sanitários: um lavatório, uma bacia

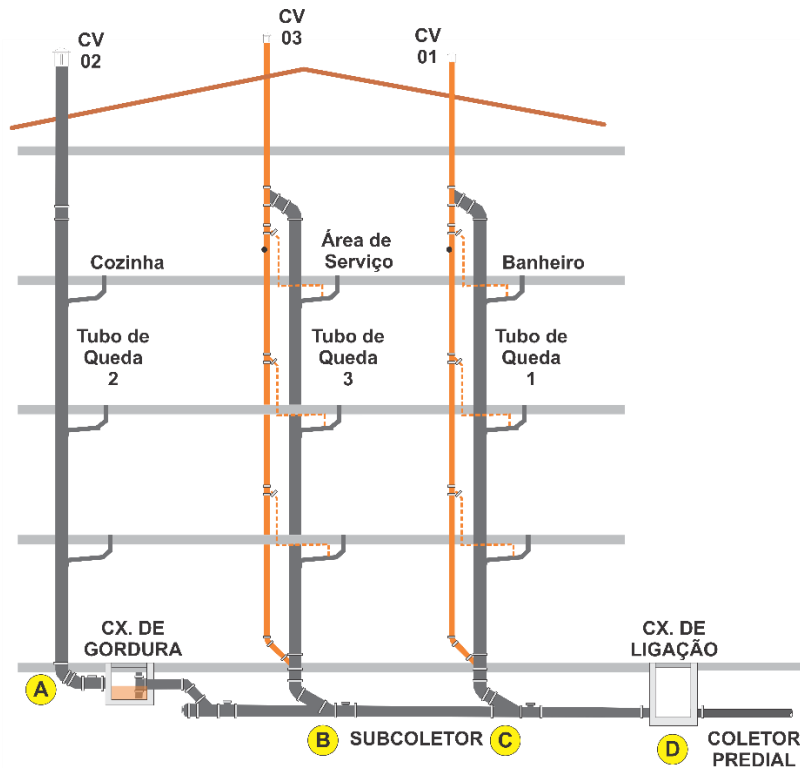
sanitária com caixa acoplada e um chuveiro. A cozinha possui uma pia e uma máquina de lavar louças e a área de serviço, que é integrada à cozinha, possui uma máquina de lavar roupas e um tanque. Para o ambiente da área de serviço, em que os aparelhos sanitários estão diretamente conectados à caixa sifonada, fez-se a apropriação da nota técnica número 3 que consta na tabela 3 da NBR 8160 (ABNT, 1999), que permite a adoção de diâmetro nominal inferior a 50 mm para o ramal de descarga da máquina de lavar roupas, desde que sejam obedecidas as recomendações técnicas do fabricante do equipamento. Dada a geração de efluentes sanitários com espuma na composição para os aparelhos sanitários do tanque de lavar roupas e da máquina de lavar roupas, previu-se o uso de dispositivo antiespuma associado à caixa sifonada da área de serviço, mitigando o retorno de espuma em sentido oposto àquele de transporte do esgoto sanitário.

Para cada um dos ambientes sanitários, foi considerado um único tubo de queda para coleta e transporte dos despejos provenientes dos pavimentos sobrepostos, de modo a avaliar a influência da contribuição sanitária de toda a edificação. Contudo, a NBR 8160 (ABNT, 1999) recomenda o uso de tubos de queda exclusivos para as instalações sanitárias submetidas ao fenômeno da sobrepressão, mitigando o contrafluxo de despejos em direção aos desconectores e aparelhos sanitários. O layout com a disposição dos equipamentos sanitários em cada ambiente bem como o traçado considerado para o SPES pode ser visualizado na Figura 1. A Figura 2 indica o esquema vertical que apresenta, de forma simplificada, o layout dos tubos de queda e os trechos que compõem o subcoletor e coletor predial.

Figura 1: Layout dos ambientes sanitários.



Figura 2: Esquema vertical com a indicação dos tubos de queda, subcoletores e coletor predial.



2.2 Métodos de dimensionamento

Para o dimensionamento dos SPES foram selecionados os métodos das Unidades Hunter de Contribuição (UHC) e hidráulico. Foi adotada a utilização de tubos de PVC série leve, por ser um material amplamente utilizado para as instalações dos sistemas prediais (Gonçalves e Paula, 2023).

2.2.1 Método das Unidades Hunter de Contribuição

O processo de dimensionamento pelo método das Unidades Hunter de Contribuição (UHC) foi conduzido com base no traçado e concepção do SPES, envolvendo a identificação e avaliação de todos os aparelhos componentes do sistema. Esse procedimento possibilitou a determinação da contribuição de cada trecho a ser dimensionado.

Assim como na fase de concepção do traçado, o levantamento das UHC foi inicialmente realizado com base nos aparelhos internos de cada pavimento identificando os ramais de descarga e os ramais de esgoto, estabelecendo-se, posteriormente, os tubos de queda que conectam os efluentes desses ramais ao térreo, onde se conectam ao subcoletor e em seguida ao coletor predial. Dessa forma foi possível compreender a distribuição e contribuição de cada componente do sistema em diferentes níveis do edifício.

No que diz respeito às declividades mínimas estabelecidas de acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999), foram consideradas declividades de 1% para os ramais de descarga e ramais de esgoto com diâmetro nominal igual ou superior a 100 mm, enquanto para aqueles com diâmetro nominal igual ou inferior a 75 mm, foi estabelecida uma

declividade de 2%. Essa definição visou garantir que os resíduos sejam transportados por gravidade adequadamente ao longo das tubulações, evitando o acúmulo de sólidos e obstruções que possam comprometer o funcionamento do sistema (Swaffield, 2009).

Com base nas diretrizes da NBR 8160 (ABNT, 1999), foi desenvolvida uma planilha eletrônica como ferramenta auxiliar para os cálculos de dimensionamento, possibilitando uma abordagem sistemática e eficiente no processo. Para a determinação das UHC dos ramais de descarga, foram empregados os valores recomendados pela NBR 8160 (ABNT, 1999), conforme apresentado na Tabela 1, juntamente com os diâmetros mínimos indicados para esses ramais.

Tabela 1: UHC dos aparelhos sanitários e diâmetro nominal mínimo dos ramais de descarga.

Ambiente	Aparelho sanitário	Ponto de consumo	UHC	Diâmetro nominal mínimo do ramal de descarga (mm)
Banheiro	Bacia sanitária	Caixa de descarga	6	100
	Chuveiro	Misturador (água fria)	2	40
	Lavatório	Torneira	1	40
Cozinha	Máquina de lavar louças	Registro de pressão	2	50
	Pia	Torneira	3	50
Área de Serviço	Máquina de lavar roupas	Registro de pressão	3	50
	Tanque	Torneira	3	40

Fonte: Adaptada da NBR 8160 (ABNT, 1999).

Após o dimensionamento dos ramais de descarga, procedeu-se à identificação e dimensionamento dos ramais de esgoto, seguindo os critérios estabelecidos pela NBR 8160 (ABNT, 1999) para os diâmetros nominais mínimos. A utilização da planilha eletrônica possibilitou a realização dos somatórios das UHC para os ramais de esgoto de cada unidade habitacional. Esse procedimento foi replicado para todas as unidades habitacionais em todos os pavimentos-tipo do edifício. Os demais cálculos também foram realizados com o auxílio da planilha. Os diâmetros dos ramais de esgoto seguiram os valores que podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2: Dimensionamento de ramais de esgoto.

Número máximo de UHC	Diâmetro nominal mínimo do tubo (mm)
3	40
6	50
20	75
160	100

Fonte: Adaptada da NBR 8160 (ABNT, 1999).

Em seguida foram dimensionados os tubos de queda. De acordo com a NBR 8160 (ABNT, 1999), se ocorrerem desvios que resultem em ângulos superiores a 45°, o dimensionamento deve ser realizado em três etapas distintas. Primeiramente, deve ser calculado o trecho vertical (tubo de queda) levando-se em consideração o número de UHC dos aparelhos sanitários que se encontram acima do desvio (Tabela 3).

