

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA,
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**IMPACTO DAS VARIÁVEIS DE PROJETO NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO
ESCOAMENTO DE ESGOTO EM TUBULAÇÕES
PREDIAIS**

CLÁUDIO LUSTOSA BUCAR FILHO

D0216C19
GOIÂNIA
2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

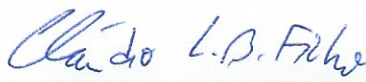
Nome completo do autor: Cláudio Lustosa Bucar Filho

Título do trabalho: Impacto das variáveis de projeto nas características físicas do escoamento de esgoto em tubulações prediais

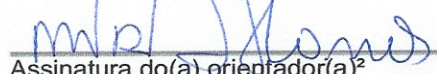
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ **SIM** ☐ **NÃO**

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 19 / 08 / 2019

CLÁUDIO LUSTOSA BUCAR FILHO

IMPACTO DAS VARIÁVEIS DE PROJETO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO ESCOAMENTO DE ESGOTO EM TUBULAÇÕES PREDIAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos.

Co-orientador: Prof. Dr. Joel Roberto Guimarães Vasco.

D0216C19
GOIÂNIA
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

Bucar Filho, Cláudio Lustosa.

Impacto das variáveis de projeto nas características físicas do escoamento de esgoto em tubulações prediais [manuscrito] / Cláudio Lustosa Bucar Filho. - 2019.
108 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos;
Co-orientadora: Joel Roberto Guimarães Vasco

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil 2019.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

Apêndices.

1. Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário 2. Escoamento
3. Desempenho. Sub-Coletor I. Título.



Ata de Nº 0218 da sessão de julgamento da
Dissertação do aluno Cláudio Lustosa Bucar
Filho da área de concentração Construção Civil
do PPG em Geotecnia, Estruturas e Construção
Civil.

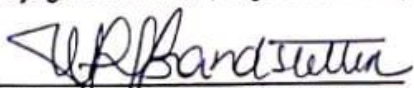
Aos 29 dias do mês de agosto de 2019, às 08h00, no Auditório Biolkino Pereira da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da UFG, reuniu-se a banca examinadora designada na forma regimental pela Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil para julgar a Dissertação intitulada "**Impacto das variáveis de projeto nas características físicas do escoamento de esgoto em tubulações prediais**", apresentada pelo aluno **Cláudio Lustosa Bucar Filho** como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de MESTRE, área de concentração Construção Civil. A Banca Examinadora foi Presidida pelo Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos (GECON/UFG), tendo como membros a Prof.^a Dr.^a Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter (GECON/UFG) e o Prof. Dr. Ricardo Prado Reis (EECA-UFG). Aberta a sessão pública, o candidato teve a oportunidade de expor o trabalho. Após a exposição, o aluno foi arguido oralmente pelos membros da Banca, os quais concluíram pelos seguintes resultados:

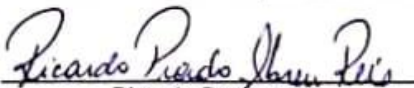
Membro	Instituição	Função	Resultado
Marcus André Siqueira Campos	GECON/UFG	Presidente	<u>APROVADO</u>
Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter	GECON/UFG	Examinadora Interna	<u>APROVADO</u>
Ricardo Prado Reis	EECA-UFG	Examinador Externo	<u>APROVADO</u>

(X) Tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca Examinadora concluiu pela **aprovação** do candidato **sem restrições**.

() Não tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, a Banca Examinadora concluiu pela **reprovação** do candidato, conforme as seguintes justificativas:

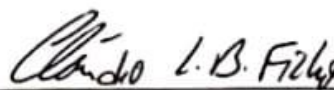
Nos termos do Regulamento Geral dos Cursos de Pós-Graduação desta Universidade, foi lavrada a presente ata que, lida e julgada conforme, segue assinada pelos membros da **Banca Examinadora** e pelo **candidato**.


Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter
PPG-GECON/UFG


Ricardo Prado Reis
EECA-UFG


Marcus André Siqueira Campos
PPG-GECON/UFG

Candidato (a): Cláudio Lustosa Bucar Filho



A minha esposa e mãe pelo amor incondicional de sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao meu orientador por ter aceito o desafio do tema, mesmo com todos os empecilhos nunca desanimou.

Ao meu co-orientador por todo o suporte e orientações.

Aos meus Mestres, desde a faculdade ao mestrado, em especial a Prof. Maria Carolina, sempre instigando o melhor dos alunos.

Ao Gabriel e Valdison que estiveram comigo durante a realização de todos os ensaios.

Agradecimento a FAPEG pelo financiamento da bolsa de estudos.

RESUMO

O estudo do comportamento do fluido na rede de esgoto dos Sistemas Prediais é altamente complexo e de difícil predição. Isto se deve as características do problema, sendo elas o escoamento em superfície livre, a grande aleatoriedade nas vazões do sistema e das características de não homogeneidade do líquido que contém fezes, papel, resto de alimentos, sabão e outros. Mesmo sendo um dos maiores responsáveis pela grande quantidade de assistência técnica do pós obra no Brasil, esse tema não é muito estudado. Portanto, este trabalho analisa a influência das variáveis de projeto no comportamento do escoamento dentro das redes de instalações prediais de esgoto sanitário. Para isso foram realizados ensaios experimentais em uma edificação residencial, sendo os parâmetros de análise: a altura na qual a descarga é realizada, a vazão/volume das descargas, os tipos de conexões utilizadas no desvio da prumada e as configurações do sub-coletor. Assim, com os resultados desta pesquisa, é possível auxiliar no entendimento de tomadas de decisões contribuindo para um melhor desempenho das edificações. Como resultado é possível observar que quanto maior a altura de descarga, menor a velocidade de transporte das mídias e menor a altura da lâmina d'água dentro da rede sendo assim maior a chance de retenção de sólidos dentro dela. Já em relação a vazão de descarga, quanto maiores os valores de vazão maiores as velocidades de transporte das mídias. As conexões instaladas na rede, tanto no desvio da prumada quanto no sub-coletor influenciam consideravelmente nas velocidades de transporte das mídias e devem ser escolhidas de forma a causarem o menor impacto possível. Conclui-se com esse estudo que é necessário um maior número de pesquisas que possam auxiliar a renovação da norma NBR 8160 com o suporte às mudanças em condições de dimensionamento e opções de instalação/execução.

Palavras-chave: Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário; escoamento; desempenho; sub-coletor.

ABSTRACT

The study of the fluid behavior in the sewage system of building systems is highly complex and difficult to predict. This is due to the characteristics of the problem, such as free surface runoff, high randomness in system flow rates and inhomogeneity characteristics of the liquid containing faeces, paper, food remnants, soap and others. Even though it is one of the major responsible for the large amount of post-work technical assistance in Brazil, this topic is not much studied. Therefore, this paper analyzes the influence of design variables on runoff behavior within sewage systems. For this purpose, experimental tests were performed in a residential building, and the analysis parameters were: the height at which the discharge is performed, the flow / volume of the discharges, the types of connections used in the plumb diversion and the sub-collector configurations. Thus, with the results of this research, it is possible to help in the understanding of decision making contributing to a better performance of buildings. As a result it can be observed that the higher the discharge height, the lower the transport speed of the media and the lower the height of the water slide within the network, thus the greater the chance of solids retention within it. In relation to the discharge flow, the higher the flow values the higher the transport speeds of the media. Connections installed on the network, both in the plumb diversion and the sub-manifold, have a considerable influence on media transport speeds and should be chosen to have the least possible impact. This study concludes that more research is needed to help renew the NBR 8160 standard with support for changes in sizing conditions and installation / execution options.

Keywords: Sanitary Sewage Building Systems; flow; performance; sub-collector

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ramal de Descarga (Objeto de estudo)	26
Figura 2.2 - Exemplo de simulação numérica utilizada nas pesquisas	27
Figura 2.3 - Resultado da variação da vazão e da altura em relação da mudança da inclinação.	28
Figura 2.4 - Esquema dos casos analisados em Cheng, Oliveria e Favero (2013) e Cheng <i>et al</i> (2014b).	29
Figura 2.5 - Geometria e Composição dos fluidos analisados.....	30
Figura 2.6 - Malha utilizada para simulação de estudo.	31
Figura 2.7 - Resultado simulação ponto A.	31
Figura 2.8 - Resultado simulação ponto B.	32
Figura 2.9 - Condição de contorno da simulação numérica.....	32
Figura 2.10 - Apresentação gráfica do fluxo.....	33
Figura 2.11 – Características físicas da tubulação utilizada na simulação.	33
Figura 2.12 - Seções utilizadas para controle.	34
Figura 2.13 - Disposição física das tubulações do ensaio presente em Galowin e Swaffield (2002). Fonte: Galowin e Swaffield (2002).	41
Figura 2.14 - Torre de teste e sub-coletores montados para os ensaios experimentais presentes em Shigefuji <i>et al</i> (1999). Fonte: Shigefuji <i>et al</i> (1999).	42
Figura 2.15 - Torre de teste (a) e esquemático de escoamento (b). Fonte: Cheng <i>et al</i> (2006)	44
Figura 2.16 - Esquemático do ensaio presente em Ihii e Otsuka (2007). Fonte: Ihii e Otsuka (2007).	45
Figura 2.17 - Torre e esquemático de testes presentes em Kobayashi e Otsuka (2012). Fonte: Kobayashi e Otsuka (2012).....	45
Figura 2.18 - Torre e esquemático de testes presentes em Kitamura, Otsuka e Hirai (2012). Fonte: Kitamura, Otsuka e Hirai (2012).....	46
Figura 3.1 - Delineamento da pesquisa.....	49

Figura 3.2 - Apartamento tipo final 08.	53
Figura 3.3 – Sub-coletor instalado de forma linear com as marcações dos pontos e trechos.	54
Figura 3.4 - Tubulação da bacia sanitária no qual as mídias eram instaladas.....	54
Figura 3.5 - Dispositivo de descarga.....	55
Figura 3.6 – Mídias utilizadas na pesquisa.	56
Figura 3.7 - Tubo de queda e sub-coletor de forma linear.....	56
Figura 3.8 - Configuração Linear (L) do sub-coletor com a utilização de joelho de 90°. J90-L.	59
Figura 3.9- Instalação de joelho de 90°. J90-L.	59
Figura 3.10- Configuração Linear (L) do sub-coletor com a utilização de dois joelhos de 45°. J45-L.	60
Figura 3.11- Instalação de dois joelhos de 45°. J45-L.....	60
Figura 3.12- Configuração Linear (L) do sub-coletor com a utilização de curva 87°30". C87-L.	60
Figura 3.13 - Instalação de curva 87°30". C87.	60
Figura 3.14 - Configuração do sub-coletor com utilização de duas curvas curtas de 90°. Utilização de curva 87°30" na mudança do tubo de queda para o sub-coletor. 2C90C.	61
Figura 3.15 – Instalação desvio horizontal com duas curvas curtas de 90°. 2C90C.....	61
Figura 3.16 - Configuração do sub-coletor com utilização de duas curvas longas de 90°. Utilização de curva 87°30" na mudança do tubo de queda para o sub-coletor.. 2C90L.....	61
Figura 3.17 - Instalação do desvio horizontal com duas curvas curtas de 90°. 2C90L.	61
Figura 3.18 - Configuração do sub-coletor com utilização de quatro joelhos de 45°. Utilização de curva 87°30" na mudança do tubo de queda para o sub-coletor. 4J45.....	62
Figura 3.19 - Instalação com dois desvios horizontais de 90° cada com dois joelhos de 45° cada. 4J45.....	62
Figura 3.20 - Configuração do sub-coletor com utilização de dois joelhos de 45°. Utilização de curva 87°30" na mudança do tubo de queda para o sub-coletor Utilização de curva 87°30". 2J45.....	62
Figura 3.21 – Instalação de dois desvios de 45° cada com a utilização de um joelho de 45° em cada desvio. 2J45.....	62

Figura 4.1 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 6º pavimento.....	66
Figura 4.2 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 9º pavimento.....	67
Figura 4.3 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 11º pavimento.....	68
Figura 4.4 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 17º pavimento.....	68
Figura 4.5 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 6º pavimento.....	69
Figura 4.6- Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 11º pavimento.....	70
Figura 4.7- Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 17º pavimento.....	71
Figura 4.8 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J45, linear e 6º pavimento.....	72
Figura 4.9 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J45, linear e 11º pavimento.....	72
Figura 4.10 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J45, linear e 17º pavimento.....	73
Figura 4.11 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q1.....	74
Figura 4.12 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q2.....	75
Figura 4.13 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q3.....	76
Figura 4.14 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q1.....	77
Figura 4.15 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q2.....	77
Figura 4.16 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q3.....	78

Figura 4.17 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q1.....	79
Figura 4.18 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q2.....	79
Figura 4.19 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q3.....	80
Figura 4.20 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q1.....	81
Figura 4.21 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q2.....	82
Figura 4.22 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q3.....	83
Figura 4.23 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão e Q, fixando: 6 pavimento e linear.....	83
Figura 4.24 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q1.....	84
Figura 4.25 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q2.....	85
Figura 4.26 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q3.....	86
Figura 4.27 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão e vazão, fixando: 11 pavimento, linear.....	86
Figura 4.28 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q1.....	87
Figura 4.29 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q2.....	88
Figura 4.30 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q3.....	89
Figura 4.31 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão e vazão, fixando: 17 pavimento, linear.....	89
Figura 4.32 – Gráfico da velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q1.....	91

Figura 4.33 - Gráfico da velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q2.....	92
Figura 4.34 - Gráfico da velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q3.....	92
Figura 4.35 -Trecho de parada do segundo ensaio da série J90L-11-Q1.....	95
Figura 4.36 - Trecho de parada das mídias do terceiro ensaio da série J90L-11-Q1	96
Figura 4.37 - Trecho de parada do primeiro ensaio da série J90L-17-Q1	96
Figura 4.38 - Trecho de parada do segundo ensaio da série J90L-17-Q1.....	97
Figura 4.39 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série J90L-17-Q1	97
Figura 4.40 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série C87L-6-Q1	98
Figura 4.41 - Trecho de parada do segundo ensaio da série C87L-11-Q1	98
Figura 4.42 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série C87L-11-Q1.....	99
Figura 4.43- Trecho de parada do primeiro ensaio da série C87L-17PAV-Q1	99
Figura 4.44- Trecho de parada do segundo ensaio da série J45L-11-Q1.....	100
Figura 4.45 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série J45L-11-Q1	101
Figura 4.46 - Trecho de parada do segundo ensaio da série 2C90C-17-Q1	101
Figura 4.47 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série 2C90C-17-Q1	102
Figura 4.48 - Trecho de parada do primeiro ensaio da série 2C90L-17-Q1.....	102
Figura 4.49 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série 2C90L-17-Q1.....	102
Figura 4.50 - Ensaio J90-L-6PAV-Q1-3 - 150 Frames.....	105
Figura 4.51 - Ensaio J90-L-6PAV-Q2-3 - 150 Frames.....	105
Figura 4.52 - Ensaio J90-L-6PAV-Q3-3 - 150 Frames.....	106
Figura 4.53 - Ensaio J90-L-6PAV-Q1-3. 120 Frames.....	106
Figura 4.54 - Ensaio J90-L-11PAV-Q1-3. 120 Frames.....	106
Figura 4.55 - Ensaio J90-L-17PAV-Q1-3. 120 Frames.....	107
Figura 5.1 - Ensaio J90-L-6PAV-Q1-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)	115

Figura 5.2 - Ensaio J90-L-6PAV-Q2-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames) 119

Figura 5.3 - Ensaio J90-L-6PAV-Q3-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames) 123

Figura 5.4 - Ensaio J90-L-11PAV-Q1-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames) 127

Figura 5.5 - Ensaio J90-L-11PAV-Q2-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames) 130

Figura 5.6 - Ensaio J90-L-11PAV-Q3-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames) 135

Figura 5.7 - Ensaio J90-L-17PAV-Q1-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames) 139

Figura 5.8 - Ensaio J90-L-17PAV-Q2-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames) 143

Figura 5.9 - Ensaio J90-L-17PAV-Q3-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames) 146

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Vazão média disponibilizada pelo dispositivo de descarga.	56
Tabela 4.1 – Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 6º pavimento (em m/s).	65
Tabela 4.2 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 9º pavimento (em m/s).	66
Tabela 4.3 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 11º pavimento (em m/s).	67
Tabela 4.4 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 17º pavimento (em m/s).	68
Tabela 4.5 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 6º pavimento (em m/s).	69
Tabela 4.6- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 11º pavimento (em m/s).	70
Tabela 4.7- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 17º pavimento (em m/s).	70
Tabela 4.8- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J45, linear e 6º pavimento (em m/s).	71
Tabela 4.9- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 11º pavimento (em m/s).	72
Tabela 4.10- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 17º pavimento (em m/s).	73
Tabela 4.11 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q1 (em m/s).	74
Tabela 4.12 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q2 (em m/s).	75
Tabela 4.13 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q3 (em m/s).	75
Tabela 4.14 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q1 (em m/s).	76

Tabela 4.15 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q2 (em m/s).	77
Tabela 4.16 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q3 (em m/s).	78
Tabela 4.17 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q1 (em m/s).	78
Tabela 4.18 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q2 (em m/s).	79
Tabela 4.19 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q3 (em m/s).	80
Tabela 4.20 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q1 (em m/s).....	81
Tabela 4.21 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q2 (em m/s).....	82
Tabela 4.22 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q3 (em m/s).....	82
Tabela 4.23 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q1 (em m/s).....	84
Tabela 4.24 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q2.	85
Tabela 4.25 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q3 (em m/s).....	85
Tabela 4.26 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 17° pavimento, linear e vazão Q1 (em m/s).....	87
Tabela 4.27 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q2 (em m/s).....	88
Tabela 4.28 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q3 (em m/s).....	88
Tabela 4.29 - Comparação por pontuação entre as peças J90, C87 e J45.	90
Tabela 4.30 – Velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17° pavimento e Q1 (em m/s).	91