Tabela 3: Dimensionamento de tubos de queda.

Diâmetro nominal do tubo de queda (mm)	Prédio com mais de 3 pavimentos
40	8
50	24
75	70
100	500
150	1900
200	3600
250	5600
300	8400

Fonte: Adaptada da NBR 8160 (ABNT, 1999).

Em seguida, a porção horizontal do desvio (subcoletores e coletores prediais) deve ser dimensionada de acordo com a Tabela 4. Por fim, a porção abaixo do desvio deve novamente ser calculada com base na Tabela 3, porém utilizando o número total de UHC de todos os aparelhos que descarregam nesse tubo de queda.

É importante ressaltar que, em todas as etapas, o diâmetro do tubo de queda não pode ser menor do que o do trecho horizontal, garantindo, assim, uma adequada capacidade de escoamento ao longo de todo o sistema.

Tabela 4: Dimensionamento de subcoletores e coletor predial.

Diâmetro nominal do tubo (mm)	Número máximo de UHC em função da declividade de 1%
100	180
150	700
200	1600
250	2900
300	4600
400	8300

Fonte: Adaptada da NBR 8160 (ABNT, 1999).

No contexto dos subcoletores e do coletor predial, o dimensionamento foi conduzido considerando o somatório das UHC de todo o sistema e em seguida determinando os diâmetros tomando como referência a Tabela 4. No entanto, é importante ressaltar que nos banheiros, foi considerada apenas a contribuição da bacia sanitária, visto que é o aparelho com maior UHC nesse ambiente específico. Além disso, para essas tubulações, foi mantida a declividade de 1%, estando dentro da orientação normativa de declividade máxima de 5%, conforme critérios da NBR 8160 (ABNT, 1999).

2.2.2 Desenvolvimento

Utilizando o mesmo traçado tomado como referência na aplicação do método UHC, foi sequenciado o dimensionamento adotando o método hidráulico, detalhado no Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999). Esse método permite a determinação do diâmetro nominal dos trechos do SPES considerando o escoamento dos despejos à $\frac{1}{2}$ seção e a $\frac{3}{4}$ de seção. Essa variação remete à área ocupada pelo fluxo de esgoto sanitário comparativamente à seção transversal do trecho dimensionado, indicando taxas de ocupação da seção pelos efluentes sanitários de 50% e 75%, respectivamente.

Para o dimensionamento dos ramais de descarga associados diretamente aos aparelhos sanitários, foram utilizadas as Equações 1 e 2, respectivamente aplicadas considerando o escoamento à $\frac{1}{2}$ seção e a $\frac{3}{4}$ de seção.

$$d_e = \frac{n^{3/8} \cdot Q_e^{3/8} \cdot I^{-3/16}}{6,644} \quad (1)$$

$$d_e = \frac{n^{3/8} \cdot Q_e^{3/8} \cdot I^{-3/16}}{8,32} \quad (2)$$

Sendo:

d_e : diâmetro do trecho calculado (m);

n : coeficiente de Manning ($s/m^{1/3}$);

Q_e : vazão no trecho calculado (l/s);

I : declividade do trecho calculado (m/m).

Dada a utilização de tubulações, conexões e acessórios de PVC série leve, adotou-se o valor de 0,010 para o coeficiente de Manning, conforme recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 2020). Os valores de declividade utilizados resultaram da recomendação da NBR 8160 (ABNT, 1999), tomando como referência as declividades associadas aos diâmetros definido pelo método das Unidades Hunter de Contribuição, iguais a 1% e 2%. Sendo o ramal de descarga o trecho da tubulação que recebe contribuição de um único ponto de consumo, a vazão afluyente no trecho corresponde à própria vazão unitária do aparelho sanitário a ele vinculado. Os valores de vazão unitária são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Vazões unitárias dos aparelhos sanitários.

Ambiente	Aparelho sanitário	Ponto de consumo	Vazão unitária (L/s)
Banheiro	Bacia sanitária	Caixa de descarga	0,96
	Chuveiro	Misturador (água fria)	0,20
	Lavatório	Torneira	0,15
Cozinha	Máquina de lavar louças	Registro de pressão	0,30
	Pia	Torneira	0,25
	Máquina de lavar roupas	Registro de pressão	0,30
Área de serviço	Tanque	Torneira	0,25

Fonte: Adaptada da NBR 8160 (ABNT, 1999).

As Equações 1 e 2 apresentadas acima também foram aplicadas no dimensionamento do diâmetro dos ramais de esgoto.

Para o dimensionamento dos ramais de esgoto, a vazão total provém da contribuição somada dos despejos sanitários de diferentes aparelhos sanitários, que afluem para um mesmo trecho da rede. Para os ramais de esgoto, a vazão foi calculada utilizando-se a Equação 3.

$$Q_e = \sum_{i=1}^n (m_i q_i) \quad (3)$$

Sendo:

Q_e : vazão no ramal de esgoto (l/s);

n : número de tipos de aparelhos sanitários no trecho considerado;

m_i : número de aparelhos sanitários de um mesmo tipo i considerados em uso simultâneo;

q_i : vazão unitária do aparelho sanitário de tipo i (l/s).

Considerando que em cada uma das unidades habitacionais não há repetição de aparelhos sanitários, sendo que em todas elas só há 1 unidade, o valor do parâmetro m foi definido como 1. Logo, não houve dois ou mais aparelhos sanitários do mesmo tipo em uso simultâneo. A Tabela 6 indica, para cada um dos ambientes sanitários estudados, os trechos do SPES identificados como ramais de esgoto, mediante a contribuição conjunta de dois ou mais aparelhos sanitários distintos.

Tabela 6: Definição dos ramais de esgoto

Ambiente	Ramal de esgoto
Banheiro	Lavatório + Chuveiro
	Lavatório + Chuveiro + Bacia sanitária
Cozinha	Pia + Máquina de lavar louça
Área de serviço	Tanque + Máquina de lavar roupa

Fonte: Autoria própria (2024).

Na sequência de coleta e transporte dos resíduos sanitários, foi determinada a vazão afluente no tubo de queda de cada um dos ambientes sanitários, por meio da aplicação da Equação 4.

$$Q_{TQ} = \sum_{i=1}^n (m_i q_i) \quad (4)$$

Sendo:

Q_{TQ} : vazão de projeto no tubo de queda (l/s);

n : número de tipos de aparelhos sanitários no trecho considerado;

m_i : número de aparelhos sanitários de um mesmo tipo i considerados em uso simultâneo, para um dado fator de falha;

q_i : vazão unitária do aparelho sanitário de tipo i (l/s).

O tubo de queda, por definição, recebe os resíduos provenientes de mais de um pavimento. Logo, há repetição de um mesmo tipo i de aparelho sanitário que pode estar em uso simultâneo. A determinação do valor do parâmetro m_i , neste caso, deu-se mediante consulta às tabelas dispostas no Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999), derivadas dos estudos de Gonçalves (1978). Para utilização das referidas tabelas, foi necessária a determinação prévia das seguintes informações:

- q_i : tempo de duração média da descarga (s). Este valor remete ao tempo médio de cada uso do aparelho sanitário, entre o início e o término do consumo da água destinada ao transporte dos resíduos gerados durante o uso desses aparelhos;
- T_i : intervalo de tempo médio entre duas descargas (min). Este valor se relaciona ao período de tempo médio decorrido entre dois usos consecutivos de um mesmo aparelho sanitário;
- ξ : fator de falha (%). Segundo Graça (1985), o fator de falha é definido como a porcentagem do tempo em que pode haver uso simultâneo de mais do que o número m_i de aparelhos sanitários do mesmo tipo considerados. O Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999) destaca três valores distintos de fatores de falha: 1,0%, 2,5% e 5,0%. Visando a análise das condições extremas de falha previstas pela norma, foram adotados valores de fator de falha iguais a 1,0% e 5,0%.

A Tabela 7 apresenta os valores dos parâmetros t_i e T_i atribuídos aos aparelhos sanitários considerados na análise.

Tabela 7: Tempo de duração média de descarga e intervalo entre descargas sucessivas dos aparelhos sanitários.

Aparelho sanitário	Tempo de duração média da descarga (s)	Intervalo de tempo médio entre descargas sucessivas (min)
Bacia sanitária	10	20
Chuveiro	500	20
Lavatório	20	10
Máquina de lavar louças	100	15
Pia	100	5
Máquina de lavar roupas	100	10
Tanque	40	15

Dada a variabilidade dos fatores de falha, foram calculados dois valores de vazão de projeto no tubo de queda, considerando os cenários com fator de falha iguais a 1,0% e 5,0%. Mediante a determinação da vazão direcionada aos tubos de queda, foi realizado o dimensionamento do diâmetro nominal dessas tubulações, por meio da aplicação da Equação 5.

$$D_{TQ} = \frac{0,116 \cdot n^{3/8} \cdot Q_{TQ}^{3/8}}{t_o^{5/8}} \quad (5)$$

Sendo:

D_{TQ} : diâmetro interno do tubo de queda (m);

n : coeficiente de Manning ($s/m^{1/3}$);

Q_{TQ} : vazão de projeto no tubo de queda (l/s);

t_o : taxa de ocupação de água durante o escoamento no tubo de queda, em valor adimensional;

Para a totalidade das tubulações e conexões pertencentes ao sistema predial de esgoto sanitário, adotou-se o material PVC série leve. Logo, o coeficiente de Manning foi definido com o valor de 0,010.

Segundo o Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999), a taxa de ocupação é definida como a fração da seção transversal do tubo de queda preenchida pela coroa circular de água e dejetos que fluem pelo tubo de queda, considerando o regime de escoamento anular. De acordo com a referida norma, para que este regime de escoamento seja mantido, a taxa de ocupação não deve ser superior a 1/3. Logo, foi adotado o valor de 0,33 para o parâmetro t_o .

Após serem definidos os parâmetros dimensionais dos tubos de queda, considerando as variações dos fatores de falha, foram calculados os subcoletores prediais. A vazão no subcoletor predial foi calculada por meio da Equação 6.

$$Q_e = Q_{TQ} \quad (6)$$

Sendo:

Q_e : vazão de projeto no subcoletor predial (l/s);

Q_{TQ} : vazão de projeto no tubo de queda associado ao trecho do subcoletor predial (l/s).

O diâmetro do coletor predial foi determinado por meio da aplicação das Equações 1 e 2, apresentadas anteriormente, dadas as variações associadas ao uso de diferentes fatores de falha e taxas de ocupação da seção do tubo (escoamentos à ½ seção e ¾ de seção).

O coletor predial, disposto a jusante do último ponto de contribuição de despejos, teve sua vazão a partir da Equação 7.

$$Q_c = Q_{e(c-d)} \quad (7)$$

Sendo:

Q_c : vazão de projeto no coletor predial (l/s);

$Q_{e(c-d)}$: vazão de projeto no trecho C-D do subcoletor predial (l/s).

O diâmetro nominal do coletor predial foi determinado por meio da aplicação das Equações 1 e 2, dadas as variações associadas ao uso de diferentes fatores de falha e taxas de ocupação da seção do tubo (escoamentos à ½ seção e ¾ de seção).

2.3 Análises comparativas

Mediante a simulação proposta, foram elaborados tabelas e gráficos que apresentaram os diâmetros nominais definidos para os ramais de descarga, ramais de esgoto, tubos de queda, subcoletores prediais e coletores prediais, baseados na aplicação dos métodos de dimensionamento hidráulico e UHC. As análises efetuadas basearam-se na avaliação das causas inerentes à obtenção de valores distintos de dimensionamento, para um mesmo trecho, considerando as variações e particularidades de cada um dos métodos.

Foram ainda detalhados cenários em que os resultados obtidos pela utilização dos métodos propostos precisaram ser ajustados manualmente, visto que os valores oriundos do dimensionamento esbarraram em restrições associadas à realidade do mercado de fabricação e comercialização de aparelhos e acessórios sanitários. Nesses casos, os resultados obtidos, ainda que inconsistentes com a prática, foram mantidos e apresentados para fomento das análises e discussões.

3 Resultados e Discussões

3.1 Dimensionamento dos ramais de descarga e ramais de esgoto

Para a edificação estudada, os ramais de descarga não tiveram seu dimensionamento influenciado por parâmetros de número de pavimentos da edificação ou simultaneidade de uso de aparelhos sanitários, visto que esse trecho do sistema predial de esgoto sanitário coleta e transporta os despejos provenientes de uma única peça de consumo. Deste modo, pelo dimensionamento por meio do método hidráulico, percebeu-se a irrelevância do fator de falha na determinação dos diâmetros nominais, sendo a taxa de ocupação da seção do tubo um parâmetro importante nas variações dimensionais. A Tabela 8 expõe os resultados do dimensionamento dos ramais de descarga para os três ambientes sanitários estudados, determinados a partir dos métodos hidráulico e UHC.

Tabela 8: Dimensionamento dos ramais de descarga dos ambientes sanitários.

Ambiente	Ramal de descarga	Vazão (l/s)	Declividade e (%)	Diâmetro definido por UHC (mm)	Diâmetro adotado pelo método hidráulico a ½ seção (mm)	Diâmetro adotado pelo método hidráulico a ¾ seção (mm)
Banheiro	Bacia sanitária com caixa acoplada	0,96	1,0	100	75	75
	Lavatório	0,15	2,0	40	40	40
	Chuveiro	0,20	2,0	40	40	40
Cozinha	Pia	0,25	2,0	50	40	40
	Máquina de lavar louças	0,30	2,0	50	40	40
Área de serviço	Tanque	0,25	2,0	40	40	40
	Máquina de lavar roupas	0,30	2,0	40	40	40

Comparando os resultados advindos do método hidráulico, percebeu-se a invariabilidade nos diâmetros definidos a ½ seção e ¾ de seção, sendo este cenário aplicável a todos os ramais de descarga. Esse comportamento justificou-se pelas baixas vazões unitárias dos aparelhos sanitários e, por conseguinte, dos reduzidos volumes coletados pelos ramais de descarga, de modo que as reduzidas contribuições de despejos se tornaram variáveis mais preponderantes do que as taxas de ocupação da seção transversal do tubo. O escoamento nos sistemas prediais de esgoto sanitário deve ocorrer em regime livre NBR 8160 (ABNT, 1999). É importante destacar que a adoção do parâmetro de ½ seção garante que ocorra esse formato de escoamento, sendo que o mesmo não pode ser afirmado para ¾ de seção (Baroni, 2018).

No banheiro, foram obtidos diâmetros distintos definidos para o ramal de descarga da bacia sanitária mediante o uso dos dois métodos de dimensionamento. Embora o método hidráulico viabilize tecnicamente, a redução do diâmetro nominal do ramal de 100 mm para 75 mm, na indústria da construção brasileira a solução pelo menor diâmetro ainda não encontra viabilidade construtiva. De acordo com a NBR 16727-1 (ABNT, 2019), que versa sobre os requisitos para as bacias sanitárias voltadas à instalação em sistemas prediais, as bacias sanitárias dotadas de saídas vertical e horizontal devem ser dotadas de saída que permita o encaixe de um tubo de esgoto de 100 mm. Logo, a utilização de ramais de descarga para bacias sanitárias com diâmetro nominal de 75 mm exigiria revisão dos ensaios aplicados para aceitação das bacias sanitárias fabricadas no Brasil, de modo a atestar que a adoção do referido diâmetro nominal não resultaria em prejuízos de desempenho para a descarga dos resíduos, sobretudo sólidos, desses aparelhos.