Tabela 4.31 – Velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q2 (em m/s).....	91
Tabela 4.32 – Velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q3 (em m/s).....	92
Tabela 4.33 - Comparação por pontuação entre as peças 2C90C, 2C90L, 2J45 e 4J45.	93
Tabela 4.34 - Retenção de mídias ensaios 6PAV e Q1	94
Tabela 4.35 - Retenção de mídias ensaios 11PAV e Q1	94
Tabela 4.36 - Retenção de mídias ensaios 17PAV e Q1	94
Tabela 4.37 - Vazões para o ensaio J90L-6-Q1	95
Tabela 4.38 - Vazões para o ensaio J90L-11-Q1	95
Tabela 4.39 - Vazões para o ensaio J90L-17-Q1	96
Tabela 4.40 - Vazões para o ensaio C87L-6-Q1	97
Tabela 4.41 - Vazões para o ensaio C87L-11-Q1	98
Tabela 4.42 - Vazões para o ensaio C87L-17-Q1	99
Tabela 4.43 - Vazões para o ensaio J45L-6-Q1	100
Tabela 4.44 - Vazões para o ensaio J45L-11-Q1	100
Tabela 4.45 - Vazões para o ensaio J45L-17-Q1	101
Tabela 4.46 - Vazões para o ensaio 2C90C-17-Q1	101
Tabela 4.47 - Vazões para o ensaio 2C90L-17-Q1	102
Tabela 4.48 - Vazões para o ensaio 4J45-17-Q1	103
Tabela 4.49 - Vazões para o ensaio 2J45-17-Q1	103
Tabela 4.50 - Velocidade média dos trechos dos ensaios que não ocorreu retenção das mídias na rede.	104
Tabela 4.51 - Velocidade média dos trechos dos ensaios que ocorreu retenção das mídias na rede.	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MPS - *Moving Particle Semiimplicit*

MDF - Método das Diferenças Finitas

MVF - Método dos Volumes Finitos

MEF – Método dos Elementos finitos

MEC - Elementos de Contorno

SPH - *Smoothed Particle Hydrodynamics*

LISTA DE SÍMBOLOS

α , β - Parâmetros de viscosidade artificial no método SPH

β_m - Fator de correção para garantir a independência do número de partícula de fronteira na força exercida por ela nas partículas fluidas.

dx ou Δx - Espaçamento médio entre partículas (m)

K - Fator de proporcionalidade entre r_s e Δx

c - Celeridade do som (m/s)

μ - Viscosidade dinâmica do fluido (Pa.s)

ν - Viscosidade cinemática do fluido (m²/s)

Π_{ij} - Viscosidade artificial

ε - Constante XSPH, varia entre 0 e 1

ρ - Massa específica do fluido (kg/m³)

ρ_0 - Massa específica inicial do fluido (kg/m³)

ρ_s - Massa específica do material sólido (kg/m³)

$\vec{\nabla}$ - Vetor Nabla

$\vec{f}$ - Força por unidade de massa atuando na partícula (m/s²)

$\vec{u}$ - Vetor velocidade de escoamento (m/s)

$\vec{r}$ - Posição da partícula (x,y)

e_1, e_2 - Parâmetros para correção da instabilidade de tensão

h - Comprimento de suavização

i - Índice (subescrito) para denominar partículas fluidas

j - Índice (subescrito) para denominar partículas fluidas vizinhas a partícula

k - Índice (subescrito) para denominar partícula de parede

m - Massa (kg)

n : indicativo de massa específica;

p - Pressão (Pa)

p_1 e p_2 - Constantes

r_p - Raio da partícula (m)

r_{ij} - Distância entre partículas

s - Variável para cálculo do núcleo de suavização

v_{sig} : Velocidade de referência;

W - Função peso ou núcleo de suavização

R_{ij} - Termo representativo de força para retirar a instabilidade;

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	23
1.1. CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	23
1.2. PRESSUPOSTO	25
1.3. OBJETIVO	25
CAPÍTULO 2 REVISÃO	26
2.1. PESQUISAS NUMÉRICAS	26
2.1.1. Ramais de descarga	26
2.1.2. Tubo de queda	29
2.2. PESQUISAS EXPERIMENTAIS.....	40
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA.....	49
3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	49
3.2. ANÁLISE NUMÉRICA.....	50
3.2.1. Problemas encontrados nos experimentos numéricos	52
3.3. ANÁLISE EXPERIMENTAL	52
3.3.1. Caracterização do objeto de estudo.....	53
3.3.2. Montagem do protótipo de teste	54
3.3.3. Variáveis medidas	57
3.3.4. Cenários estudados	57
3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	63
3.5. LIMITAÇÕES	64
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	65
4.1. INFLUÊNCIA DA VAZÃO NA VELOCIDADE MÉDIA DE TRANSPORTE DA MÍDIA 65	
4.2. INFLUÊNCIA DA ALTURA NA QUAL OCORRE A DESCARGA NA VELOCIDADE MÉDIA DAS MÍDIAS.....	74

4.3. INFLUÊNCIA DA CONEXÃO DO DESVIO DA PRUMADA PARA O SUB-COLETOR NA VELOCIDADE MÉDIA DAS MÍDIAS	81
4.4. INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DO SUB-COLETOR NA VELOCIDADE MÉDIA DAS MÍDIAS.....	90
4.5. INFLUÊNCIA DA ALTURA NA QUAL OCORRE A DESCARGA, VAZÃO E CONEXÃO DO DESVIO DA PRUMADA NA RETENÇÃO DE MÍDIAS	93
4.6. INFLUÊNCIA DA ALTURA NA QUAL OCORRE A DESCARGA E VAZÃO NA ALTURA DE LÂMINA D'ÁGUA.....	104
4.7. RESUMO DOS RESULTADOS.....	107
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO.....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
ANEXOS	115

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Nos anos que iniciaram a primeira década do Século XXI, observou-se um crescimento na indústria da construção brasileira, com um aumento do número de unidades construídas no país. Em pesquisa feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2001, o país possuía 34.460 domicílios domésticos permanentes e em 2009 esse número era de 43.136.

A busca por novos negócios da construção civil tem como objetivo captar clientes utilizando várias estratégias. Dentre elas pode-se elencar: a reputação da construtora, a qualidade da construção, a localização do imóvel e a diminuição do valor cobrado do cliente. Independentemente do tipo de estratégia definida, para que a construção seja o mais viável possível, é necessário construir ao menor custo global.

O custo global dos empreendimentos depende do custo de construção juntamente com o custo de manutenção. Neste quesito, normalmente o sistema predial hidráulico-sanitário (SPHS) tem sido o responsável por grande parte dos chamados de assistência técnica de pós obra (CRUZ, 2013).

Os problemas são variados, englobando desde vazamentos nas redes de água fria/quente, barulho excessivo nas tubulações, rompimento de tubulações de recalque, vazamentos e entupimentos na rede de esgoto. Dentre estas, como verificado por Ferreira, Carvalho e Campos (2016), um dos principais itens é o entupimento das tubulações de esgoto predial.

Dentre os variados motivos para o entupimento das redes de esgoto, pode-se destacar: o acúmulo de detritos de resto de obra, a falta de limpeza antes da entrega, a falta de manutenção, mau uso da rede e os projetos tecnicamente deficientes.

O projeto e a execução sistemas prediais de esgoto sanitário (SPES) é baseado nos critérios e prescrições da NBR 8160/99 (ABNT,1999). A norma propõe orientações de dimensionamento da rede, aspectos construtivos, instalação, montagem, testes e manutenção. Especificamente sobre o dimensionamento da rede de esgoto, a NBR 8160 (ABNT, 1999) indica a divisão do sistema nos seguintes elementos:

- Ramal de descarga;
- Ramal de esgoto;

- Tubo de queda;
- Sub-coletor e coletor predial;
- Ramal de Ventilação;
- Coluna de Ventilação;
- Ventilação Primária;

O dimensionamento de todos esses elementos é baseado no método de Unidades Hunter de Contribuição (UHC), sendo realizada a contagem das UHC que estão instaladas a montante do elemento. O valor de UHC levantado é comparado com os valores máximos que a tubulação suporta, valores estes que são tabelados pela NBR 8160 (ABNT, 1999).

A NBR 8160 (ABNT, 1999) apresenta um segundo método de dimensionamento, que leva em consideração as vazões características dos aparelhos à época em que a norma foi escrita e o hábito de consumo da população que está utilizando o sistema. Neste método é proposto o cálculo da vazão mais provável de consumo, a qual deve ser comparada com a vazão máxima que a tubulação consegue suprir mantendo o sistema trabalhando como conduto livre, neste caso com o diâmetro parcialmente preenchido. Essa vazão é calculada utilizando a fórmula de Manning.

O método de cálculo da vazão mais provável de uso também simplificações. Primeiro que na literatura técnica para projeto e até mesmo na pesquisa científica, não existem muitos estudos sobre o hábito de consumo, o que dificulta o cálculo da vazão máxima que irá solicitar o sistema. Em segundo lugar, a fórmula de Manning é válida para regime permanente e uniforme, esta não leva em consideração o arraste de sólidos, a variação de vazão devido às distâncias e a influência da quantidade de peças na velocidade do sistema. Pelo menos um desses aspectos está presente nos sistemas de esgoto instalados em qualquer tipologia de edificações podendo ser residenciais horizontais e verticais, multifamiliar ou unifamiliar, comerciais, nas áreas administrativas das edificações industriais, dentre outras tipologias de edificações, mas por não terem tratamento adequado pela NBR 8160 (ABNT, 1999) não são levados em consideração na concepção do projeto pelos projetistas.

Ao desconsiderar estes aspectos, o projeto de Sistema Predial de Esgoto Sanitário (SPES) fica muito simplificado, aumentando muito a chance de estar super e/ou subdimensionado. Este fato pode gerar vários problemas dentre eles pode-se destacar os custos extras para o empreendedor e a possibilidade de aumento de manutenção corretiva para o cliente final que gera insatisfação e incômodo acarretando no desgaste da marca da construtora.

Estes aspectos estão presentes em pesquisas com datas bem anteriores a NBR 8160 (ABNT, 1999). Por exemplo Galowin (1991) levantou várias perguntas importantes, tais como:

- O que ocorre em tubulações longas com pouca frequência de uso?
- O que ocorre durante o uso simultâneo de vários aparelhos?
- O que ocorre nas prumadas e nos desvios delas?
- As tubulações estão dimensionadas corretamente ou estão sub, superdimensionadas?

Perguntas essas que não são respondidas pela NBR 8160 (ABNT, 1999) mesmo que a norma seja a posterior a essas pesquisas.

Deste modo, os impactos das variáveis de projeto nas características físicas do escoamento são estudados neste trabalho. Dentre as variáveis de projeto pode se citar a altura do tubo de queda, os tipos de conexões, a configuração de montagem entre os diversos componentes do SPES e a variação de vazão. Já as características físicas estudadas são a velocidade e altura da lâmina d'água.

1.2. PRESSUPOSTO

O método proposto pela NBR 8160 (ABNT, 1999) pode resultar em dimensionamentos equivocados dos elementos de SPES. Isso ocorre por não levar em consideração algumas características inerentes ao projeto e padrão de consumo, tais como: o comprimento da rede, a variação de vazão ao longo do dia e a quantidade de conexões no dimensionamento.

1.3. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é quantificar a influência de diferentes variáveis de projeto nas características físicas do escoamento do esgoto presente no sub-coletor dos SPES por meio da observação do funcionamento de um aparato experimental representando configurações distintas de montagem e modelagem numérica experimental.

Sendo os objetivos específicos a quantificação da influência:

- Da altura do tubo de queda;
- Das diferentes conexões que podem ser utilizadas no desvio do tubo de queda para o sub-coletor;
- Das diferentes vazões que podem ocorrer dentro da edificação;
- Da instalação de conexões no sub-coletor.

CAPÍTULO 2

REVISÃO

Neste capítulo são apresentados os trabalhos consultados para o desenvolvimento da pesquisa. No primeiro subcapítulo apresenta-se uma compilação de pesquisas atuais realizadas com ferramentas baseadas em códigos numéricos. No subitem seguinte são apresentadas as pesquisas consultadas para o desenvolvimento dos experimentos e o embasamento para as definições do ensaio, tais como: mídias¹, vazões e altura de queda.

2.1. PESQUISAS NUMÉRICAS

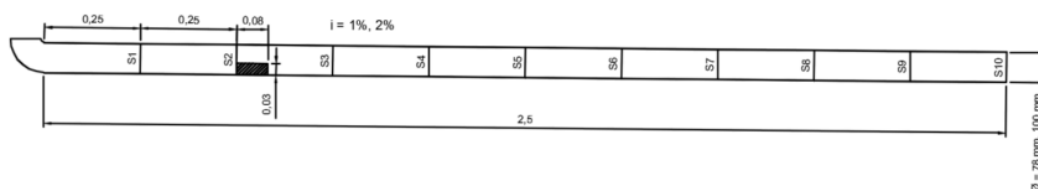
Na realização do levantamento das pesquisas recentes, os trabalhos foram divididos em dois grupos, sendo o primeiro composto por trabalhos referentes ao escoamento dos ramais de descarga, em especial os ramais das bacias sanitárias e o segundo grupo refere-se aos trabalhos que avaliaram o comportamento das transições do tubo de queda, podendo ser a conexão entre o ramal de descarga e o tubo de queda ou a transição entre o tubo de queda e o sub-coletor.

2.1.1. Ramais de descarga

Cheng, Oliveira e Favero (2012), Cheng *et al.* (2016a), Cheng *et al.* (2016b) e Cheng *et al.* (2017) simulam o escoamento que ocorre dentro do ramal de descarga de uma bacia sanitária. Um exemplo do objeto de estudo dessas pesquisas pode ser observado nas Figura 2.1 e Figura 2.2.

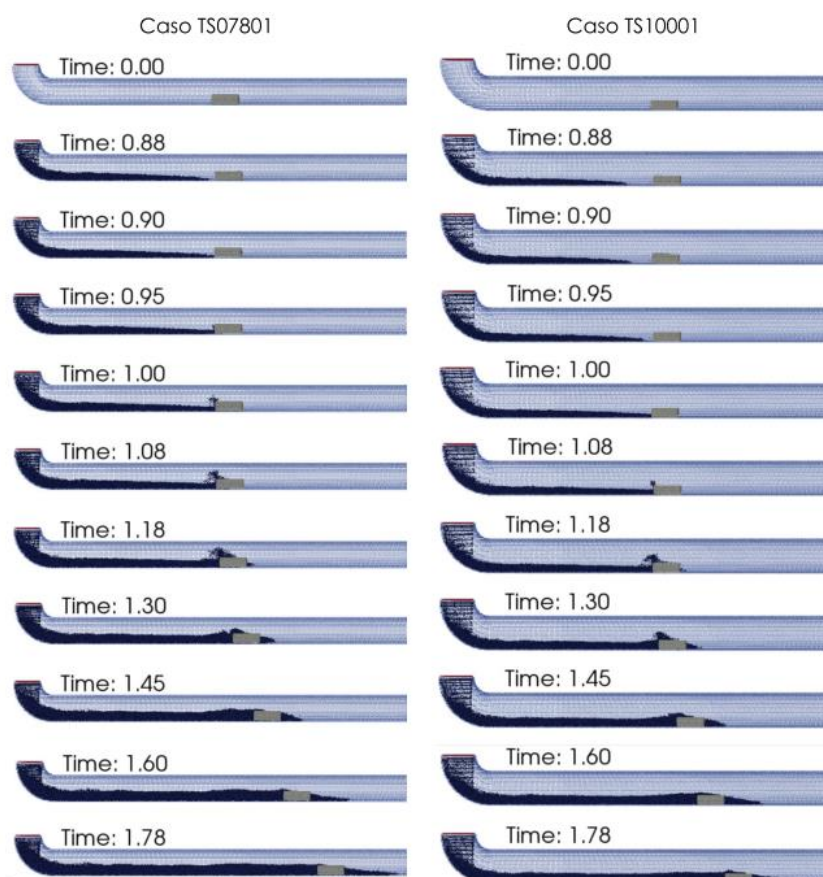
Figura 2.1 - Ramal de Descarga (Objeto de estudo)

(Cheng *et al.*, 2016b)



¹ Corpo-de-prova em ensaios de sistemas prediais de esgoto sanitário

Figura 2.2 - Exemplo de simulação numérica utilizada nas pesquisas

(Cheng *et al.*, 2016b)

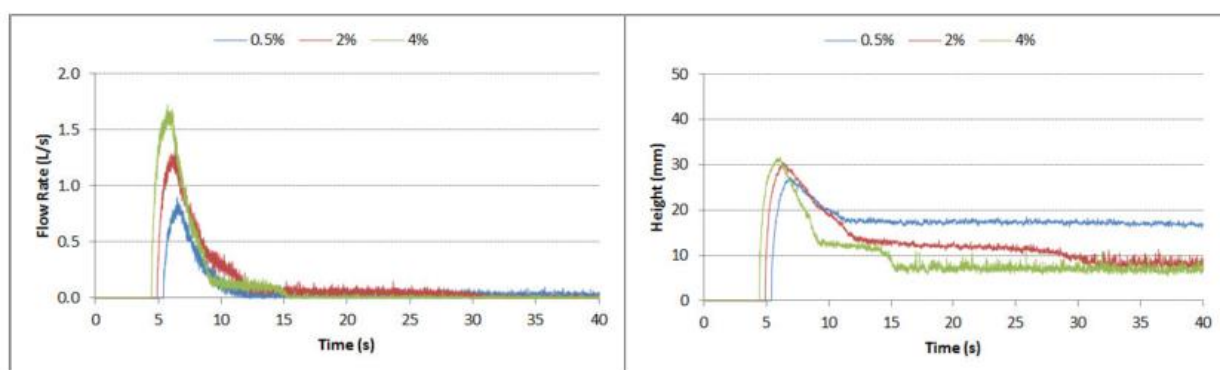
Nestes trabalhos foram utilizados o método *Moving Particle Semi-implicit* (MPS) para executar as simulações numéricas, sendo a vazão utilizada apresentada na equação (2.1).

$$Q(t) = 2,04\text{sen}(0,55t - 1,46). \quad (2.1)$$

Em Cheng, Oliveira e Favero (2012) não foi feita a simulação com o sólido, existindo somente o fluido dentro da tubulação. Analisou-se a influência do diâmetro, que varia entre 75 mm e 100 mm e a influência da inclinação da rede, que varia entre 0,5%, 2% e 4%, no comportamento da altura da lâmina d'água e da vazão. As duas variáveis são analisadas em seções pré-definidas. Nessas simulações, o tamanho total da rede é de 6,0 m. Os autores concluíram que em nenhum dos casos a vazão foi suficiente para encher totalmente a seção da tubulação e, desse modo, o diâmetro da rede não impactou na vazão do sistema, mas apenas na altura da lâmina de fluido. Em relação à inclinação os autores concluíram que quanto maior o valor da mesma, maior a vazão e menor a altura. Observaram também que o impacto na vazão é maior do que a altura, como pode ser observado na Figura 2.3.