Destaca-se que a redução do diâmetro do ramal de descarga da bacia sanitária de 100 mm para 75 mm pode proporcionar um aumento do desempenho do sistema. Essa melhoria se dá pelo fato de que o transporte é impulsionado pela energia cinética da onda de fluido gerada durante a descarga da bacia sanitária, o que possibilita o arraste dos sólidos (Swaffield, 2009; Baroni, 2018). Ao reduzir o diâmetro, mantendo a mesma vazão, ocorre o aumento na altura da lâmina d'água e na velocidade do fluxo, o que pode

favorecer um arraste mais eficiente dos sólidos ao longo da tubulação (McDougall e Wakelin, 2007; Demarco *et al.*, 2013; Valêncio, 2017).

Para o ambiente da cozinha foi verificado também a obtenção de diâmetros distintos por meio da aplicação dos dois métodos de dimensionamento. É importante salientar que o dimensionamento pelo método hidráulico permitiu que os ramais de descarga da pia e da máquina de lavar louças fossem projetados com diâmetro nominal de 40 mm. Esse cenário não seria tecnicamente viável caso os ramais desses aparelhos sanitários se conectassem diretamente a uma caixa de gordura localizada dentro do apartamento, visto que essa é uma solução técnica não permitida para edificação de pavimentos sobrepostos, conforme preconizado pelo item 4.2.6.1 da NBR 8160 (ABNT, 1999). Para edificações em que os ramais de descarga se integram diretamente à caixa de gordura, esta adoção do diâmetro de 40 mm encontraria um cenário de restrita viabilidade construtiva, uma vez que as caixas de gordura pré-fabricadas são disponibilizadas com entradas cujo diâmetro mínimo é de 50 mm, o que exigiria o uso de conexões complementares para permitir o adequado encaixe dos ramais às posições de entrada da caixa de gordura.

Os ramais de esgoto, assim como os ramais de descarga, não têm seu dimensionamento balizado pelo número de pavimentos da edificação, uma vez que esses estão associados a uma única unidade habitacional, a montante do tubo de queda. Adicionalmente, para a edificação tomada como objeto de estudo, dada a caracterização da unidade habitacional marcada pela não repetição de aparelhos sanitários, os ramais de esgoto também são isentos de influência quanto ao uso simultâneo de n peças sanitárias do mesmo tipo.

A Tabela 9 ilustra os diâmetros adotados para os trechos de ramais de esgoto, definidos pelo uso dos métodos de dimensionamento avaliados.

Tabela 9: Dimensionamento dos ramais de esgoto do sistema predial de esgoto sanitário

Ambiente	Ramal de esgoto	Vazão (l/s)	Declividade e (%)	Diâmetro definido por UHC (mm)	Diâmetro adotado pelo método hidráulico a ½ seção (mm)	Diâmetro adotado pelo método hidráulico a ¾ seção (mm)
Banheiro	Lavatório + Chuveiro	0,35	2,0	50	50	50
	Lavatório + Chuveiro + Bacia sanitária com caixa acoplada	1,31	1,0	100	75	75
Cozinha	Pia + Máquina de lavar louças	0,55	2,0	50	50	50
Área de serviço	Tanque + Máquina de lavar roupas	0,55	2,0	50	50	50

Fonte: Autoria própria (2024).

Para os ramais de esgoto que associam o lavatório e o chuveiro, no banheiro, e o tanque e a máquina de lavar roupas, na área de serviço, é importante destacar as alterações

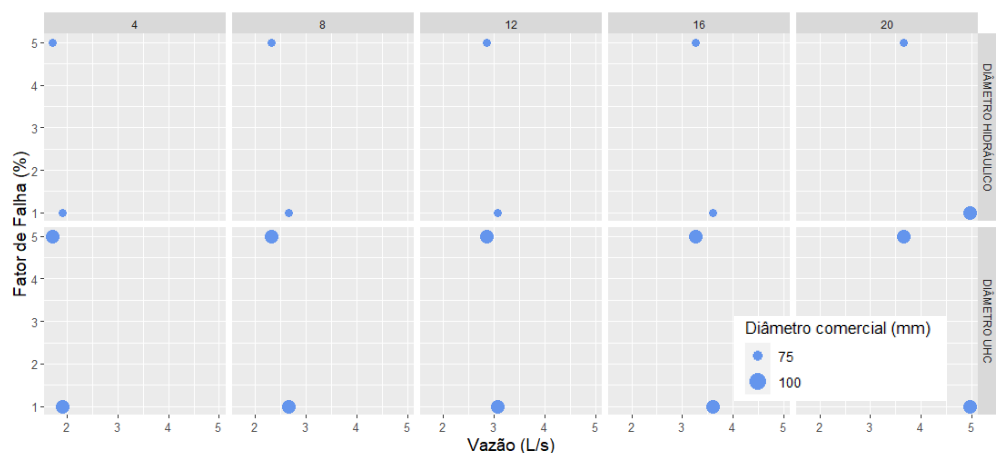
advindas da adaptação dos resultados. No ramal de esgoto do banheiro, os cálculos efetuados pelos métodos UHC e hidráulico permitiriam a adoção do diâmetro nominal de 40 mm. Todavia, cabe mencionar que esse ramal se origina de uma caixa sifonada, dispositivo que visa a proteção dos aparelhos sanitários contra o retorno de odores e gases no sentido contrário ao de escoamento dos dejetos (Carvalho Júnior, 2012; Fioramonte *et al.*, 2024). As caixas sifonadas disponibilizadas pelos fabricantes possuem saída dotada de diâmetro nominal não inferior a 50 mm, inviabilizando tecnicamente o uso de tubulação com diâmetro de 40 mm para a execução desse ramal. Deste modo, os resultados apresentados na Tabela 9, para o ramal de esgoto em discussão, foram adaptados para refletir a adequabilidade aos critérios construtivos vigentes. Já para aquele localizado na área de serviço foi constatada a mesma necessidade de adaptação, com a diferença de que o dimensionamento realizado pelo método UHC já definiu o diâmetro nominal mínimo de 50 mm, sendo necessário ajustar os valores obtidos para adequação ao encaixe na saída da caixa sifonada apenas no contexto do dimensionamento pelo método hidráulico.

No que se refere ao banheiro, cabe destacar novamente a viabilidade técnica de projetar o ramal de esgoto que associa os três aparelhos sanitários locais com diâmetro nominal de 75 mm. Essa solução, conforme já relatada, ainda não encontra respaldo comercial e nas normativas e padrões construtivos aplicados na fabricação de bacias sanitárias, o que exigiria adequação das normativas e de fornecedores para sua viabilização construtiva.

3.2 Dimensionamento dos tubos de queda

Diferentemente dos ramais de descarga e de esgoto, os tubos de queda têm seu dimensionamento diretamente influenciado pelo número de pavimentos da edificação e, por conseguinte, do número e/ou vazão total de aparelhos sanitários que neles contribuem. Dada as características dos ambientes sanitários estudados, onde não há repetição de um mesmo tipo de aparelho sanitário na unidade habitacional, é a partir do tubo de queda que ocorre influência direta da simultaneidade de uso de uma mesma peça sanitária, havendo, portanto, variações dimensionais geradas pelo fator de falha adotado. Os diâmetros nominais definidos para o tubo de queda associado ao banheiro (TQ-01), obtidos pela aplicação dos dois métodos de dimensionamento avaliados são apresentados na Figura 3.

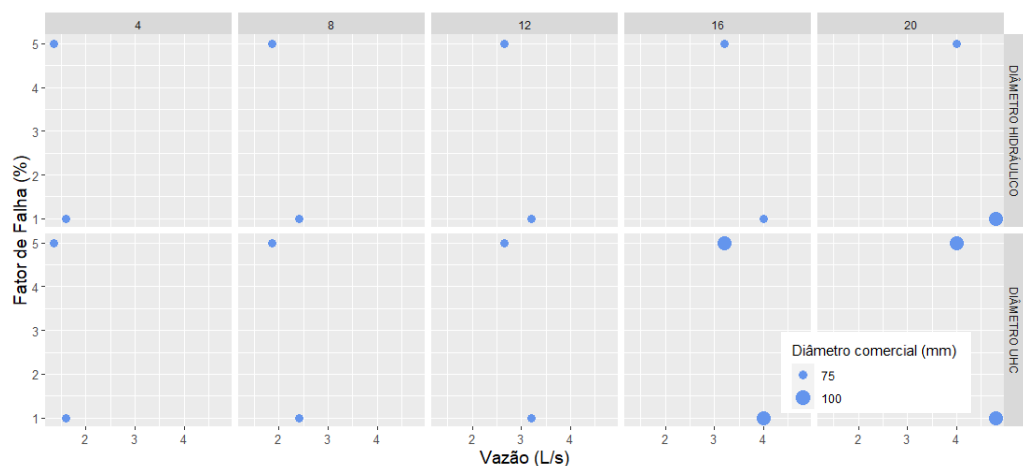
Figura 3: Dimensionamento do tubo de queda do banheiro (TQ-01).



No dimensionamento pelo método hidráulico, que tem o fator de falha como uma de suas variáveis, verificou-se a invariabilidade no diâmetro nominal do tubo de queda até a edificação com 16 pavimentos-tipo, cenários em que o diâmetro nominal de 75 mm manteve o diâmetro do ramal de esgoto que nele se conecta, em cada um dos pavimentos sobrepostos. A partir da tipologia com 20 pavimentos-tipo, o maior valor de vazão total afluyente no tubo de queda dimensionado para o fator de falha de 1,0%, em comparação ao mesmo tubo de queda calculado mediante adoção de fator de falha igual a 5,0%, resultou na determinação de diâmetro nominal de 100 mm. Esse fato decorreu da relação inversamente proporcional entre o fator de falha e a vazão total direcionada ao tubo de queda. Conceitualmente, quanto menor o fator de falha adotado, maior é o número de aparelhos sanitários considerados em uso simultâneo, resultando em maior volume de despejos no interior da tubulação e, conseqüentemente, demandando diâmetros nominais progressivamente maiores para manter o escoamento com taxa de ocupação máxima da tubulação igual a 33%.

Acerca do dimensionamento pelo método UHC, o diâmetro nominal do tubo de queda não apresentou variação, independentemente do número de pavimentos da edificação. Considerando que o ramal de esgoto conectado ao tubo de queda do banheiro, em cada pavimento, foi calculado com diâmetro nominal de 100 mm pelo método UHC e dada a inviabilidade técnica de adotar, para o tubo de queda, diâmetro inferior em comparação ao trecho a montante, o diâmetro nominal de 100 mm foi obtido para toda a extensão do tubo de queda. Considerando o somatório dos valores de UHC para o banheiro iguais a 36 (para a edificação de 4 pavimentos) e 180 (para a edificação de 20 pavimentos), o tubo de queda dimensionado com diâmetro nominal de 100 mm atende tecnicamente às contribuições, visto que, conforme a Tabela 3, este diâmetro é adequado para um limite total de contribuição igual a 500 UHC. Os tubos de queda da cozinha (TQ-02) também foram obtidos pela aplicação dos dois métodos de dimensionamento (Figura 4).

Figura 4: Dimensionamento do tubo de queda da cozinha (TQ-02).



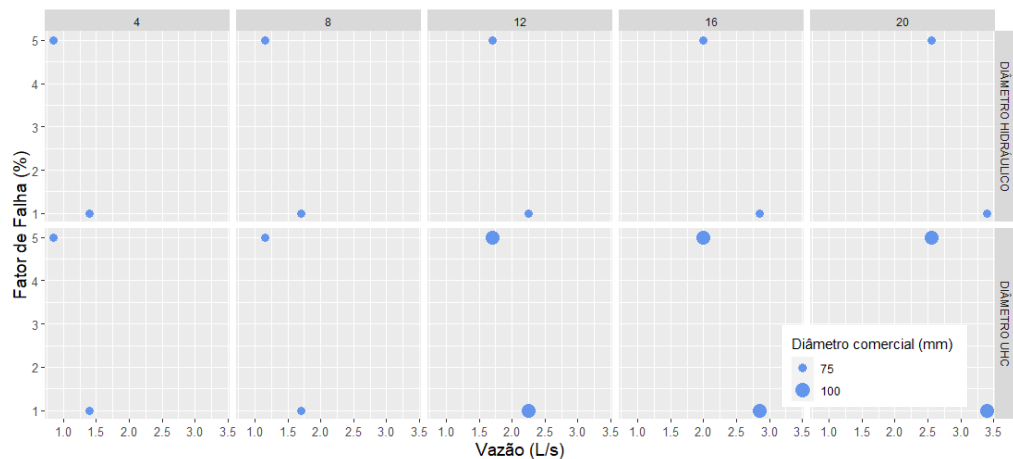
Mediante o dimensionamento pelo método hidráulico, verificou-se comportamento similar do tubo de queda da cozinha se comparado ao tubo de queda do banheiro, asseguradas as mesmas condições de fator de falha e número de pavimentos tipo. O diâmetro nominal calculado igual a 75 mm se repetiu em todos os cenários, exceção feita à situação da edificação com 20 pavimentos-tipo e com fator de falha adotado igual a 1,0%, em que houve o aumento do diâmetro nominal para 100 mm. Similarmente ao comportamento percebido no banheiro, a mudança de diâmetro nominal decorreu do

alcance da vazão máxima no tubo de queda da cozinha, obtida para a tipologia de edificação mais alta (maior número possível de aparelhos sanitários) e com o menor valor de fator de falha (maior número possível de peças sanitárias em provável uso simultâneo). Essa combinação de critérios resultou em uma vazão superior à máxima suportada pela tubulação de 75 mm, com a premissa de manutenção da sua taxa de ocupação em 33%.

Já no dimensionamento pelo método UHC, o diâmetro nominal do tubo de queda apresentou variação a partir de 16 pavimentos-tipo, saindo de um valor igual a 75 mm para 100 mm até a tipologia de edificação com maior número de pavimentos. Dado o limite de UHC igual a 70 para a adoção do tubo de queda com diâmetro nominal de 75 mm, e considerando que na cozinha o somatório de UHC dos aparelhos sanitários totaliza o valor de 5, a partir da edificação com 16 pavimentos há um total de UHC igual a 80, exigindo a alteração dimensional do diâmetro do tubo de queda para 100 mm.

A última análise de tubo de queda foi para o ambiente da área de serviço. Os diâmetros nominais do tubo de queda (TQ-03) determinados pela aplicação de ambos os métodos de dimensionamento são apresentados na Figura 5.

Figura 5: Dimensionamento do tubo de queda da área de serviço (TQ-03).



Na aplicação do método hidráulico constatou-se a manutenção de um mesmo diâmetro nominal, igual a 75 mm, para todas as combinações possíveis de número de pavimentos e fator de falha. Comparativamente, a área de serviço possui aparelhos sanitários cuja vazão total (somatório das vazões unitárias) é igual àquela calculada na cozinha. Entretanto, o menor tempo de duração da descarga do tanque, em relação à pia, gera por meio da distribuição binomial de probabilidades um menor número de tanques potencialmente em uso concomitante do que de pias em uso simultâneo, para um cenário de mesmo número total de cada um dos aparelhos sanitários. Como consequência, a vazão calculada no tubo de queda da área de serviço foi menor do que a vazão direcionada ao tubo de queda da cozinha. Isso justifica a conservação do diâmetro do tubo de queda na área de serviço, pelo método hidráulico, retratada na Figura 5.