Figura 2.3 - Resultado da variação da vazão e da altura em relação da mudança da inclinação.

(Cheng, Oliveira e Favero, 2012)



As simulações em Cheng *et al.* (2016a) e Cheng *et al.* (2016b) caracterizam a interação do fluido com o bloco sólido em uma rede com 2,50 m de comprimento total. Nesses trabalhos foram analisadas a influência do diâmetro, sendo os mesmos de 78 mm e 100 mm, e a influência da inclinação, 1 e 2%, na posição do sólido e na velocidade média em algumas seções propostas. Os autores concluíram que dentro do ramal de descarga existem dois momentos distintos. O primeiro ocorre no início da tubulação, no qual há o predomínio das forças hidrodinâmicas impulsivas. Essas forças possuem duração extremamente curta, que causam uma melhoria no desempenho do tubo de 78 mm. Como o diâmetro é menor, a velocidade média é maior, aumentando assim o arraste do sólido. Nesse momento, o aumento da inclinação não gera muito impacto nem na velocidade do escoamento, nem na posição do sólido.

O segundo momento do escoamento, mais afastado do desvio, ocorre com predomínio das forças inerciais. Sendo elas as ondas gravitacionais, carregamentos hidrostáticos, peso e o atrito entre as tubulações e o sólido. Deste modo o diâmetro maior possui o melhor desempenho pois o sólido atinge maiores velocidades. Já nesta fase é possível observar maior influência da mudança da inclinação na velocidade atingida dentro da rede.

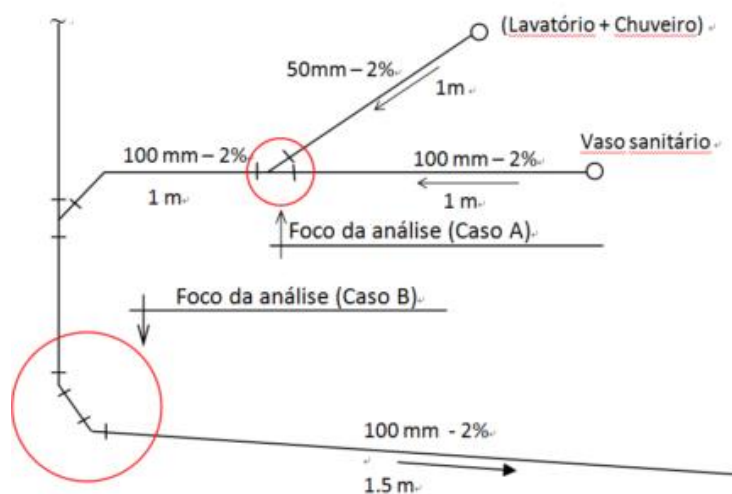
Cheng *et al.* (2017) não realizaram a análise da influência do diâmetro e nem da inclinação na vazão do sistema. Propuseram a verificação do comportamento do sistema a partir da variação das posições iniciais do bloco, para uma rede de 2,50 m de comprimento total. A rede possui diâmetro de 100 mm, com uma curva de 90° no início e inclinação de 0,0%. Os pontos de partida dos blocos variam de 0,25 m até 2,25 m em intervalos de 0,25 m, totalizando nove casos. Nesse trabalho, os autores não indicaram variações importantes no comportamento do sólido devido à modificação da sua posição inicial. As pressões e as forças hidrodinâmicas no sistema não sofreram impacto devido à variável e se mantiveram praticamente constantes para todos os casos, somente o momento apresentou variações.

2.1.2. Tubo de queda

Cheng, Oliveira e Favero (2013) e Cheng *et al.* (2014b) analisaram como ocorre o fluxo em uma rede de 100 mm que está conectada, através de uma junção de 45°, com uma rede de 50 mm. Além disso os autores também estudaram o desvio do tubo de queda. A Figura 2.4 ilustra os dois casos citados.

Figura 2.4 - Esquema dos casos analisados em Cheng, Oliveria e Favero (2013) e Cheng *et al* (2014b).

(Cheng, Oliveira, Favero, *et al.*, 2014)



Nesses trabalhos foram utilizados o fluxo constante na rede de 50 mm, que vem do lavatório e do chuveiro. Já a vazão da bacia sanitária foi calculada de acordo com a equação (2.1). Ensaio experimentais foram comparados com a solução numérica do fluxo, apresentando resultados próximos.

No caso B, em que foi estudado o desvio do tubo de queda, os autores utilizaram a vazão dentro do sistema calculada pela equação (2.2).

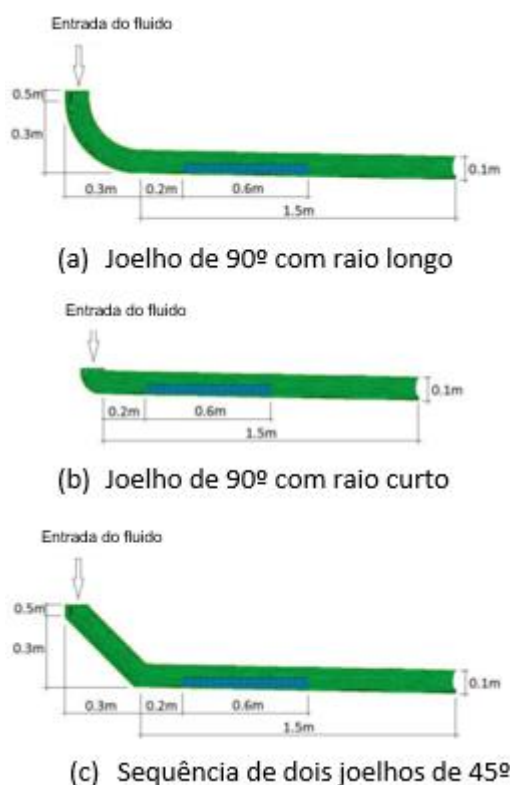
$$Q(t)(L/s) = \begin{cases} 0,35, & \text{se } t < 13,1 \text{ s} \\ 1,15 + \cos(0,9t - 0,7), & \text{se } 13,2 \leq t \leq 15,7 \text{ s} \\ 0,35 + \frac{1,15}{(t - 14,7)^{1,9}}, & \text{se } t \geq 15,7 \text{ s} \end{cases} \quad (2.2)$$

Em Cheng *et al* (2014a) foram feitas simulações do desvio do tubo de queda. No trabalho, foram utilizados dois fluidos na composição da simulação, um fluido que representa o esgoto sedimentado na tubulação horizontal e outro que representa a descarga. Os autores apresentam uma análise da influência da geometria do desvio entre a tubulação vertical e a horizontal. Foram avaliadas três opções de desvio: a primeira com uma curva de 90° de raio longo, a segunda com um joelho de 90° de raio curto e a terceira com dois joelhos de 45° cada um, conforme mostra a Figura 2.5. Além da geometria do desvio, os autores também analisam

a influência da inclinação da rede horizontal. As duas análises foram feitas em relação ao centro de massa e à quantidade total de esgoto que fica internamente na tubulação.

Figura 2.5 - Geometria e Composição dos fluidos analisados.

(Cheng, Oliveira, Ferracini, *et al.*, 2014)



Os autores concluíram que as tubulações que possuem desvios com dois joelhos de 45° possuem a melhor capacidade de autolimpeza durante o uso. Os desempenhos dos desvios com dois joelhos de 45° e com joelho de raio longo foram muito próximos. Já o modelo de raio curto teve um desempenho pior em relação aos outros dois. Em relação à influência da inclinação na quantidade de esgoto, o trabalho conclui que a inclinação da rede não causa mudança na quantidade de esgoto que fica presente na rede ao final do fluxo, para o tamanho da rede simulada.

Outros métodos também foram utilizados para as simulações dentro do sistema predial de esgoto sanitário. Chang, Cheng e Wang (2006) utilizaram o Método de Volumes Finitos (MVF) para a simulação do escoamento. Nesse trabalho, foi feita a simulação em dois locais diferentes do sistema de esgoto: primeiro na conexão do ramal de esgoto com a prumada; e segundo no desvio da prumada. As Figura 2.6, Figura 2.7 e Figura 2.8 representam os dois pontos em que a simulação foi feita, a malha que foi utilizada para eles e o resultado da simulação. Esse trabalho não traz variações de diâmetro ou de inclinação e somente apresenta os resultados da simulação.

Figura 2.6 - Malha utilizada para simulação de estudo.

(Chang, Cheng e Wang, 2006)

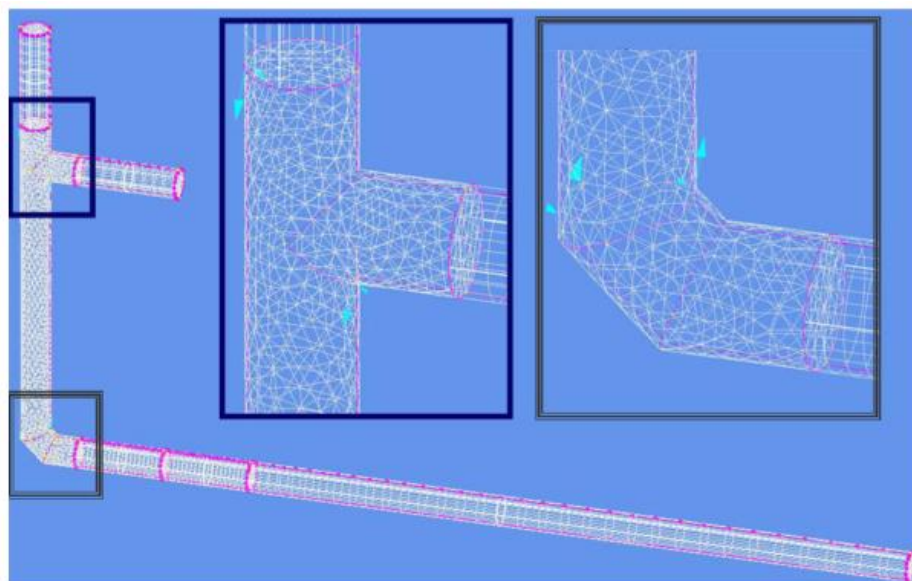


Figura 2.7 - Resultado simulação ponto A.

(Chang, Cheng e Wang, 2006)

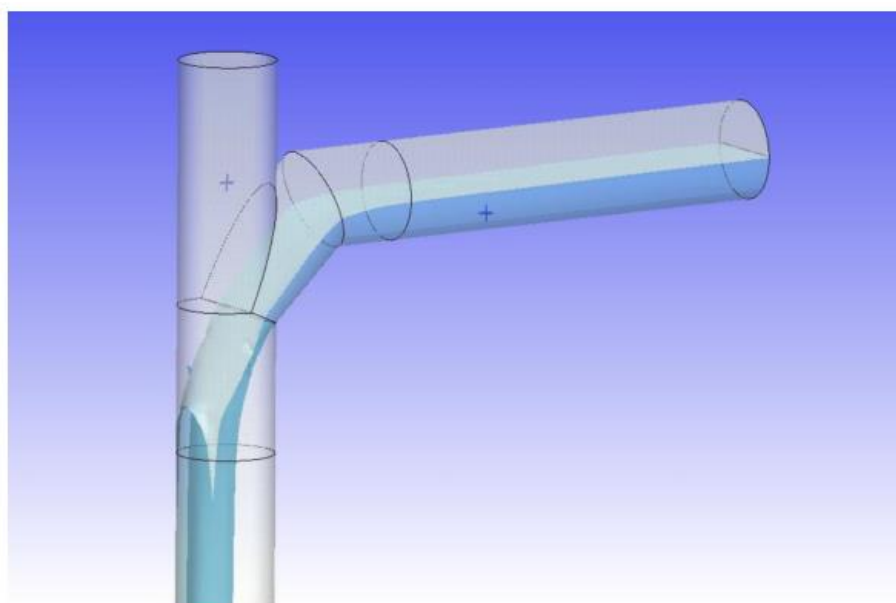
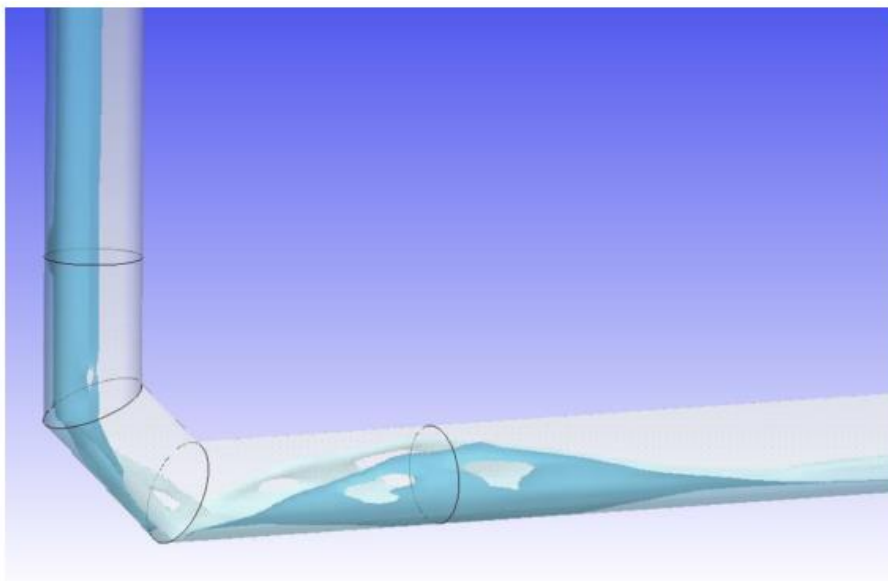


Figura 2.8 - Resultado simulação ponto B.

(Chang, Cheng e Wang, 2006)



Öngören e Meier (2007) também utilizaram do método MVF para fazer a simulação numérica do escoamento desde a entrada de água no sistema até a distância final do desvio. Nesse trabalho, foram instalados um ou mais corpos sólidos na rede e avaliado o comportamento gráfico das simulações com os sólidos. Além da variação da quantidade de sólidos internos, foram feitas duas variações em relação à vazão do sistema: na primeira o escoamento é quase transiente; e na segunda é transiente. Nas Figura 2.9 e Figura 2.10 são apresentados os objetos de estudo e uma representação gráfica do escoamento.

Figura 2.9 - Condição de contorno da simulação numérica.

(Öngören e Meier, 2007)

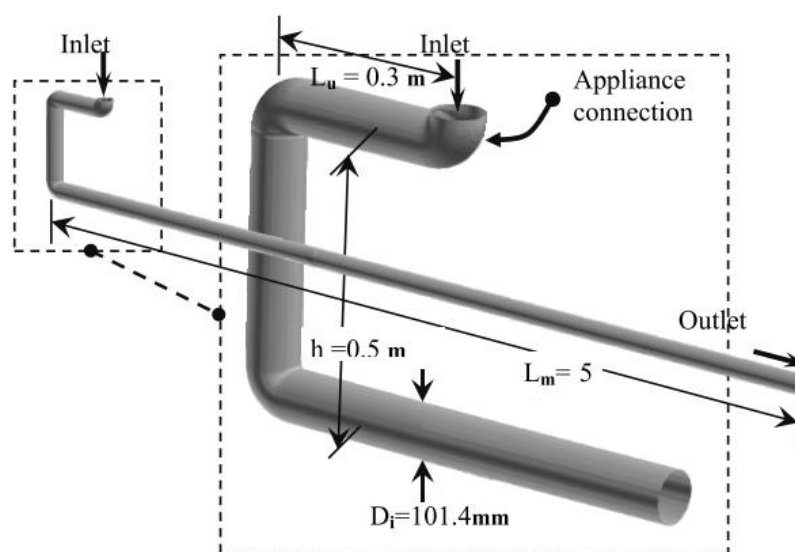
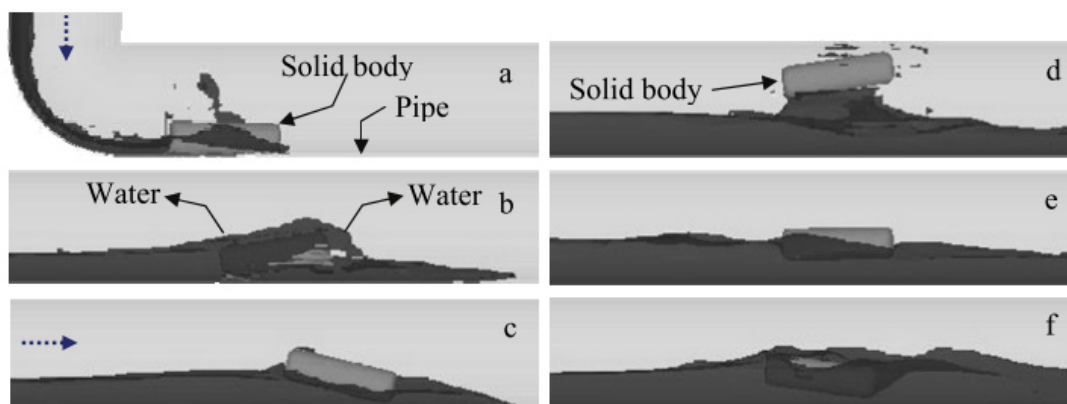


Figura 2.10 - Apresentação gráfica do fluxo.

(Öngören e Meier, 2007)



Lee, Yu e Xu (2013) realizaram a pesquisa utilizando MVF, tendo como objetos de estudo a prumada, a conexão da horizontal e o sub-coletor apresentados na Figura 2.11. O objetivo do trabalho era prever quais seriam os pontos mais vulneráveis ao entupimento do sistema. Na pesquisa não foi apresentada qual a inclinação utilizada e não é indicado se houve variação dela. A única variável que sofreu modificação foi a viscosidade do fluido que possuiu valores de 0,0165 kg/(m.s) ou 0,165 kg/(m.s). No trabalho, os pesquisadores analisaram a influência do aumento da viscosidade na velocidade e na área do escoamento em algumas determinadas seções, apresentadas na Figura 2.12. Os autores concluíram que as conexões horizontais e os pontos de conexão do sistema de ventilação causam a diminuição da velocidade do fluido e, em consequência, a altura de fluido na seção é maior.

Figura 2.11 – Características físicas da tubulação utilizada na simulação.

(Lee, Yu e Xu, 2013)

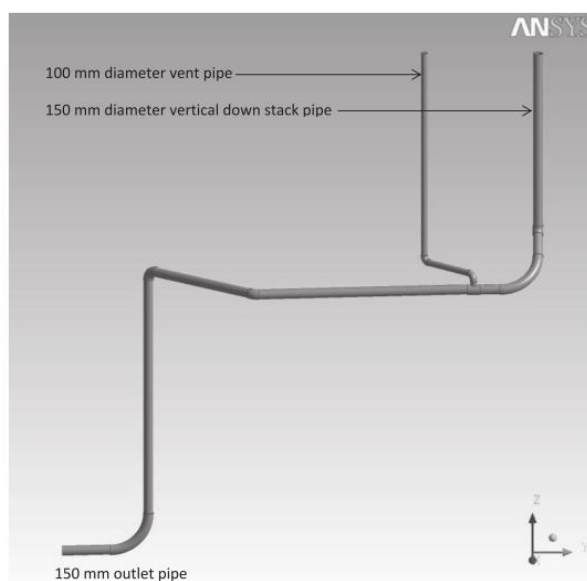
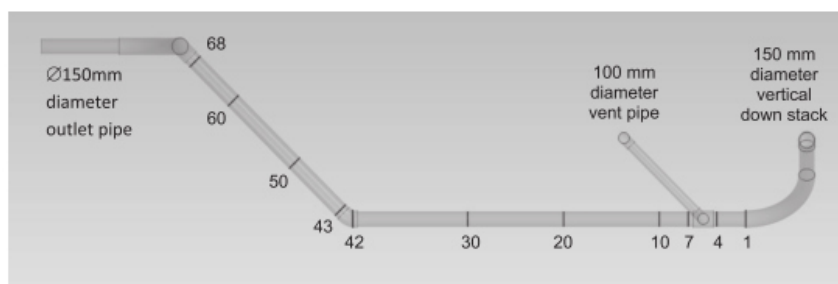


Figura 2.12 - Seções utilizadas para controle.

(Lee, Yu e Xu, 2013)



No Quadro 2.1 é apresentado um resumo de todos os trabalhos citados anteriormente. Observa-se as características técnicas necessárias para cada método empregado pelos pesquisadores, bem como uma síntese do que foi desenvolvido em cada estudo.

Quadro 2.1 - Resumo das pesquisas

Trabalho	Viscosidade Fluido 1 (Pa.s)	Viscosidade Fluido 2 (Pa.s)	Massa específica fluido 1 (kg/m³)	Massa específica fluido 2 (kg/m³)	Massa específica Sólido (kg/m³)
(Cheng, Oliveira e Favero, 2012)	0,0001 (água)	(Não se aplica)	1000 (água)	(Não se aplica)	(Não se aplica)
(Cheng <i>et al.</i> , 2013)	0,0001 (água)	(Não se aplica)	1000 (água)	(Não se aplica)	(Não se aplica)
(Cheng, Oliveira, Favero, <i>et al.</i> , 2014)	0,001 (água)	1,4868	1000 (água)	1260	(Não se aplica)
(Cheng, Oliveira, Ferracini, <i>et al.</i> , 2014)	0,0001 (água)	(Não se aplica)	1000 (água)	(Não se aplica)	(Não se aplica)
(Cheng <i>et al.</i> , 2016b)	0,0001 (água)	(Não se aplica)	1000 (água)	(Não se aplica)	1010
(Cheng <i>et al.</i> , 2016a)	0,0001 (água)	(Não se aplica)	1000 (água)	(Não se aplica)	1010
(Cheng <i>et al.</i> , 2017)	0,0001 (água)	(Não se aplica)	1000 (água)	(Não se aplica)	1010
(Chang, Cheng e Wang, 2006)	0,0001 (água)	(Não se aplica)	1000 (água)	(Não se aplica)	(Não se aplica)
(Öngören e Meier, 2007)	0,0001 (água)	(Não se aplica)	1000 (água)	(Não se aplica)	1010
(Lee, Yu e Xu, 2013)	0,0165 ou 0,165	(Não se aplica)	1450	(Não se aplica)	(Não se aplica)

Continua

Quadro 2.1 - Resumo das pesquisas (Continuação).

Trabalho	Fator de Atrito	Objeto de Estudo	Parâmetros Avaliados	Parâmetros Alterados	Dimensão / Método
(Cheng, Oliveira e Favero, 2012)	(Não se aplica)	Ramal de Descarga Bacia Sanitária	Vazão e Altura da Lâmina de fluido	Inclinação (0,5, 2 e 4%) e Diâmetro (100 e 75 mm)	3D / MPS
(Cheng <i>et al.</i> , 2013)	(Não se aplica)	Desvio Tubo de queda e Junção de ramais	Altura de Lâmina de fluido e vazão	(Não se aplica)	3D / MPS
(Cheng, Oliveira, Favero, <i>et al.</i> , 2014)	(Não se aplica)	Desvio tubo de queda.	Centro do Fluido 2 e % de fluido 2	Inclinação (1 e 2%) e Geometria do Desvio (J90°, C90°, 2J45°)	3D / MPS
(Cheng, Oliveira, Ferracini, <i>et al.</i> , 2014)	(Não se aplica)	Desvio Tubo de queda e Junção de ramais	Altura de Lâmina de fluido e vazão	(Não se aplica)	3D / MPS
(Cheng <i>et al.</i> , 2016b)	0,26	Ramal de Descarga Bacia Sanitária + Sólido	Velocidade do fluido e Posição do sólido	Inclinação (1 e 2%) e diâmetro (78 e 100 mm)	3D / MPS
(Cheng <i>et al.</i> , 2016a)	0,26	Ramal de Descarga Bacia Sanitária + Sólido	Velocidade do fluido e Posição do sólido	Inclinação (1 e 2%) e diâmetro (78 e 100 mm)	3D / MPS

Continua

Quadro 2.1 - Resumo das pesquisas (Continuação).

Trabalho	Fator de Atrito	Objeto de Estudo	Parâmetros Avaliados	Parâmetros Alterados	Dimensão / Método
(Cheng <i>et al.</i> , 2017)	0,26	Ramal de Descarga Bacia Sanitária + Sólido	Pressão, Força, Posição, velocidade e aceleração	Posição inicial do sólido	3D / MPS
(Chang, Cheng e Wang, 2006)	(Não se aplica)	Conexão ramal / Tubo de queda e desvio do mesmo	Graficamente (comportamento do fluxo)	(Não se aplica)	3D / VOF
(Öngören e Meier, 2007)	0,2	Entrada tubo de queda e desvio do mesmo	Graficamente (Altura de água)	Inclinação (1 e 5%)	3D / VOF
(Lee, Yu e Xu, 2013)	(Não se aplica)	Entrada tubo de queda e desvio do mesmo	Área de fluido e velocidade do fluido	Viscosidade (0,0165 e 0,165 Pa.s)	3D / VOF

Continua

Quadro 2.1 - Resumo das pesquisas (Continuação).

Trabalho	Passo tempo / Dm / Quant. de partículas / Tempo simulação / Duração simulação	Vazão	Observações
(Cheng, Oliveira e Favero, 2012)	Não foi informado	Equação (2.1)	-
(Cheng <i>et al.</i> , 2013)	2x10e-4 s / 2 mm / 1 milhão / 11 s / 30 horas	Equação (2.2)	Comparação com Experimental
(Cheng, Oliveira, Favero, <i>et al.</i> , 2014)	Caso A: 10e-4 s / 2 mm / 2,3 milhões / 20 s / 40 h Caso B: 5x10e-5 s / 1 mm / 5 milhões / 10 s / 30 h	1 L/s	-
(Cheng, Oliveira, Ferracini, <i>et al.</i> , 2014)	2x10e-4 s / 2 mm / 1 milhão / 11 s / 30 horas	Equação (2.2)	Comparação com Experimental
(Cheng <i>et al.</i> , 2016b)	3x10e-4 / 3 mm / 533 mil e 620 mil / - / 15 e 16 h	Equação (2.1)	-
(Cheng <i>et al.</i> , 2016a)	3x10e-4 / 3 mm / 533 mil e 620 mil / - / 15 e 16 h	Equação (2.1)	-

Continua

Quadro 2.1 - Resumo das pesquisas (Continuação).

Trabalho	Passo tempo / Dm / Quant. de partículas / Tempo simulação / Duração simulação	Vazão	Observações
(Cheng <i>et al.</i> , 2017)	5x10e-5 / 2 mm / 850 mil / 5 s / 84 h	Equação (2.1)	-
(Chang, Cheng e Wang, 2006)	Informado somente que a simulação possui 15 mil células	4 L/s	-
(Öngören e Meier, 2007)	Não foi informado	Quase-Transiente e Transiente	-
(Lee, Yu e Xu, 2013)	Não foi informado	6 L/s	-

2.2. PESQUISAS EXPERIMENTAIS

O estudo de desempenho das bacias sanitárias e a preocupação com o possível impacto da redução do volume de descarga nas tubulações são estudados desde a década de 70, Boyd, (1978), Swaffield e Wakelin (1979), Nielsen e Nielsen (1979), Kamata, Matsuo e Tsukagoshi (1979) e Knoblauch (1980) são exemplos de pesquisas dessa década que estudaram o assunto, de forma experimental.

Os autores Swaffield e Gallowin desenvolveram várias pesquisas a respeito do assunto. Os trabalhos do primeiro se concentraram nas linhas de soluções analíticas e numéricas para a previsão do comportamento do fluido. Já o segundo desenvolveu pesquisas com maior foco nos ensaios experimentais.

É possível citar alguns trabalhos desenvolvidos por Swaffield em que o foco são as soluções numéricas: Swaffield, Bridge e Galowin (1982), Swaffield e Galowin (1993), Swaffield e Thancanamootoo (1991), Swaffield, Goulding e Crerar (1988) e Swaffield e McDougall (1996) dentre outros. Como as pesquisas realizadas pelo professor foram utilizando o método de resolução unidimensional, estas não foram apresentadas na seção anterior.

Em Swaffield e Galowin (1994), os pesquisadores realizaram ensaios experimentais e numéricos para comparação do comportamento do modelo de escoamento. Os ensaios experimentais foram realizados com a utilização de esponjas naturais e sintéticas como mídias, com massa específica de 830 kg/m^3 e 1030 kg/m^3 respectivamente. As esponjas eram cúbicas com dimensão de 25,4 mm. Papéis também foram utilizados como mídias, possuindo dimensões de 16,51 cm x 15,75 cm. Para os ensaios foram definidos dois tipos de cargas, uma chamada leve composta de 8 esponjas sintéticas e 12 esponjas naturais e outra designada como pesada, composta de 12 esponjas sintéticas, 14 esponjas naturais e quatro unidades de papéis.

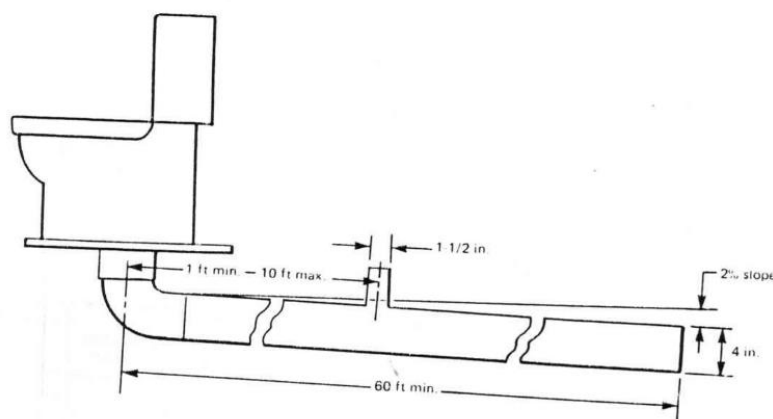
Para os ensaios foram utilizados tubos com diâmetro de 100 mm e 75 mm e com inclinações de 1% e 2%. Os melhores desempenhos, em ordem crescente, foram das tubulações de 75 mm com 2%, de 100 mm com 2%, de 75 mm com 1% e de 100 mm com 1%. Um dado importante para este trabalho é a vazão da bacia sanitária, que neste caso, foram utilizadas a vazão média de 1,5 L/s e a vazão máxima de 1,8 L/s.

Galowin (1989) realizou ensaios com várias tipologias de mídias, com mudanças no formato e no tipo de material. Infelizmente não foi possível identificar todas as tipologias utilizadas pelo pesquisador, uma vez que o artigo dessa pesquisa apresenta perda de nitidez das imagens devido ao processo de escaneamento do artigo. Nos ensaios, as mídias partem do repouso

dentro das tubulações, sendo atingidas por fluxos permanentes e não permanentes. O dado coletado do experimento é a velocidade das mídias em cada caso. Os ensaios simulando o fluxo não permanente ocorreram utilizando descargas de bacias sanitárias, sendo as medições dos resultados realizadas no ramal de esgoto desta. O autor utilizou tubulações com 100 mm de diâmetro variando a inclinação em 1% e 2%. Ao final do trabalho, o autor propõe que seja realizado um ensaio para testar a capacidade de transporte das bacias sanitárias utilizando bolas de propileno e que foi incorporado a A112.19.6 (ASME, 2013) da época. Esta sugestão é muito próxima do que é utilizado atualmente na NBR 15491/2010 (ABNT, 2010) e NBR 15097-1/2017 (ABNT, 2017).

A norma A112.19.6 incorporou os ensaios de bolas de propileno para o seu texto, em sequência Galowin e Swaffield (1992) apresentaram dados que foram obtidos utilizando o novo método presente nesta norma. Na Figura 2.13 apresenta-se um esquema da disposição física das tubulações para esse tipo de ensaio. Os estudos realizados ocorreram utilizando os diâmetros de 75 mm e 100 mm, e as inclinações de 1% e 2%. Novamente, os autores concluíram que inclinações maiores geram melhoria no arrasto de sólidos. Nesse trabalho também foi realizado ensaios computacionais para simular uma maior variação do diâmetro. Para essas simulações, a vazão, para uma bacia sanitária de 6L, foi considerada de 1,2 L/s como valor médio e 1,8 L/s como valor máximo.

Figura 2.13 - Disposição física das tubulações do ensaio presente em Galowin e Swaffield (2002). Fonte: Galowin e Swaffield (2002).



Em Galowin (1989) e Galowin e Swaffield (1992) foram utilizados o teste das bolas de propileno, mas ambos pesquisadores questionaram a necessidade de validação do ensaio e de suas mídias para simular a real condição do transporte de sólidos dentro das tubulações de esgoto. Como justificativa para a utilização destas como mídias nos ensaios os autores elencam a necessidade de padronização, repetição e comparação dos testes de laboratório.

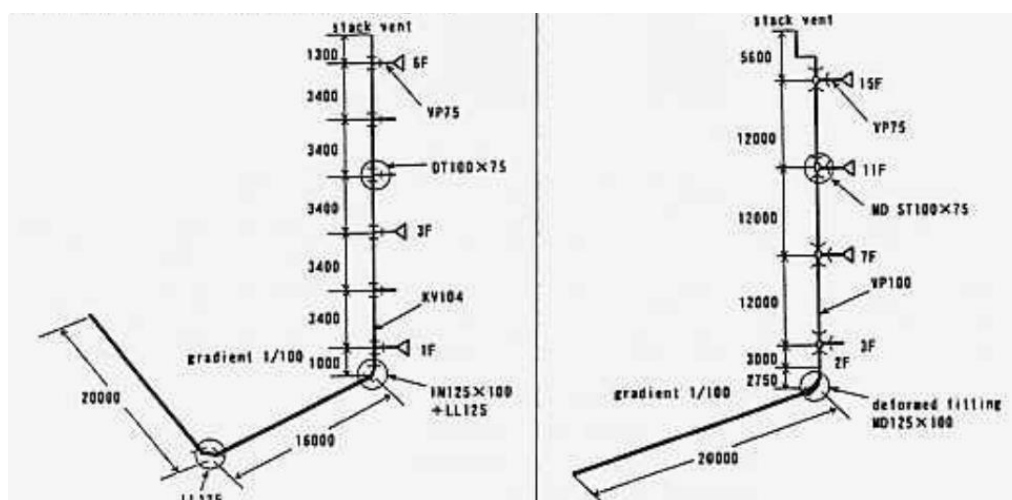
A importância de simular melhor os efeitos da massa fecal é apresentada em Galowin (1997), no qual o autor apresenta uma série de questionamentos em relação aos ensaios e as mídas que deveriam ser utilizadas presentes nas normas dos Estados Unidos da América (EUA) e da Austrália.

Outros autores também se dedicaram ao assunto e trouxeram grandes contribuições. Faldager (1997) apresenta recomendações em relação a quantidade de peças, o tamanho máximo da rede, o posicionamento dos aparelhos sanitários e a mínima inclinação que a tubulação deve possuir no caso da utilização de bacias sanitárias com volumes pequenos, abaixo de 6 L no caso do estudo.

Griggs, Healy e Hall (1998) estudaram a possibilidade de diminuir as tubulações das bacias sanitárias de volume de 6 L para diâmetros menores do que 100 mm. Para isso, os pesquisadores realizaram ensaios em tubulações de vidro com diâmetro de 100 mm e 80 mm, sendo medido a velocidade do fluido através da análise do vídeo gerado durante os ensaios. Foram realizadas medições da velocidade do trecho a uma distância aproximada de 1,0 m da descarga da bacia sanitária.

Todos os trabalhos descritos foram realizados utilizando o ramal de descarga da tubulação da bacia sanitária como objeto de estudo. Os pesquisadores não analisaram os efeitos que ocorrem no tubo de queda, no desvio para o sub-coletor e no próprio sub-coletor. Porém Shigefuji *et al.* (1999) realizaram sua pesquisa tendo o sub-coletor como foco. Na Figura 2.14 é apresentado o esquema da torre de teste e do sub-coletor desse estudo. Para isso foram realizados vários ensaios, sendo as variáveis: altura de onde estava ocorrendo a descarga, aparelho sanitário, tipologias de mídas e configuração de montagem das tubulações.

Figura 2.14 - Torre de teste e sub-coletores montados para os ensaios experimentais presentes em Shigefuji *et al* (1999). Fonte: Shigefuji *et al* (1999).



Quanto à altura, os ensaios ocorreram em vários andares, desde o 1º pavimento (3 m) até o 15º pavimento (45 m). Foram realizados dois esquemáticos físicos para o ensaio. O primeiro possuía 18 m de altura e o sub-coletor com 36 m de comprimento, sendo o primeiro trecho com 16 m, duas conexões de 45º e o segundo trecho com 20 m de tubulação. O segundo sistema foi montado com 45 m de altura e somente tubulações retilíneas com comprimento de 20 m no total. Em ambos os casos as prumadas possuíam diâmetro 100 mm, o diâmetro do sub-coletor era de 125 mm e a inclinação de 1%.