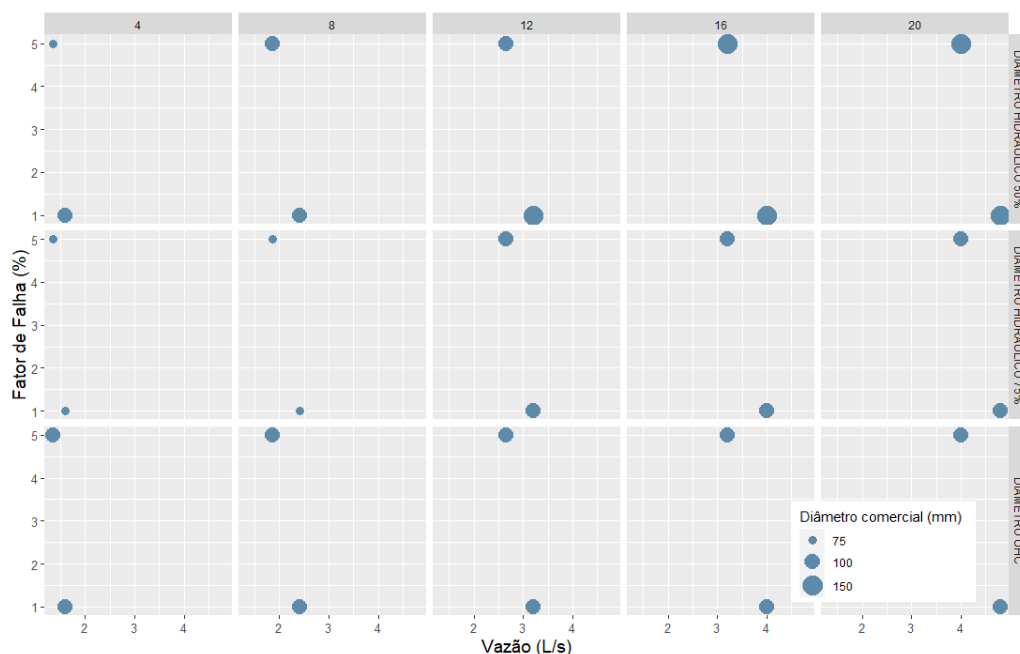
Pelo método UHC, a transição do diâmetro nominal do tubo de queda, de 75 mm para 100 mm, foi evidenciada a partir da edificação com 12 pavimentos-tipo. Nesse caso, o somatório dos valores de UHC para os aparelhos sanitários da área de serviço totalizou o valor de 6, de modo que atingindo o cenário de 12 pavimentos, o somatório dos valores de UHC, igual a 72, excedeu o limite de 70 UHC, conforme Tabela 3, para comportar os despejos adequadamente em uma tubulação com diâmetro nominal de 75 mm e taxa de

ocupação não superior a 33%. Desse fato provém a mudança no diâmetro do tubo de queda na área de serviço, já na tipologia de 12 pavimentos, o que para a cozinha ocorre apenas na modalidade de edificação imediatamente superior, de 16 pavimentos-tipo.

3.3 Dimensionamento dos subcoletores e coletores prediais

O dimensionamento dos subcoletores prediais pelo método hidráulico considerou dois cenários distintos para cada trecho, sendo essa distinção decorrente da simulação com percentuais de ocupação da seção transversal da tubulação, por despejos sanitários, iguais a $\frac{1}{2}$ de seção (50%) e $\frac{3}{4}$ de seção (75%). A Figura 6 apresenta os diâmetros nominais calculados para o trecho A-B do subcoletor predial, obtidos pela aplicação dos métodos de dimensionado por UHC e hidráulico. Esse trecho do subcoletor predial recebe a contribuição proveniente apenas da cozinha. Logo, a vazão direcionada a esse trecho inicial do subcoletor predial corresponde às vazões, variáveis em decorrência do fator de falha considerado, apenas do tubo de queda oriundo da cozinha (TQ-02).

Figura 6: Dimensionamento do trecho A-B do subcoletor predial.

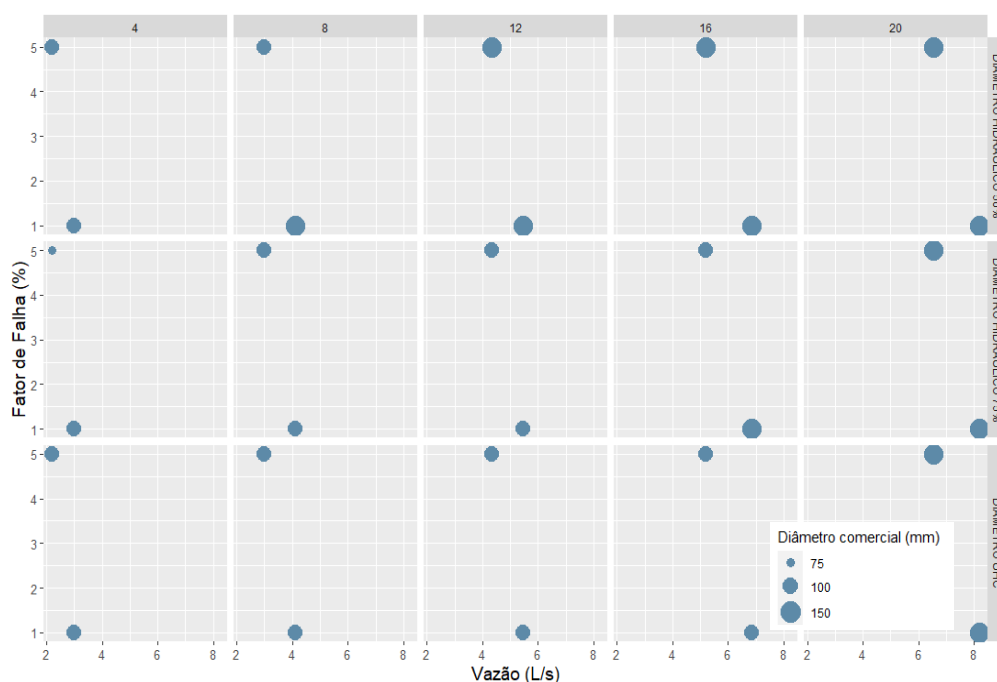


A análise do dimensionamento pelo método hidráulico demonstrou que, para uma edificação com número específico de pavimentos-tipo, as variações no diâmetro nominal do subcoletor predial decorreram dos valores distintos de vazão afluyente. Dada a consideração da maior (5,0%) ou menor (1,0%) porcentagem de tempo ao longo do qual pode haver o uso simultâneo de mais aparelhos sanitários do que o previsto, a variação das vazões pode resultar em valores que demandem alteração do diâmetro nominal do subcoletor para o diâmetro comercial imediatamente superior. Pelo exposto na Figura 6, esse foi o comportamento registrado no trecho dimensionado em regime de escoamento a $\frac{1}{2}$ seção, avaliando individualmente as edificações com 4 e 12 pavimentos-tipo. Mantendo a avaliação pertinente ao método hidráulico, progressivamente ao acréscimo do número de pavimentos e, conseqüentemente, de aparelhos sanitários simulados em uso concomitante, o aumento da vazão de esgoto justificou as transições de diâmetro nominal entre três diâmetros comerciais: 75 mm, 100 mm e 150 mm.

Por outro lado, o dimensionamento pelo método UHC evidenciou a invariabilidade do diâmetro nominal do trecho A-B do subcoletor para todas as situações simuladas. O acréscimo contínuo de pavimentos sobrepostos e de peças sanitárias, incrementando o somatório do valor total de UHC concorrente para o trecho, que foi de 20 UHC para a edificação de 4 pavimentos e de 100 UHC para a tipologia de 20 pavimentos, foi absorvido pelo diâmetro nominal de 100 mm, que possui limite de atendimento de 180 UHC para a declividade predefinida da tubulação, igual a 1,0%.

Na Figura 7 são mostrados os resultados obtidos para o dimensionamento do trecho B-C do subcoletor predial, decorrentes do uso dos dois métodos avaliados. Esse trecho do sistema predial de esgoto sanitário comporta os despejos oriundos dos tubos de queda da cozinha (TQ-02) e da área de serviço (TQ-03), contemplando, portanto, a contribuição combinada de dois ambientes sanitários.

Figura 7: Dimensionamento do trecho B-C do subcoletor predial.