Em relação aos aparelhos sanitários, os autores utilizaram bacias sanitárias de 6 L, 9 L e uma banheira com 170 L. Foi medido a vazão instantânea de cada aparelho e obteve-se o gráfico de vazão pelo tempo de cada tipologia, permitindo assim, retirar os dados de vazão média, máxima e tempo de descarga. Os ensaios foram feitos de forma independente para cada bacia ou de forma combinada com a banheira.

Por último, para as mídias, foram utilizadas três opções: a primeira com bolas de propileno; a segunda com mídias compostas de duas esponjas cilíndricas com 80 mm x 25 mm (comprimento x diâmetro), massa específica de 1050 kg/m³, e mais quatro papéis; a terceira mídia foi designada de pasta de feijão que era feita de forma manual e possuía massa específica de 1250 kg/m³.

Dentre as conclusões dos autores, as que mais interessam a este trabalho são: que as bolas de propileno não são suficientes para caracterizar o desempenho de transporte nesta tipologia de ensaio; que a distância percorrida pela pasta de feijão é maior de acordo com a altura que ocorre a descarga; e que o efeito do volume de descarga é maior para os pavimentos mais baixos.

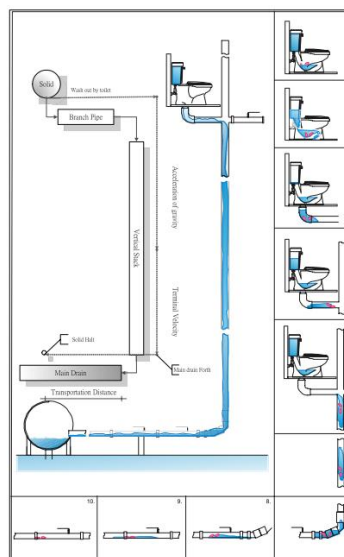
Oliveira Júnior (2002) desenvolveu sua pesquisa com foco em propor métodos a serem incorporados na normativa brasileira para avaliação do desempenho das bacias sanitárias e a partir destes métodos avaliar a redução do volume de bacias sanitárias de 9 L para 6 L. Os métodos de ensaios utilizados na pesquisa foram: análise das características geométricas; remoção de Sólidos (mídia composta e esferas de polipropileno); e transporte de sólidos (utilizando mídias de esponjas de poliuretano e esferas de polipropileno). Em todos os ensaios realizados foram utilizadas tubulações com diâmetro de 100 mm e inclinação de 1,0%. O autor apresentou uma série de recomendações à Norma Brasileira, algumas foram acatadas outras não. Para o ensaio de remoção de sólidos o autor indica a utilização de 12 esponjas de poliuretano e 6 folhas de papel kraft, totalizando assim 18 mídias. Já para o transporte de sólidos é utilizado esponjas como mídias, sendo que o autor indica a utilização de 12 esponjas. Além das proposições de ensaios, o autor chegou à conclusão que, para o Brasil, o volume da bacia sanitária deveria ser de 6,8 L.

Cheng *et al.* (2006) fizeram sua pesquisa como parte do desenvolvimento do código de regulamentação do Instituto de Pesquisa da Corporação de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Japão. O objeto da pesquisa foi estudar o sub-coletor. Para isso os autores realizaram ensaios com bacias sanitárias de 6 L e 9 L, inclinações de 1,0% e 0,5%, tubulações retilíneas com diâmetro de 125 mm e comprimento de 18 m. As descargas eram realizadas de alturas equivalentes a até 5 pavimentos, para isso foi utilizado uma torre de testes, apresentada na Figura 2.15. Os autores lançaram mão de esponjas como mídias dos testes e cada teste foi repetido 30 vezes. Além dos ensaios experimentais, Cheng *et al.* (2006) desenvolveram um método para prescrever a distância que os sólidos irão percorrer nas tubulações. As conclusões dos autores a respeito dos dados não são muito profundas e indicam somente que as bacias sanitárias de 9 L possuem melhor capacidade de transporte de sólidos.

Figura 2.15 - Torre de teste (a) e esquemático de escoamento (b). Fonte: Cheng *et al.* (2006)



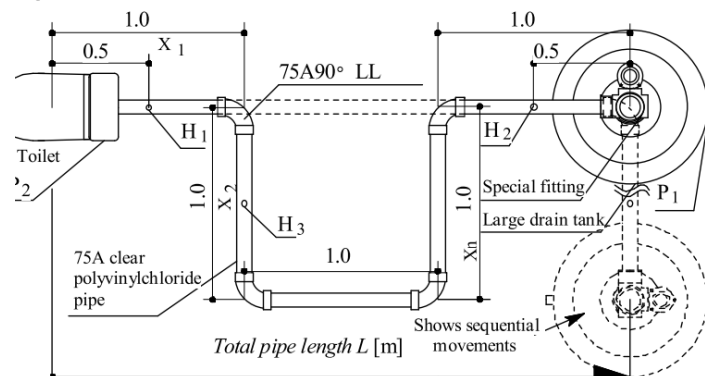
(a)



(b)

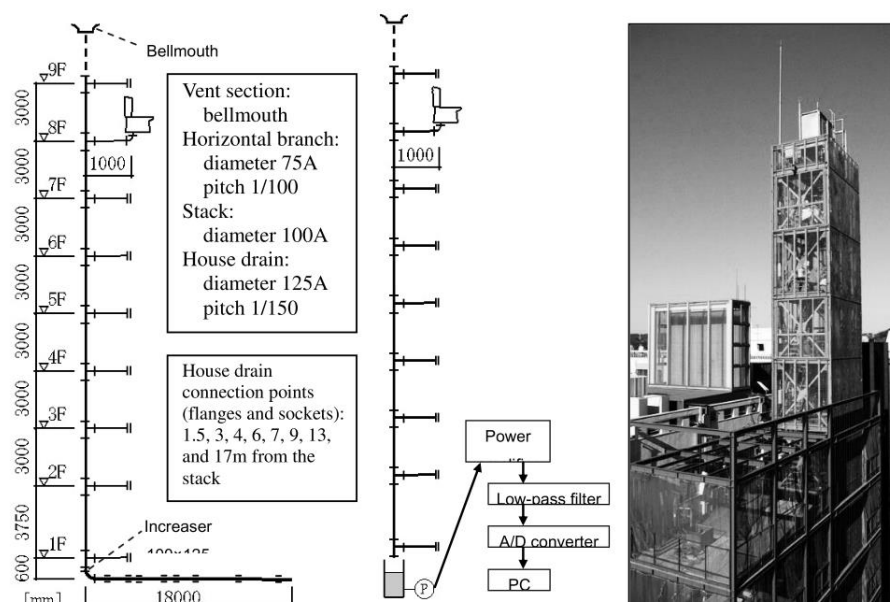
Ihii e Otsuka (2007) estudaram o desempenho de transporte do ramal de descarga da bacia sanitária, mas não somente em tubulações retilíneas, como pode ser visto na Figura 2.16. Os autores fizeram testes em redes que foram instaladas conexões de 90° longas a cada 1,0 m, perfazendo no máximo 16 m de comprimento. A inclinação utilizada nestes experimentos foi de 1%. Para as mídias foram utilizadas três opções, sendo elas: duas esponjas junto com quatro papéis amassados; somente papel dobrado; e por último, quatro esponjas e sete papéis amassados. O foco do trabalho era obter correlações entre o tipo de mídia e a quantidade de joelho com o comprimento da rede.

Figura 2.16 - Esquemático do ensaio presente em Ihii e Otsuka (2007). Fonte: Ihii e Otsuka (2007).



Em 2010, as empresas fabricantes de bacias sanitárias do Japão lançaram bacias com 4l de volume e Kobayashi e Otsuka (2012) estudaram o efeito de mais esta redução no volume das descargas das bacias sanitárias. O experimento utilizou uma torre de simulação com 9 andares e altura total de 25,35 m do ponto de descarga até o desvio, sendo que o diâmetro da prumada era de 100 mm, o esquemático e a torre são apresentadas na Figura 2.17. Os pontos de descarga foram instalados no 1º, 3º, 6º e 9º andar. Para as mídias foram utilizadas quatro opções, sendo que três delas são referentes às opções, a variação de quantidade de papel higiênico e a quantidade de vezes que estão dobradas; e a última é referente a utilização de duas esponjas PVA. Os testes foram repetidos cinco vezes quando utilizado as esponjas e duas vezes para os papéis. Dos resultados é importante citar que as mídias de papéis percorrem distâncias muito maiores do que as esponjas. Como principal conclusão, os autores afirmam que quanto maior a altura de descarga menor a vazão no sub-coletor.

Figura 2.17 - Torre e esquemático de testes presentes em Kobayashi e Otsuka (2012). Fonte: Kobayashi e Otsuka (2012).



diâmetros de 100 mm e 75 mm, inclinação de 0% e 1%, caixas acopladas com volumes de 4,8 L e 6 L e a presença do funcionamento de um chuveiro e um lavatório. Não foram utilizadas mídias no trabalho e sim a medição da velocidade da água dentro da tubulação em seções pré-estabelecidas. Os dados apresentados indicaram uma possível melhoria do desempenho, devido ao aumento da velocidade, para as tubulações de 75 mm em relação as de 100 mm. Também é apresentado um aumento da velocidade com a utilização de bacias sanitárias de 4,8 L.

Valencio (2017) realizou vários experimentos para avaliar a utilização de bacias sanitárias e caixas acopladas com volume de 4,8 L. Na pesquisa foram realizados ensaios presentes nas normas NBR 15491 ABNT (2010), A112.19.2 ASME (2013) e no trabalho Perc (2012) utilizando tubulações com diâmetro de 100 mm e inclinação de 1,0%. Também foi executado um estudo em campo, no qual avaliou-se o consumo e pontos de obstrução na rede. Chegou-se na conclusão que a utilização de bacias de 4,8 L não causa redução no consumo de água indicando o duplo acionamento das bacias para gerar a limpeza da rede. Também pode-se constatar o depósito de sólidos nas tubulações do sistema público depois da troca das bacias de 6,8 L pelas bacias de 4,8 L.

Mesmo com tantos ensaios e trabalhos a respeito das condições de fluxo e dos conceitos de tensão trativa, velocidade mínima e velocidade máxima, a NBR 8160/99 (ABNT, 1999) não utiliza destes conceitos, faz simplificações e restringe o dimensionamento do sistema predial de esgoto sanitário. Sendo algumas dessas simplificações e amarrações elencadas a seguir: impossibilidade de utilizar tubulações de 75 mm para instalações que possuam bacia sanitária; proibição de utilizar desvios com peças de 90°; dimensionamento hidráulico considerando somente fluxo permanente; não leva em consideração o comprimento da rede; e não leva em consideração a quantidade de conexões presentes na tubulação.

No Quadro 2.2 é apresentado um resumo de como as pesquisas citadas foram estruturadas, quais características físicas foram estudadas e quais variáveis analisadas.

Quadro 2.2 - Resumo das pesquisas experimentais.

Pesquisa	País onde realizou-se a pesquisa	Objeto de estudo	Volume BS. (L)	Vazão média (L/s)	Vazão máxima (L/s)	Inclinação (%)	Diâmetro (mm)	Mídia	Altura de descarga
(Shigefuji <i>et al.</i> , 1999)	Japão	Sub-coletor	6 e 9 L	1,13	1,76	-	-	Esfera de propileno / Esponjas / Mídias de feijão	De 3 a 45 m
Oliveira Júnior (2002)	Brasil	Ramal de descarga da Bacia Sanitária	6 e 9 L	N.I.	N.I.	1%	100 mm	Esfera de propileno / Esponjas / Papel Kraft	s/ altura
(Cheng <i>et al.</i> , 2006)	Taiwan	Sub-coletor	6 e 9 L	N.I.	N.I.	1% e 0,5%	125 mm	Esponjas	Equivalente a 5 pavimentos
Ihii e Otsuka (2007)	Japão	Ramal de descarga da Bacia Sanitária	-	1,19 a 1,82	1,24 a 2,18	-	-	Esfera de propileno / Esponjas / Papéis (Kraft e higiênico)	s/ altura
Kobayashi e Otsuka (2012)	Japão	-	-	1,88 a 2,23	1,91 a 2,39	-	-	Esponjas e Papel Higiênico	-
(Valencio, 2017)	Brasil	Ramal de descarga das bacias sanitárias	4,8 L	N.I.	N.I.	1,0%	100 mm	Esfera de propileno / Mídia de soja /	s/ altura

CAPÍTULO 3

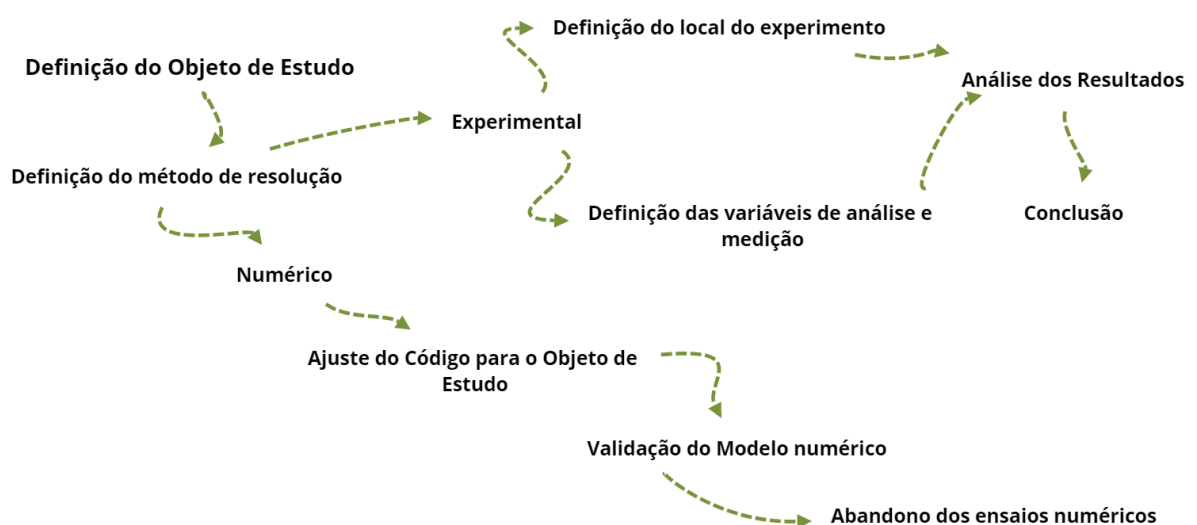
METODOLOGIA

Este trabalho buscou analisar o fenômeno em estudo lançando mão de um modelo computacional numérico e de ensaios experimentais. Neste capítulo é apresentado um breve resumo da formulação utilizada na concepção do método numérico. Também são descritos os problemas encontrados durante a tentativa de realização dos ensaios numéricos, que levaram a interrupção desta análise durante o seu desenvolvimento. Em seguida, discorre-se sobre os materiais e métodos utilizados na parte experimental desta pesquisa.

3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada a partir da necessidade de se conhecer mais sobre o comportamento do escoamento de esgoto dentro das instalações prediais. A partir desta necessidade, definiu-se o objeto de estudo e as ferramentas que seriam utilizadas para tal, numérica e experimental. A análise numérica foi interrompida pela dificuldade de validação do modelo numérico, visto que, os processamentos demandavam um alto gasto computacional de tempo. Deste modo a pesquisa continuou apenas com a análise do problema de forma experimental. Na Figura 3.1 pode-se observar como se deu o delineamento desta pesquisa.

Figura 3.1 - Delineamento da pesquisa.



3.2. ANÁLISE NUMÉRICA

Os métodos numéricos com malha são aqueles que discretizam o domínio físico em regiões onde as equações de balanço devem ser satisfeitas. Estes métodos numéricos utilizam na maioria das vezes de formulação Euleriana. Os métodos mais comuns que utilizam dessas técnicas são: Método das Diferenças Finitas (MDF), Método dos Volumes Finitos (MVF), Método dos Elementos Finitos (MEF) e Método dos Elementos de Contorno (MEC).

Os métodos sem malha definida são caracterizados pela inexistência de malhas. Assim o domínio físico é definido por uma porção de partículas que não possuem nenhum tipo de conectividade entre si. Esses métodos apresentam grande facilidade de representar as fronteiras físicas que possuem geometrias mais complexas, pois estas também são representadas por partículas. Por outro lado, as representações das condições de contorno não são tão fáceis de serem definidas e devem ser utilizadas técnicas próprias para representá-las (VASCO, 2014).

Existem alguns métodos sem malha definida, dentre eles o código que tentou-se implementar neste trabalho é baseado no Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), no qual resolve as equações de movimento, de continuidade, de estado, de deslocamento das partículas, de condição de contorno da fronteira, de viscosidade artificial, de núcleo de suavização, de comprimento de suavização, de correções de instabilidades e de evolução temporal. Os resumos das equações estão descritos nos parágrafos a seguir.

As equações de quantidade de movimento, da continuidade e de estado para pressão são as mesmas presentes em Vasco (2014) e representada pelas equações (3.1), (3.2) e (3.3).

$$\frac{d\vec{u}_i}{dt} = - \sum_j m_j \left(\frac{p_i + p_j}{\rho_i \rho_j} \right) \vec{\nabla}_i W_{ij} \quad (3.1)$$

$$\frac{d\vec{\rho}_i}{dt} = \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} \vec{u}_{ij} \cdot \vec{\nabla}_i W_{ij} \quad (3.2)$$

$$p_i = \frac{c^2 \rho_0}{7} \left[\left(\frac{\rho_i}{\rho_0} \right)^7 - 1 \right] \quad (3.3)$$

O deslocamento das partículas é regido pela equação (3.4) (Monaghan e Kos, 1999) sendo que, para melhorar a estabilidade deste, acrescenta-se um termo, descrito na equação (3.5).

$$\frac{d\vec{r}_i}{dt} = \vec{u}_i \quad (3.4)$$

$$\Delta \vec{u}_i = \varepsilon \sum_j m_j \frac{\vec{u}_{ij}}{\rho_j} W_{ij} \quad (3.5)$$

A condição de contorno da fronteira é simulada a partir do método de fronteira imersa apresentada em Monaghan e Kajtar (2009), sendo que as massas das partículas são iguais, o que resulta na equação (3.6).

$$\vec{f}_{ik} = \frac{k}{\beta} \vec{r}_{ij} W(r_{ik}/h) / (|\vec{r}_{ik}| - d)^2 \quad (3.6)$$

A formulação da viscosidade artificial é definida pela equação (3.7), apresentada em Kajtar e Monaghan (2008). A equação do núcleo de suavização é apresentado na equação (3.8) (Monaghan e Kajtar, 2009). E o comprimento de suavização é o representado pela equação (3.9)

$$\Pi_{ij} = - \frac{\alpha v_{sig} \vec{u}_{ij} \cdot \vec{j}}{\bar{\rho}_{ij} r_{ij}} \quad (3.7)$$

$$W(s) = \begin{cases} \frac{7}{64\pi h^2} (1 + 2s)(2 - s)^4, & \text{se } s = \frac{r}{h} < 2 \\ 0, & \text{se } s = \frac{r}{h} > 2 \end{cases} \quad (3.8)$$

$$h = 1,5 \, dx \quad (3.9)$$

Para retirar os efeitos da instabilidade de tensão adota-se a equação (3.10) apresentada em Monaghan (2000),

$$R_{ij} = \left(e_1 \frac{|p_i|}{\rho_i \rho_j} + e_2 \frac{|p_j|}{\rho_i \rho_j} \right) \left(\frac{W(r_{ij})}{W(\Delta x)} \right)^4 \quad (3.10)$$

Deste modo a equação da quantidade de movimento é representada pela equação (3.11) sendo que nela não está considerada as forças de corpo nem a condição de fronteira.

$$\frac{d\vec{u}_i}{dt} = - \sum_j m_j \left(\frac{p_i + p_j}{\rho_i \rho_j} + \Pi_{ij} + R_{ij} \right) \vec{v}_i W_{ij} \quad (3.11)$$

Por último para a evolução temporal é utilizado o método Verlet apresentado em Vasco (2014).