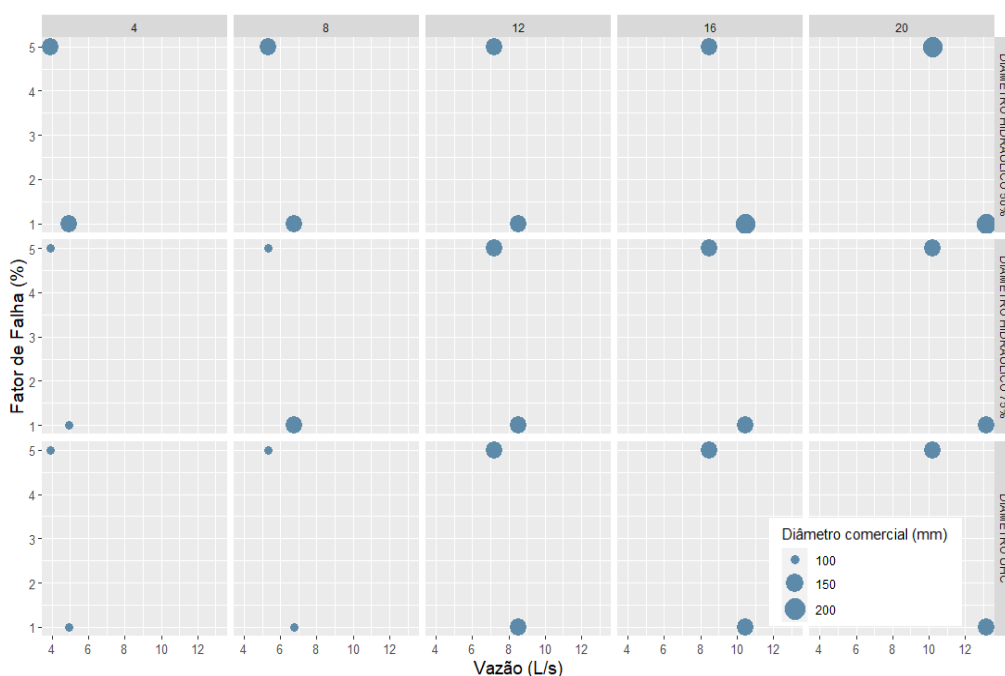


A consideração do dimensionamento por meio do método hidráulico mostrou comportamento já percebido na análise do trecho A-B, em que para um dado número de pavimentos-tipo, as alterações no diâmetro nominal do subcoletor predial foram causadas pelas vazões distintas consequentes dos diferentes fatores de falha trabalhados. Para o trecho B-C, esse desempenho com variação do diâmetro nominal do subcoletor analisado para uma edificação específica foi percebido, por exemplo, no cenário de 8 pavimentos com o subcoletor dimensionado com escoamento à $\frac{1}{2}$ seção e no contexto de 4 pavimentos-tipo com subcoletor projetado com escoamento a $\frac{3}{4}$ de seção. Ademais, analisando cenários comparativos entre edificações com números distintos de pavimentos, o contínuo aumento de peças sanitárias geradoras de efluentes, acompanhada de um crescimento quantitativo de aparelhos usados simultaneamente, resultou na obtenção de dois diâmetros comerciais (100 mm e 150 mm) para o subcoletor predefinido com taxa de ocupação de 50%, e três diâmetros comerciais distintos (75 mm, 100 mm e 150 mm) para o subcoletor com taxa de ocupação prevista de 75%.

Para o dimensionamento pelo método UHC, percebeu-se a mudança do diâmetro nominal do subcoletor apenas na edificação com 20 pavimentos, cenário em que há a transição do diâmetro nominal de 100 mm para o de 150 mm. Com o atingimento de um somatório total de UHC igual a 220 para o trecho B-C, o diâmetro nominal de 100 mm, que possui limite máximo de 180 UHC, não comporta a nova condição, sendo necessária a adoção do diâmetro comercial imediatamente superior, igual a 150 mm. Este diâmetro, mantida a inclinação projetada para o trecho de 1,0%, permite receber contribuições sanitárias que totalizem até 700 UHC, conforme demonstrado na Tabela 4.

O trecho C-D do subcoletor predial, caracterizado como último trecho que antecede a caixa coletora, recebe os despejos provenientes dos três tubos de queda (TQ-01, TQ-02 e TQ-03). Logo, corresponde ao primeiro trecho do sistema predial de esgoto sanitário que totaliza as contribuições de todos os aparelhos sanitários da edificação. A Figura 8 evidencia o dimensionamento do diâmetro nominal desse trecho, obtido pela adoção dos métodos hidráulico e UHC.

Figura 8: Dimensionamento do trecho C-D do subcoletor predial.



Pelo método hidráulico novamente foi notado que, nas simulações com diferentes fatores de falha, houve variações incidentes nos valores de vazão total, para uma tipologia definida de edificação. Enquanto no dimensionamento projetado para escoamento à ½ seção foram identificados dois diâmetros, 150 mm e 200 mm, ao longo das diferentes alturas simuladas, para o escoamento considerado a ¾ seção o diâmetro máximo alcançado foi de 150 mm, sendo possível comportar os despejos em tubulações de 100 mm para ambos os fatores de falha considerados na edificação de 4 pavimentos-tipo e para a edificação de 8 pavimentos-tipo considerada com o fator de falha de 5,0%, que é mais favorável à redução do diâmetro nominal das tubulações.

Pela aplicação do método UHC, notou-se a alteração do diâmetro nominal do trecho C-D do subcoletor predial para a edificação com 12 pavimentos-tipo, cenário em que a totalização dos valores de UHC direcionados ao trecho resulta em 240, excedendo o limite

tolerável para o diâmetro de 100 mm. Foi percebido ainda que no cenário mais favorável à adoção de um maior diâmetro nominal, caracterizado pela edificação de 20 pavimentos-tipo com a inclusão de todos os aparelhos sanitários, o valor somado da contribuição de todas as peças resultou em 400 UHC, valor que não requereu uso do diâmetro nominal de 200 mm; esse, por sua vez, faz-se necessário, pelo método UHC, somente para contribuições superiores a 700 UHC.

Para os coletores prediais, os resultados de dimensionamento obtidos foram os mesmos apresentados na Figura 8 e associados ao trecho terminal do subcoletor predial, definido como trecho C-D que é o último ponto de acréscimo ou inserção de contribuições sanitárias. Isso se deve ao fato de que o coletor predial recebe a mesma vazão que percorre o trecho C-D do coletor predial. Sendo a Tabela 4, referente ao método UHC, bem como as Equações 1 e 2, do método hidráulico, utilizadas na determinação dos diâmetros de subcoletores e coletores prediais, assim as análises e discussões apresentadas para o trecho C-D do subcoletor predial, são igualmente aplicáveis ao coletor predial.

Conclusões

A norma NBR 8160 (ABNT, 1999) estabelece as diretrizes para os projetistas de sistemas prediais de esgoto sanitário (SPES). Em relação ao dimensionamento desses sistemas, essa norma oferece duas abordagens: apresenta o método das Unidades Hunter de Contribuição (UHC), e no Anexo B o método hidráulico. A escolha entre esses métodos fica a critério do projetista durante a elaboração do projeto. O projetista também deve se atentar a definir os parâmetros, considerando a condição mais próxima da realidade atual e não da realidade à época da divulgação da norma.

Diante da possibilidade de utilização dos dois métodos, neste estudo, foi conduzida uma análise comparativa em relação aos resultados obtidos com ambos, considerando um edifício vertical, variando sua altura para contemplar cenários com 4, 8, 12, 16 e 20 pavimentos-tipo. As análises obtidas foram em relação ao ramal de descarga, ramal de esgoto, tubos de queda, subcoletores e coletor predial.