A validação dos resultados numéricos deve ser feita para o comportamento do escoamento, considerado fluidos viscosos, para o comportamento do sólido e a interação entre o sólido e o fluido. O comportamento do fluido pode ser comparado com pesquisas experimentais, por exemplo os dados presentes em Martin e Moyce (1952) e Minussi (2007). O comportamento

do sólido deve ser validado de acordo com os princípios da mecânica, comparando com resultados de efeitos que podem ser resolvidos analiticamente, por exemplo, abandono de um corpo rígido em uma superfície inclinada com a variação da inclinação. E a interação entre sólido e fluido deve ser feita para condições dinâmicas e condições estáticas.

3.2.1. Problemas encontrados nos experimentos numéricos

O efeito do impacto das partículas na peça do desvio do tubo de queda é de extrema importância devido às grandes velocidades que as partículas adquirem no trecho vertical. Caso seja utilizado uma quantidade pequena de partículas com espaçamento de tempo grande, as partículas experimentarão forças cujas intensidades são incompatíveis com a condição de contorno na fronteira. Assim, é necessária uma grande quantidade de partículas e um espaçamento de tempo pequeno, para que o comportamento fosse plausível de ser comparado com a realidade, fazendo com que o tempo de processamento seja muito grande nas máquinas disponíveis.

Além do impacto na peça de desvio, a validação da interação dinâmica entre sólido e fluido não foi possível de ser implementada, pois as simulações numéricas com este efeito geravam comportamentos sem confiabilidade física. Sendo estas as grandes velocidades e a pouca desaceleração, fazendo-se necessário aumentar o tamanho da rede para verificar quando o sólido iria parar de se mover, mas como o código não estava preparado para redes muito extensas e só foi identificada a necessidade durante o desenvolvimento dessa dissertação, não foi possível ajustar o mesmo para fazer este teste. Além disso, tal limitação estende-se a grande quantidade de partículas de parede que impactariam também no tempo de processamento de cada ensaio numérico.

Com o tempo de processamento extenso, na ordem de quatro semanas para cada processamento, a validação de alguns conceitos físicos ficou inviável, restando somente duas alternativas, não validar os efeitos físicos ou não concluir o código. Desta, maneira chegou-se à conclusão que seria melhor partir para a análise experimental do problema e abandonar a análise numérica.

3.3. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Nesta seção são apresentados o objeto de estudo da análise experimental, os materiais utilizados e as variáveis que foram analisadas. Também são descritas as variáveis que foram medidas durante o experimento.

3.3.1. Caracterização do objeto de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa trata-se da avaliação do fluxo de esgoto no desvio de uma prumada de esgoto que estava sendo instalada em uma obra em andamento.

O ensaio executado consiste em realizar a descarga de água e mídias a partir de alturas definidas previamente, filmando o escoamento dentro do sub-coletor. Para permitir as filmagens, utilizou-se de tubos acrílicos transparentes. Posteriormente com esses vídeos, foi possível retirar os resultados apresentados nos próximos tópicos.

Os ensaios foram realizados numa obra que está localizada na cidade de Goiânia-GO. Ela possui 3 subsolos, térreo, 2 pavimentos garagens, pavimento lazer, 29 pavimentos tipos, com 8 apartamentos cada mais o pavimento de penthouse. Em função de certos pontos, como: o local para instalar o desvio, a etapa executiva da obra; e a facilidade de acesso à água, definiu-se para os ensaios a prumada do lavabo do apartamento final oito, marcada na planta da Figura 3.2. A construtora responsável concordou com a realização dos ensaios.

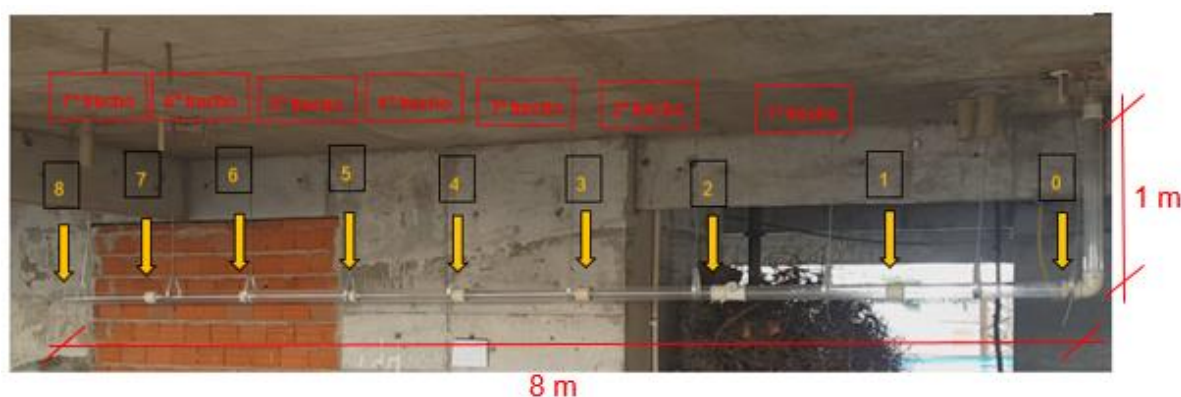
Figura 3.2 - Apartamento tipo final 08.



3.3.2. Montagem do protótipo de teste

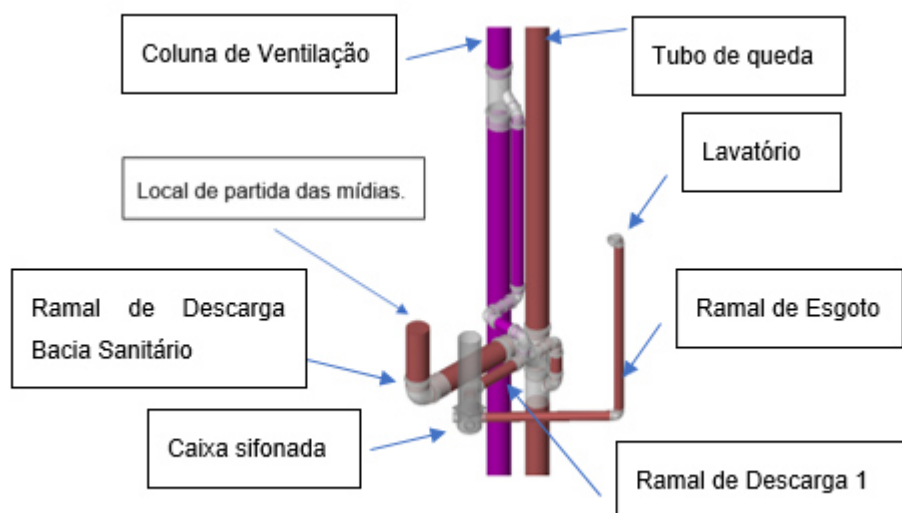
No teto do quarto pavimento da edificação, pavimento laje, montou-se o sub-coletor da prumada onde foram realizadas as medições. Para este desvio, foram utilizados nove metros de tubulações de 100 mm de acrílico, sendo que um metro foi instalado na continuação da prumada e outros oito metros instalados após o desvio. Em todos os casos a inclinação foi de 1 % executada com o auxílio de nível a laser. O sub-coletor foi separado em trechos, apresentados na Figura 3.3, que mostra os trechos para o sub-coletor instalado de forma linear. As outras conexões instalada no desvio da prumada para o sub-coletor e as configurações do sub-coletor são ilustrados nas Figura 3.10 a Figura 3.21.

Figura 3.3 – Sub-coletor instalado de forma linear com as marcações dos pontos e trechos.



O esgoto que a obra estava executando em cada pavimento é composto por tubulação de 100 mm com inclinação de 1% e destinada diretamente para a prumada, sem conexão ou desvios, e possui a conformação da Figura 3.4.

Figura 3.4 - Tubulação da bacia sanitária no qual as mídias eram instaladas.



Para a simulação das descargas não foi possível a utilização de bacias sanitárias, deste modo, desenvolveu-se um dispositivo que possui graduação para volumes de uma, duas e três descargas de seis litros cada uma. Este dispositivo é apresentado na Figura 3.5. O galão foi instalado a 1 m por ter sido a altura calculada, por método de tubos curtos, no qual teria as vazões médias mais próximas de uma bacia sanitária.

Figura 3.5 - Dispositivo de descarga



Para a medição da vazão de cada volume do dispositivo, foram feitos três ensaios aferindo-se assim a vazão média de cada uma. Para padronização das graduações foram realizadas marcações a partir da inserção dos volumes pré-definidos dentro dele. A abertura do dispositivo era feita de maneira manual através do registro de esfera instalado na tubulação de saída.

A vazão média foi calculada medindo o tempo necessário para o completo esvaziamento das graduações pré-definidas. Como não foi feita a medição da curva de vazão a comparação com a vazão de uma bacia sanitária não pode ser feita de forma exata. Mas como o objeto de estudo é o sub-coletor adotou-se que a curva de vazão não iria impactar no comportamento dele, pois o tubo de queda irá padronizar essa comparação. Na Tabela 3.1 são apresentadas as medições de cada ensaio e a vazão média do dispositivo para cada graduação.

Tabela 3.1 - Vazão média disponibilizada pelo dispositivo de descarga.

	1	2	3	média
Q1 (l/s)	0,90	1,13	1,19	1,08
Q2 (l/s)	1,90	2,11	1,91	1,97
Q3 (l/s)	2,31	2,09	2,71	2,37

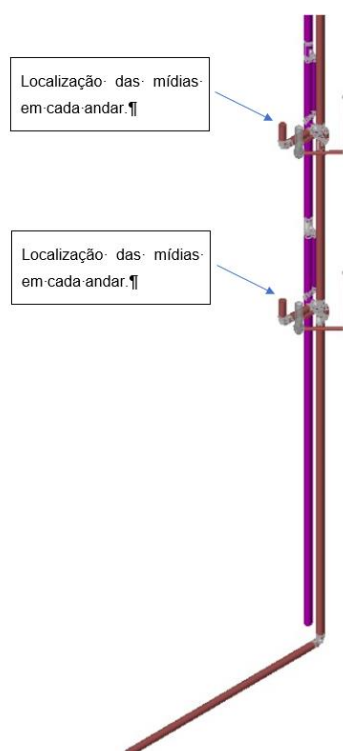
Como mídia, foram utilizadas esponjas de poliuretano de massa específica de 20 kg/m^3 , cortadas manualmente com dimensões de $5 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ (comprimento x largura x altura). Na Figura 3.6 observa-se as mídias utilizadas.

Figura 3.6 – Mídias utilizadas na pesquisa.



Para cada ensaio empregou-se 20 esponjas imersas em água a pelo menos 30 minutos e colocadas diretamente dentro da rede de esgoto, sendo impulsionadas pela descarga de água proveniente do dispositivo apresentado anteriormente. Na Figura 3.7 é exemplificado a conformação da prumada, o sub-coletor de forma linear e a localização inicial das esponjas.

Figura 3.7 - Tubo de queda e sub-coletor de forma linear.



Para a medição dos ensaios, foram realizados filmes utilizando a câmera do celular S9 da marca Samsung do próprio autor. O vídeo possuiu gravação em 4K e 60 frames por segundo (FPS). A câmera foi instalada em local onde era possível gravar todo o comprimento da rede e com o auxílio de um tripé para a estabilização do vídeo.

3.3.3. Variáveis medidas

As variáveis medidas para o desenvolvimento desta pesquisa foram as seguintes:

- Velocidade média das mídias em cada trecho:
 - Medido a partir do tempo que a primeira mídia demora para perfazer cada trecho, que possui tamanho conhecido;
 - Devido à dificuldade de definir a posição inicial de cada ensaio a velocidade do ponto 0 até o ponto 1 não foi levantada e foi desconsiderada.
- Retenção de mídias no sub-coletor;
- Altura da lâmina d'água sub-coletor.

3.3.4. Cenários estudados

Os cenários estudados apresentaram variações nos seguintes parâmetros: vazão e volume de descarga, conexões instaladas no desvio do tubo de queda para o sub-coletor, altura no qual a descarga é realizada e a configuração do sub-coletor. Estas variáveis estão elencadas a seguir juntamente com o código para facilitar a apresentação dos resultados:

- Vazão e volume de descarga- (Q):
 - 1,08 L/s – 6 L - (Q1);
 - 1,97 L/s– 12 L – (Q2);
 - 2,20 L/s – 18 L – (Q3);
- Conexões instaladas no desvio do tubo de queda para o sub-coletor – (CP):
 - Joelho série normal de 90° - (J90);
 - 2 Joelhos série normal de 45° - (2J45);
 - Curva série reforçada de 87°30' – (C87);
- Altura na qual a descarga é realizada – (H):
 - 6º pavimento – Altura de 6,78 m em relação ao desvio – (6PAV);
 - 9º pavimento – Altura de 15,45 m em relação ao desvio – (9PAV);
 - 11º pavimento – Altura de 21,23 m em relação ao desvio – (11PAV);
 - 17º pavimento – Altura de 38,57 m em relação ao desvio – (17PAV).
- Configuração do sub-coletor – (D):

- Linear – (L);
- Dois desvios horizontais de 90°, utilizando duas curvas de 90° longa – (2C90L);
- Dois desvios horizontais de 90°, utilizando duas curvas de 90° curta – (2C90C);
- Dois desvios horizontais de 90°, utilizando quatro joelhos de 45° - (4J45);
- Dois desvios horizontais de 45°, utilizando dois joelhos de 45° - (2J45).

A definição da quantidade de descargas perpassou da necessidade de verificar o impacto do possível uso simultâneo na rede. Assim, definiram-se valores de vazões compatíveis com a quantidade de descargas de uma bacia sanitária em uso simultâneo. Já as conexões instaladas no desvio foram definidas pela possibilidade de utilização nas obras. Sendo que, as três peças podem ser utilizadas e se diferem pela angulação, permitindo assim, avaliar o impacto que o ângulo da peça pode gerar na velocidade média. A curva longa não foi utilizada devido à dificuldade de instalação em obra, pois ela ocupa muito espaço e impacta no pé direito dos ambientes instalados, inviabilizando assim seu emprego. Já a utilização da curva de raio curto foi descartada pela proximidade de comportamento com a curva série reforçada 87°30'.

A definição da altura de descarga ocorreu por conta da necessidade de verificar a influência da velocidade terminal e da altura na edificação. Deste modo, os ensaios foram instalados em andares que tivessem a possibilidade de verificar a influência da velocidade terminal e no andar mais alto que era possível executar a instalação, pois a obra ainda estava em andamento e a prumada não estava completamente instalada.

As configurações do sub-coletor foram definidas por conta da exigência da NBR 8160 (ABNT, 1999) de não poder utilizar peças de 90° para desvios horizontais. Sendo assim, utilizou-se o ensaio sem desvio horizontal (linear) e a composição dos desvios com peças de 90° e 45°, sendo possível a comparação entre os ensaios.

As combinações resultantes estão presentes no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 -Combinações de ensaios realizados.

Q – Vazão de descarga	CP – Conexões instaladas no desvio do Tubo de Queda para o sub-coletor	H – Altura de onde ocorre a descarga das mídias	D – Configuração do sub-coletor.	Quantidade de combinações
Q1 / Q2 / Q3	J90	6 PAV / 9 PAV / 11 PAV / 17 PAV	L	12
Q1 / Q2 / Q3	2J45 / C87	6 PAV / 11 PAV / 17 PAV	L	18
Q1 / Q2 / Q3	C87	17PAV	2C90L / 2C90C / 4J45 / 2J45	12

Para todas as combinações foram feitos três ensaios e utilizado a média para representar cada ensaio. Sendo assim, foram realizados 126 ensaios ao todo.

Nas Figura 3.8 a Figura 3.21 são ilustradas as disposições físicas de cada configuração.

Figura 3.8 - Configuração Linear (L) do sub-coletor com a utilização de joelho de 90°. J90-L.



Figura 3.9- Instalação de joelho de 90°. J90-L.



Figura 3.10- Configuração Linear (L) do sub-coletor com a utilização de dois joelhos de 45°. J45-L.



Figura 3.11- Instalação de dois joelhos de 45°. J45-L.



Figura 3.12- Configuração Linear (L) do sub-coletor com a utilização de curva 87°30". C87-L.



Figura 3.13 - Instalação de curva 87°30". C87.



Figura 3.14 - Configuração do sub-coletor com utilização de duas curvas curtas de 90°. Utilização de curva 87°30" na mudança do tubo de queda para o sub-coletor. 2C90C.



Figura 3.15 – Instalação desvio horizontal com duas curvas curtas de 90°. 2C90C.



Figura 3.16 - Configuração do sub-coletor com utilização de duas curvas longas de 90°. Utilização de curva 87°30" na mudança do tubo de queda para o sub-coletor.. 2C90L.



Figura 3.17 - Instalação do desvio horizontal com duas curvas curtas de 90°. 2C90L.



Figura 3.18 - Configuração do sub-coletor com utilização de quatro joelhos de 45°. Utilização de curva 87°30" na mudança do tubo de queda para o sub-coletor. 4J45.



Figura 3.19 - Instalação com dois desvios horizontais de 90° cada com dois joelhos de 45° cada. 4J45.



Figura 3.20 - Configuração do sub-coletor com utilização de dois joelhos de 45°. Utilização de curva 87°30" na mudança do tubo de queda para o sub-coletor Utilização de curva 87°30". 2J45.



Figura 3.21 – Instalação de dois desvios de 45° cada com a utilização de um joelho de 45° em cada desvio. 2J45.



3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados foram analisados de seis maneiras diferentes para atender aos objetivos do trabalho. Eles são apresentados no Capítulo 4 e foram separados em função do tipo de avaliação, sendo elas:

1 – Influência da vazão na velocidade média de transporte da mídia: realizou-se a tabulação dos dados de velocidade média por trecho das mídias fixando as variáveis de conexão do desvio do tubo de queda para o sub-coletor, a altura que ocorreu a descarga e a configuração do sub-coletor, variando somente o valor da vazão. Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos no item 4.1.

2 – Influência da altura na qual a descarga é realizada na velocidade média de transporte das mídias: análise realizada com a fixação dos parâmetros de vazão, conexão do desvio do tubo de queda para o sub-coletor e a configuração do sub-coletor variando somente a altura que ocorreu a descarga. Obteve-se os valores da velocidade média das mídias e estes são apresentados no item 4.2 em forma de gráficos e tabelas.

3 – Influência da configuração das conexões instaladas no desvio do tubo de queda para o sub-coletor na velocidade média: esta análise foi executada com a fixação da vazão, na configuração do sub-coletor, a altura que ocorreu a descarga e a variação ocorre somente na conexão do desvio do tubo de queda para o sub-coletor. Os resultados da velocidade média das mídias são apresentados em tabelas e gráficos no item 4.3. Como forma de comparar as conexões realizou-se uma pontuação para cada conexão, baseada nos valores de velocidade e apresentada no item 4.3.

4 – Influência da configuração do sub-coletor na velocidade média: para esta análise foi utilizado os dados realizados no 17º pavimento e com a utilização da curva 87°30 instalada no desvio do tubo de queda para o sub-coletor. Neste caso variou-se a vazão e a configuração do sub-coletor. Os valores de velocidade média das mídias são comparados entre si e com os valores do ensaio com o sub-coletor instalado de forma linear. Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos no item 4.4. Neste requisito também foi realizado o ranqueamento das pontuações que cada conexão obteve e apresentado na tabela resumo ao final do item.

5 – Influência da altura que ocorre a descarga, da vazão e da configuração do sub-coletor na retenção de mídias: neste item, a retenção de mídias é tratada como a pausa total ou parcial das mídias dentro da rede. As posições de paradas são apresentadas por trecho, em formato de tabela juntamente com as velocidades dos ensaios e das imagens indicando o trecho onde ocorre a obstrução. Estas imagens e tabelas são apresentadas no item 4.5.

6 - Influência da altura na qual ocorre a descarga e da vazão na altura da lâmina d'água: foi analisada de forma visual qualitativa. Sendo os resultados apresentados em sequência de fotos dos ensaios. Não foi realizada medição da altura da lâmina d'água. Os resultados estão presentes no item 4.6 e no Anexo.

Em todos os casos de análise onde as tabelas não tiverem resultados no primeiro trecho é por conta da posição inicial das mídias, no qual elas estão a frente do primeiro trecho. Já os últimos trechos que não tiverem resultados é porque todas as três repetições tiveram retenção antes do trecho analisado e assim a velocidade não pode ser calculada. Nos casos das colunas de comparação que não tiverem resultados, em branco, é porque os resultados de comparação não foram obtidos. E as colunas de comparação que tiverem marcadas com traço (-) não tiveram os valores calculados por não ter sido de interesse de análise.

3.5. LIMITAÇÕES

O trabalho possui as seguintes limitações:

- Não utilização de bacias sanitárias para realizar as descargas nos pavimentos;
- Utilização de acrílico no sub-coletor, sendo que o material mais comum é PVC e estes não possuem coeficiente de rugosidade iguais, no qual atrapalha na análise de retenções de mídias;
- Ensaio realizado em obra, com qualidade da água não controlada;
- Tubulações tiveram que ser removidas e montadas ao longo dos quatro finais de semana;
- Somente as mídias de poliuretano tiveram condições de serem testadas devido a conveniência de encontrar as mesmas no mercado;

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados e as análises da velocidade média de transporte das mídias em cada trecho, da altura da lâmina d'água e da retenção de mídias na tubulação. Sendo os parâmetros que influenciam esses resultados a vazão de descarga, a altura de onde ocorre a descarga, as conexões do desvio da prumada e as configurações do sub-coletor.

4.1. INFLUÊNCIA DA VAZÃO NA VELOCIDADE MÉDIA DE TRANSPORTE DA MÍDIA

Para avaliação da influência da vazão na velocidade média, foi realizado a tabulação dos dados fixando a conexão de desvio da prumada, a altura na qual ocorre a descarga e a configuração do sub-coletor de forma linear, variando somente a vazão. São apresentados em tabelas os seguintes resultados de velocidades de transporte das mídias para cada ensaio: valores médios para cada trecho; valores médios, máximos e mínimos de todos os trechos; as diferenças em valores absolutos e percentuais, entre as velocidades máximas e mínimas. Nas tabelas, onde lê-se Q2/Q1 ou Q3/Q1, tem-se a relação percentual entre a diferença da velocidade de Q2 por Q1 ou Q3 por Q1, em relação ao ensaio Q1.

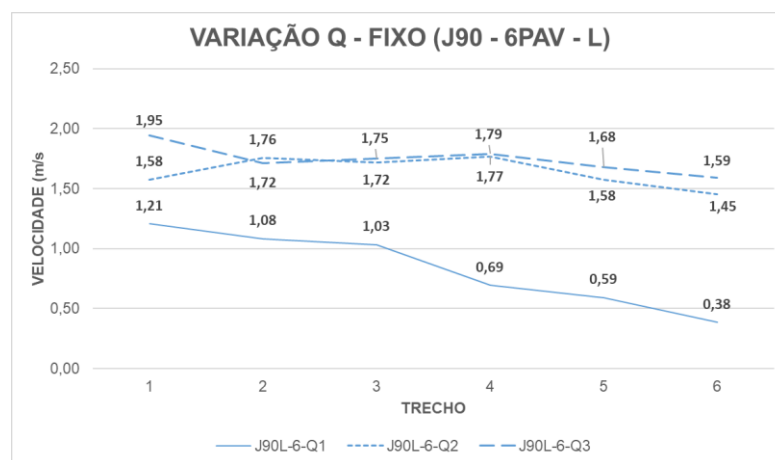
Na Tabela 4.1 e Figura 4.1 são apresentados os dados de velocidade de cada trecho com a utilização de joelho de 90° na conexão do desvio da prumada, com o sub-coletor de forma linear e com o ensaio ocorrendo no 6º pavimento.

Tabela 4.1 – Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão,
fixando: J90, linear e 6º pavimento (em m/s).

Trecho	J90L-6-Q1	J90L-6-Q2	J90L-6-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1	1,21	1,58	1,95	31%	61%
2	1,08	1,76	1,72	62%	58%
3	1,03	1,72	1,75	67%	70%
4	0,69	1,77	1,79	156%	159%
5	0,59	1,58	1,68	166%	183%
6	0,38	1,45	1,59	278%	315%
Média	0,83	1,64	1,75	127%	141%
Máx (m/s)	1,21	1,77	1,95	278%	315%
Mín (m/s)	0,38	1,45	1,59	62%	58%
Máx - Mín (m/s)	0,82	0,32	0,35	-	-
Máx - Mín (%)	68%	18%	18%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.1 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 6º pavimento.



Percebe-se que as velocidades para a vazão Q1 são menores do que para as vazões Q2 e Q3, em média 127% e 141% menores, respectivamente. Já os ensaios provenientes das vazões Q2 e Q3 possuem valores próximos. Além disso, a velocidade do ensaio Q1 possui a maior desaceleração, representada pela diferença entre o valor mínimo e máximo, sendo este de 68%. Isso pode indicar maior suscetibilidade a entupimentos na rede.

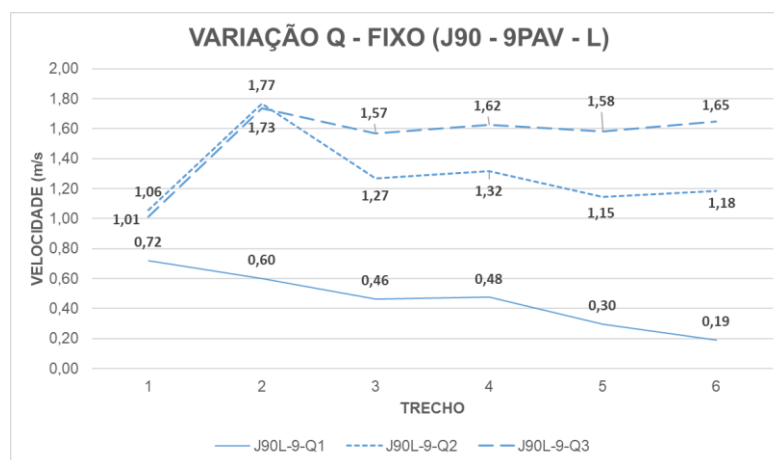
Na Tabela 4.2 e Figura 4.2 observa-se os mesmos dados ocorridos com a descarga ocorrendo do 9º pavimento.

Tabela 4.2 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 9º pavimento (em m/s).

Trecho	J90L-9-Q1	J90L-9-Q2	J90L-9-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1	0,72	1,06	1,01	47%	40%
2	0,60	1,77	1,73	194%	189%
3	0,46	1,27	1,57	174%	238%
4	0,48	1,32	1,62	177%	242%
5	0,30	1,15	1,58	287%	435%
6	0,19	1,18	1,65	519%	761%
Média	0,46	1,29	1,53	233%	317%
Máx (m/s)	0,72	1,77	1,73	519%	761%
Mín (m/s)	0,19	1,15	1,53	174%	189%
Máx - Mín (m/s)	0,53	0,62	0,21	-	-
Máx - Mín (%)	73%	35%	12%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.2 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 9º pavimento.



Assim como no 6º pavimento, as velocidades provenientes do ensaio Q1 são menores do que nos ensaios Q2 e Q3. Novamente o ensaio Q1 é o que possui maior desaceleração. Ao contrário do que acontece no sexto pavimento, há diferença entre as velocidades de Q2 e Q3, indicando uma influência do pavimento de ensaio no comportamento da velocidade.

Os dados de velocidade para o 11º pavimento são apresentados na Tabela 4.3 e Figura 4.3. Já a Tabela 4.4 e Figura 4.4 apresentam os dados para o 17º pavimento.

Tabela 4.3 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 11º pavimento (em m/s).

Trecho	J90L-11-Q1	J90L-11-Q2	J90L-11-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1	0,52	0,63		20%	
2	0,38	1,12	1,55	196%	311%
3	0,38	1,17	1,72	210%	355%
4	0,17	1,17	1,68	596%	902%
5	0,16	0,95	1,28	482%	680%
6	0,09	0,99	1,37	970%	1386%
Média	0,28	1,00	1,52	413%	727%
Máx (m/s)	0,52	1,17	1,72	970%	1386%
Mín (m/s)	0,09	0,95	1,28	196%	311%
Máx - Mín (m/s)	0,43	0,22	0,44	-	-
Máx - Mín (%)	82%	19%	26%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.3 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 11º pavimento.

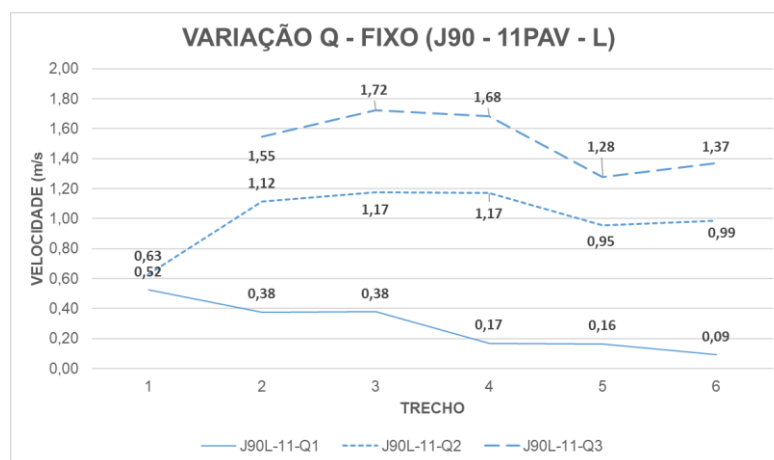
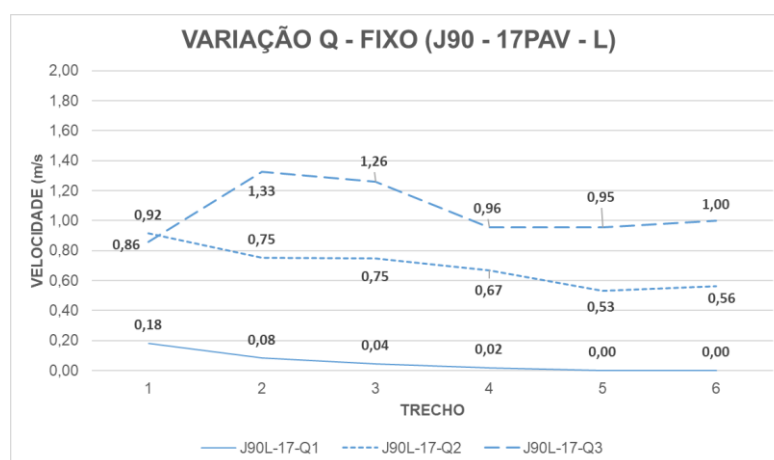


Tabela 4.4 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 17º pavimento (em m/s).

Trecho	J90L-17-Q1	J90L-17-Q2	J90L-17-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1	0,18	0,92	0,86	403%	370%
2	0,08	0,75	1,33	818%	1520%
3	0,04	0,75	1,26	1591%	2751%
4	0,02	0,67	0,96	3588%	5159%
5		0,53	0,95		
6		0,56	1,00		
Média	0,08	0,70	1,06	1600%	2450%
Máx (m/s)	0,18	0,92	1,33	3588%	5159%
Mín (m/s)	0,02	0,53	0,95	818%	1520%
Máx - Mín (m/s)	0,16	0,38	0,37	-	-
Máx - Mín (%)	90%	42%	28%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.4 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J90, linear e 17º pavimento.



Assim como nas tabelas anteriores a velocidade para a vazão Q1 é menor do que as velocidades para as vazões Q2 e Q3. No caso do 17º pavimento, as velocidades médias se

aproximam de zero devido à retenção de mídias dentro da rede. No item 4.5 a retenção de mídias dentro da rede será abordada de forma mais detalhada.

Os resultados obtidos para os ensaios com a curva 87°30" instalada no desvio da prumada, referente as descargas ocorrendo no sexto pavimento, são apresentados na Tabela 4.5 e Figura 4.5. Já os resultados presentes na Tabela 4.6 e Figura 4.6 são referentes as descargas que ocorreram no 11° pavimento. Os ensaios do 17° pavimento estão presentes na Tabela 4.7 e Figura 4.7. Em todos os casos o sub-coletor foi instalado de forma linear.

Tabela 4.5 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 6º pavimento (em m/s).

Trecho	C87L-6-Q1	C87L-6-Q2	C87L-6-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1	1,17				
2	1,64	2,20	1,82	34%	11%
3	1,37	1,99	2,22	45%	63%
4	1,09	1,90	2,01	74%	84%
5	0,75	1,75	1,72	134%	130%
6	0,45	1,60	1,62	257%	263%
Média	1,08	1,89	1,88	109%	110%
Máx (m/s)	1,64	2,20	2,22	257%	263%
Mín (m/s)	0,45	1,60	1,62	34%	11%
Máx - Mín (m/s)	1,19	0,60	0,60		
Máx - Mín (%)	73%	27%	27%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.5 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 6º pavimento.

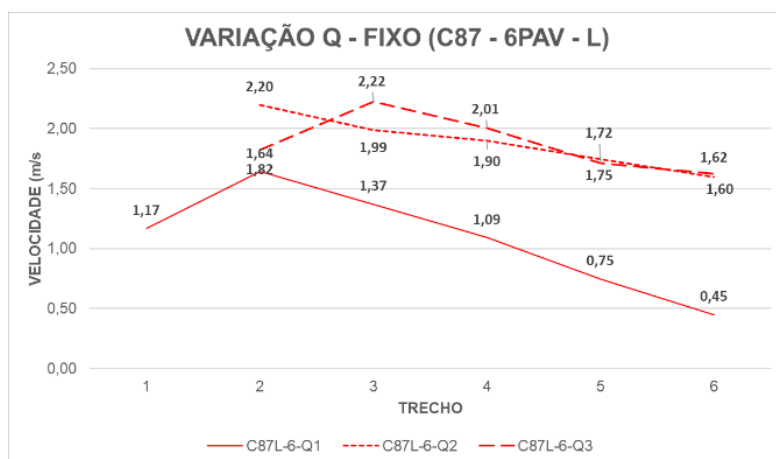


Tabela 4.6- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 11º pavimento (em m/s).

Trecho	C87L-11-Q1	C87L-11-Q2	C87L-11-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1					
2	0,67				
3	0,70	0,92	1,83	31%	161%
4	0,32	1,34	2,06	326%	554%
5	0,33	1,22	2,10	270%	537%
6	0,23	1,16	1,74	398%	646%
Média	0,45	1,16	1,93	257%	474%
Máx (m/s)	0,70	1,34	2,10	398%	646%
Mín (m/s)	0,23	0,92	1,74	31%	161%
Máx - Mín (m/s)	0,47	0,42	0,36		
Máx - Mín (%)	67%	31%	17%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.6- Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 11º pavimento.