Para os ramais de descarga, a utilização do método hidráulico proporcionou a obtenção de diâmetros menores que aqueles obtidos com o método UHC para a bacia sanitária, pia, máquina de lavar louças e máquina de lavar roupas. Para os outros equipamentos sanitários, o diâmetro foi o mesmo independentemente do método adotado. Destaca-se que se mostrou viável tecnicamente a adoção do diâmetro de 75 mm para a bacia sanitária, contudo a não comercialização de bacias sanitárias com esse tamanho de bocal inviabiliza construtivamente o emprego do ramal de descarga da bacia sanitária de 75 mm. Sendo assim, é necessário que os fabricantes de equipamentos sanitários disponibilizem esses equipamentos, sendo apoiados em pesquisas técnicas e científicas e realização de testes laboratoriais necessários.

Para os ramais de esgoto, também ocorreu a condição de não disponibilidade comercial de caixas sifonadas para o resultado obtido. Para os dois métodos, UHC e hidráulico, foi dimensionado o diâmetro de 40 mm para o ramal de esgoto do banheiro, contudo não foi possível adotar tal diâmetro pois não é encontrado no mercado caixa sifonada com saída de 40 mm, necessitando que a adoção do diâmetro do ramal de esgoto do banheiro seja de 50 mm, visto que essa é a dimensão encontrada no mercado. Já para o ramal de esgoto da área de serviço foi constatada a mesma necessidade de adaptação, com a diferença

que o dimensionamento realizado pelo método UHC já definiu o diâmetro nominal mínimo de 50 mm, sendo necessário ajustar os valores obtidos a partir do dimensionamento pelo método hidráulico e adequar o encaixe na saída da caixa sifonada.

Quanto aos tubos de queda, o aumento do número de pavimentos exerce um efeito significativo em seu dimensionamento, especialmente em edifícios com 20 pavimentos, onde há maior incidência de transição para diâmetros maiores devido ao aumento da vazão total. Mesmo com o aumento da vazão nos edifícios com mais pavimentos simulados, notou-se uma tendência a se obter diâmetros menores ao utilizar o método hidráulico em relação ao método UHC, dependendo do ambiente sanitário considerado.

Para o banheiro, o diâmetro nominal permaneceu constante até o edifício com 16 pavimentos, mantendo-se em 75 mm, mas aumentou para 100 mm em edifícios com 20 pavimentos. No método UHC, o diâmetro do tubo de queda foi fixo em 100 mm em todos os cenários.

Na cozinha, o comportamento do tubo de queda foi similar ao do banheiro, mantendo-se em 75 mm em todos os cenários, exceto em edifícios com 20 pavimentos e fator de falha de 1,0%, onde aumentou para 100 mm. Já pelo método UHC, o diâmetro do tubo de queda variou a partir de 16 pavimentos, passando de 75 mm para 100 mm, devido ao aumento de valores de UHC. Na área de serviço, o diâmetro do tubo de queda pelo método hidráulico foi de 75 mm em todos os cenários avaliados enquanto, pelo método UHC, variou de 75 mm, até 12 pavimentos, para 100 mm nos cenários seguintes.

A partir das análises dos subcoletores observou-se que, pelo método UHC, o diâmetro nominal do trecho A-B, que recebe a vazão apenas da cozinha, foi o mesmo, 100 mm para todas as situações simuladas, enquanto pelo método hidráulico, variou de 75 mm, 100 mm e 150 mm, à medida que o número de pavimentos aumentava. Para o trecho B-C, que recebe a contribuição dos tubos de queda da cozinha e da área de serviço, pelo método hidráulico, foi observado o mesmo comportamento do trecho A-B, enquanto, pelo método UHC, a mudança do diâmetro ocorreu apenas no cenário com 20 pavimentos, passando de 100 mm para 150 mm.

O trecho C-D do subcoletor predial recebe a contribuição dos tubos de queda da cozinha, da área de serviço e do banheiro. Pelo método hidráulico, foram identificados diâmetros variáveis entre 150 mm e 200 mm para escoamento à $\frac{1}{2}$ seção e 150 mm para escoamento a $\frac{3}{4}$ de seção, dependendo dos fatores de falha considerados e do número de pavimentos. Pela aplicação do método UHC, a mudança do diâmetro nominal do trecho C-D ocorreu na edificação com 12 pavimentos-tipo, passando de 100 mm para 150 mm.

Para os coletores prediais, os resultados de dimensionamento foram os mesmos apresentados para o trecho C-D do subcoletor predial, com variações de diâmetro nominal dependendo dos fatores de falha e do número de pavimentos considerados.

Conclui-se que o número de pavimentos do edifício influencia diretamente nos diâmetros a serem adotados para os SPES. A adoção do método hidráulico permite uma análise mais sensível, levando em consideração as características do edifício e dos usuários, o que é mais limitado no método UHC, resultando, em diâmetros maiores e, conseqüentemente, em um superdimensionamento do SPES.

Portanto, a escolha do método de dimensionamento deve ser cuidadosamente ponderada, levando em conta as necessidades específicas de cada projeto.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16727-1**: Bacia sanitária – Parte 1: Requisitos e método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019. 62 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020. 56 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999. 74 p.
- BARONI, B.T. **Redução dos diâmetros de ramais e coletores nos sistemas prediais de esgotos sanitários**. 2018. 130 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. Blucher. São Paulo. 10 ed. 2016.
- CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. LTC. Rio de Janeiro. 6 ed. 2006.
- DEMARCO, P.; KOELLER, J.; MARTIN, S.; SWATKOWSKI, L.; WHITE, C.; BURGESS, M. The drainline transport of solid waste in buildings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062 ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 39th, 2013, Nagano, Japão. **Water Supply and Drainage for Buildings**. Nagano: The International Council for Research and Innovation, Commission CIB W062, Pp. 93-104.
- FERNANDES, V.M.C.; GONÇALVES, O.M. **Condições-limite para utilização do sistema de tubo de queda único nos sistemas prediais de coleta de esgoto sanitário residencial**. In: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 6, 2006, Porto Alegre. Anais Antac 2006. Porto Alegre, 2006. p. 07-18.
- FIORAMONTE, B.; NETO, D. F. S.; REIS, R. P. A. Determinação dos subsistemas de ventilação dos sistemas prediais de esgoto sanitário em edifícios multipavimentos. **Paranoá**, v.17, e54360, 2024. DOI: <https://doi.org/10.18830/1679-09442024v17e54360>.
- FORESTI, E. BLUNDI, C.E. **Instalações prediais de esgotos sanitários**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: USP, 1980.
- GONÇALVES, O. M. **Influência do uso simultâneo de aparelhos sanitários no dimensionamento de instalações prediais de água fria**. 1978. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.
- GONÇALVES, R. C. M.; PAULA, H. M. O impacto do transporte no ciclo de vida de tubos de PVC e PEX em um país de dimensões continentais. **Paranoá**, v. 34, Edição Temática Água e Mudanças Climáticas, 2023. DOI: <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.10>.
- GRAÇA, M.E.A. **Formulação de modelo para avaliação das condições determinantes da necessidade de ventilação secundária em sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários**. 1985. 384 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

Fioramonte, B.; Neto, D. F. S.; Reis, R. P. A.

Impacto do método de dimensionamento e parâmetros de projeto em sistemas prediais de esgoto sanitário: uma avaliação comparativa

MCDougall, J. A.; Wakelin, R. H. M. The influence of flush volume and branch drain cross-section on deformable solid transport in attenuating flows. **Building Services Engineering Research and Technology**, 28(1):7-22, 2007. DOI:10.1177/0143624406070586.

SWAFFIELD, J. A. Dry drains: myth, reality, or impediment to water conservation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062 ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 39th, 2009, Dusseldorf, Alemanha. **Water Supply and Drainage for Buildings**. Dusseldorf: The International Council for Research and Innovation, Commission CIB W062, Pp. 301-313.

VALÊNCIO, I. P. **Desempenho do sistema predial de água e esgoto sanitário com uso de bacias sanitárias de volume de descarga de 4,8 litros**. Dissertação. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2017.

WISE, A. F. E.; SWAFFIELD, J. A. **Water, Sanitary and Waste Services for Buildings**. 5° Ed. Butterworth Heinemann – Elsevier Science. Woburn, MA. ISBN: 0 7506 5255 1. 2002. 269p.