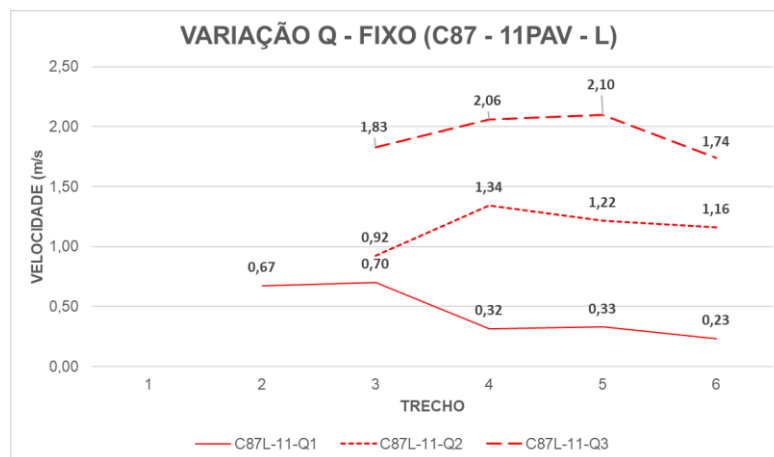
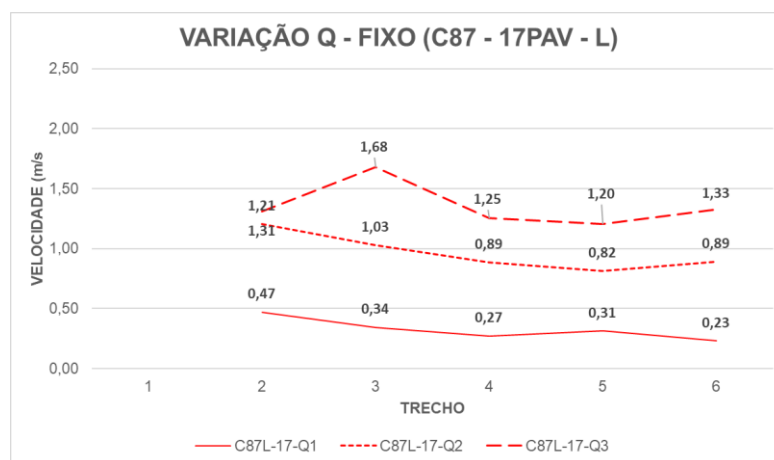


Tabela 4.7- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 17º pavimento (em m/s).

Trecho	C87L-17-Q1	C87L-17-Q2	C87L-17-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1					
2	0,47	1,21	1,31	157%	180%
3	0,34	1,03	1,68	202%	391%
4	0,27	0,89	1,25	226%	361%
5	0,31	0,82	1,20	162%	286%
6	0,23	0,89	1,33	289%	479%
Média	0,32	0,97	1,35	207%	339%
Máx (m/s)	0,47	1,21	1,68	289%	479%
Mín (m/s)	0,23	0,82	1,20	157%	180%
Máx - Mín (m/s)	0,24	0,39	0,47		
Máx - Mín (%)	51%	32%	28%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.7- Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 17º pavimento.



Os resultados dos ensaios com a utilização de dois joelhos de 45° no desvio da prumada, para a descarga ocorrendo no 6º pavimento, estão presentes na Tabela 4.8 e Figura 4.8. Na Tabela 4.9 e Figura 4.9 estão apresentados os resultados referente a descarga ocorrendo no 11º pavimento. Por último os ensaios do décimo sétimo pavimento estão descritos na Tabela 4.10 e Figura 4.10. Novamente, em todos os casos a configuração do sub-coletor é a linear.

Tabela 4.8- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J45, linear e 6º pavimento (em m/s).

Trecho	J45L-6-Q1	J45L-6-Q2	J45L-6-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1					
2	1,57	2,08	2,37	32%	51%
3	1,43	2,20	2,07	54%	45%
4	1,25	1,92	2,13	54%	71%
5	0,90	1,80	1,94	99%	115%
6	0,68	1,58	1,76	134%	161%
Média	1,17	1,91	2,06	74%	89%
Máx (m/s)	1,57	2,20	2,37	134%	161%
Mín (m/s)	0,68	1,58	1,76	32%	45%
Máx - Mín (m/s)	0,90	0,62	0,61	-	-
Máx - Mín (%)	57%	28%	26%		

*Unidades em m/s

Figura 4.8 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J45, linear e 6º pavimento.

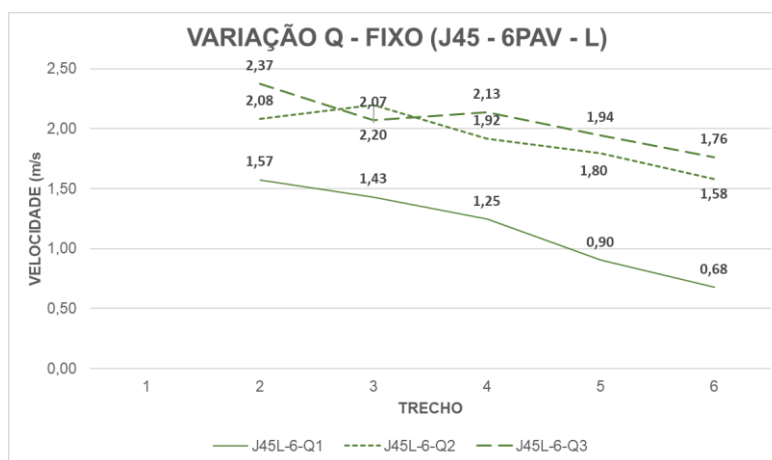


Tabela 4.9- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 11º pavimento (em m/s).

Trecho	J45L-11-Q1	J45L-11-Q2	J45L-11-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1					
2	0,58	0,99	1,47	71%	152%
3	0,44	1,34	2,21	204%	403%
4	0,41	1,20	2,08	191%	404%
5	0,26	1,14	1,88	343%	629%
6	0,21	0,98	1,59	378%	676%
Média	0,38	1,13	1,85	238%	453%
Máx (m/s)	0,58	1,34	2,21	378%	676%
Mín (m/s)	0,21	0,98	1,47	71%	152%
Máx - Mín (m/s)	0,38	0,36	0,75	-	-
Máx - Mín (%)	65%	27%	34%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.9 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J45, linear e 11º pavimento.

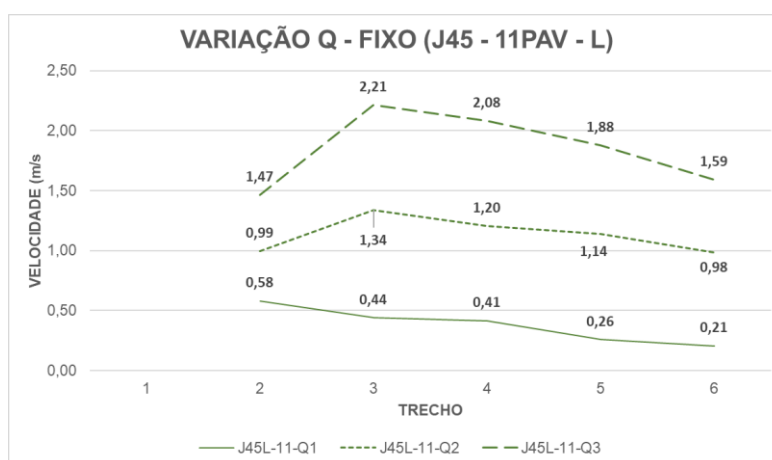
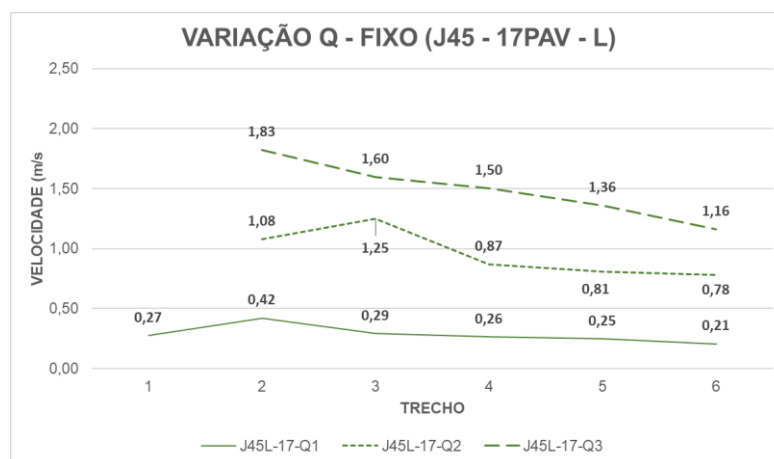


Tabela 4.10- Velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: C87, linear e 17º pavimento (em m/s).

Trecho	J45L-17-Q1	J45L-17-Q2	J45L-17-Q3	Q2/Q1	Q3/Q1
1	0,27				
2	0,42	1,08	1,83	157%	335%
3	0,29	1,25	1,60	331%	450%
4	0,26	0,87	1,50	230%	471%
5	0,25	0,81	1,36	229%	453%
6	0,21	0,78	1,16	281%	466%
Média	0,28	0,96	1,49	246%	435%
Máx (m/s)	0,42	1,25	1,83	331%	471%
Mín (m/s)	0,21	0,78	1,16	157%	335%
Máx - Mín (m/s)	0,21	0,47	0,66		
Máx - Mín (%)	51%	38%	36%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.10 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de vazão, fixando: J45, linear e 17º pavimento.



Os trechos de aceleração e desaceleração nos gráficos apresentados para as duas conexões (J45 e C87) são os mesmos dos ensaios com o joelho de 90º, deste modo o formato da curva dos gráficos possuem a mesma característica, se diferenciando pelos valores absolutos de velocidade. Sendo que os ensaios da Q1 possuem menores velocidades do que o proporcionado pelas vazões Q2 e Q3, não é possível determinar se é devido ao volume ou vazão maior destes dois casos. A desaceleração no ensaio da Q1 é maior do que nos presentes em Q2 e Q3, mas em proporções diferentes do que com a utilização do joelho de 90º. Desaceleração esta que pode ser explicada pelo efeito maior das paredes do tubo de queda nos casos dos ensaios com menor volume. A análise do efeito das conexões será feita no item 4.3.

Com exceção do 6º pavimento, obteve-se o padrão esperado que quanto maior a vazão, maiores seriam as velocidades médias nos trechos. No 6º pavimento, não são observadas grandes diferenças entre os ensaios das vazões Q2 e Q3. A análise da influência do pavimento será feita no item 4.2.

4.2. INFLUÊNCIA DA ALTURA NA QUAL OCORRE A DESCARGA NA VELOCIDADE MÉDIA DAS MÍDIAS

Esta análise foi desenvolvida baseada na fixação dos parâmetros de vazão, da conexão do desvio da prumada, do sub-coletor de forma linear e variando somente a altura de onde ocorre a descarga. Nas colunas que possui cabeçalho análogos à 6/17, foi calculada a diferença percentual entre o primeiro e o segundo número. Nesta análise, o segundo número é utilizado como referência por ser o menor número absoluto para a maioria dos ensaios.

Nas Tabela 4.11, Tabela 4.12 e Tabela 4.13, juntamente com as Figura 4.11, Figura 4.12 e Figura 4.13 são apresentados os resultados das velocidades para o joelho de 90°. Nos trechos posteriores ao ponto de retenção dos sólidos, as velocidades não são apresentadas. Tanto nas tabelas quanto nas figuras são mostrados os resultados para as vazões de Q1, Q2 e Q3.

Tabela 4.11 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q1 (em m/s).

Trecho	J90L-6-Q1	J90L-9-Q1	J90L-11-Q1	J90L-17-Q1	6/17	9/17	11/17
1	1,21	0,72	0,52	0,18	562%	295%	187%
2	1,08	0,60	0,38	0,08	1221%	633%	359%
3	1,03	0,46	0,38	0,04	2239%	951%	758%
4	0,69	0,48	0,17	0,02	3708%	2515%	824%
5	0,59	0,30	0,16		-	-	-
6	0,38	0,19	0,09		-	-	-
Média	0,83	0,46	0,28	0,08	1932%	1099%	532%
Máx (m/s)	1,21	0,72	0,52	0,18	3708%	2515%	824%
Mín (m/s)	0,38	0,19	0,09	0,02	1221%	633%	359%
Máx - Mín (m/s)	0,82	0,53	0,43	0,16			
Máx - Mín (%)	68%	73%	82%	90%	-	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.11 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q1.

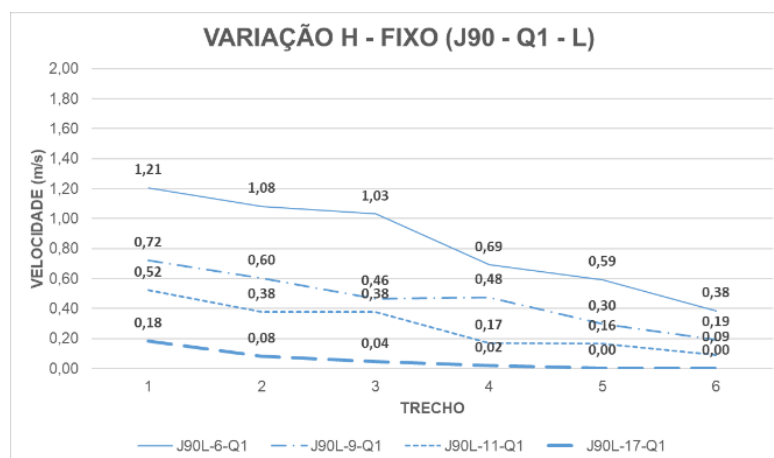


Tabela 4.12 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando:
J90, linear e vazão Q2 (em m/s).

Trecho	J90L-6-Q2	J90L-9-Q2	J90L-11-Q2	J90L-17-Q2	6/17	9/17	11/17
1	1,58	1,06	0,63	0,92	72%	16%	-31%
2	1,76	1,77	1,12	0,75	134%	135%	48%
3	1,72	1,27	1,17	0,75	130%	70%	57%
4	1,77	1,32	1,17	0,67	164%	96%	74%
5	1,58	1,15	0,95	0,53	195%	115%	79%
6	1,45	1,18	0,99	0,56	159%	111%	76%
Média	1,64	1,29	1,00	0,70	142%	91%	51%
Máx (m/s)	1,77	1,77	1,17	0,92	195%	135%	79%
Mín (m/s)	1,45	1,15	0,95	0,53	130%	70%	48%
Máx - Mín (m/s)	0,32	0,62	0,22	0,38	-	-	-
Máx - Mín (%)	18%	35%	19%	42%	-	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.12 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q2.

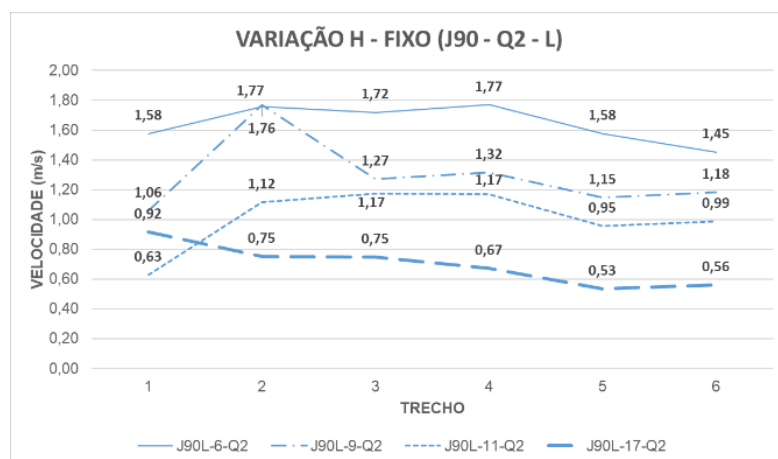
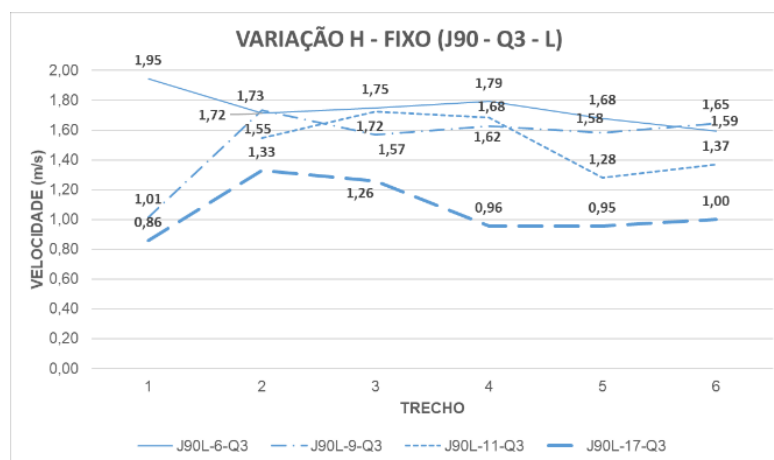


Tabela 4.13 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando:
J90, linear e vazão Q3 (em m/s).

Trecho	J90L-6-Q3	J90L-9-Q3	J90L-11-Q3	J90L-17-Q3	6/17	9/17	11/17
1	1,95	1,01		0,86	127%	18%	
2	1,72	1,73	1,55	1,33	29%	31%	17%
3	1,75	1,57	1,72	1,26	39%	25%	37%
4	1,79	1,62	1,68	0,96	87%	70%	76%
5	1,68	1,58	1,28	0,95	76%	66%	34%
6	1,59	1,65	1,37	1,00	59%	65%	37%
Média	1,75	1,53	1,52	1,06	70%	46%	40%
Máx (m/s)	1,95	1,73	1,72	1,33	127%	70%	76%
Mín (m/s)	1,59	1,53	1,28	0,95	29%	25%	17%
Máx - Mín (m/s)	0,35	0,21	0,44	0,37	-	-	-
Máx - Mín (%)	18%	12%	26%	28%	-	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.13 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J90, linear e vazão Q3.



Para as vazões ensaiadas, percebe-se que quanto maior é a altura de onde ocorre a descarga no ensaio, menor é a velocidade da maioria dos trechos. A desaceleração também é maior no caso dos ensaios mais altos, podendo chegar a até 90% com o ensaio ocorrendo com a vazão Q1. Mostrando assim a influência das paredes do tubo de queda no fluxo do fluido.

Nas Tabela 4.14 a Tabela 4.19 e nas Figura 4.14 a Figura 4.19, são apresentados os resultados das velocidades para as conexões C87 e J45. Cada tabela possui os ensaios de cada vazão, respectivamente, Q1, Q2 e Q3.

Tabela 4.14 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q1 (em m/s).

Trecho	C87L-6-Q1	C87L-11-Q1	C87L-17-Q1	6/17	11/17
1	1,17				
2	1,64	0,67	0,47	250%	44%
3	1,37	0,70	0,34	300%	105%
4	1,09	0,32	0,27	301%	16%
5	0,75	0,33	0,31	140%	6%
6	0,45	0,23	0,23	95%	2%
Média	1,08	0,45	0,32	217%	35%
Máx (m/s)	1,64	0,70	0,47	301%	105%
Mín (m/s)	0,45	0,23	0,23	95%	2%
Máx - Mín (m/s)	1,19	0,47	0,24	-	-
Máx - Mín (%)	73%	67%	51%		

*Unidades em m/s

Figura 4.14 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q1.

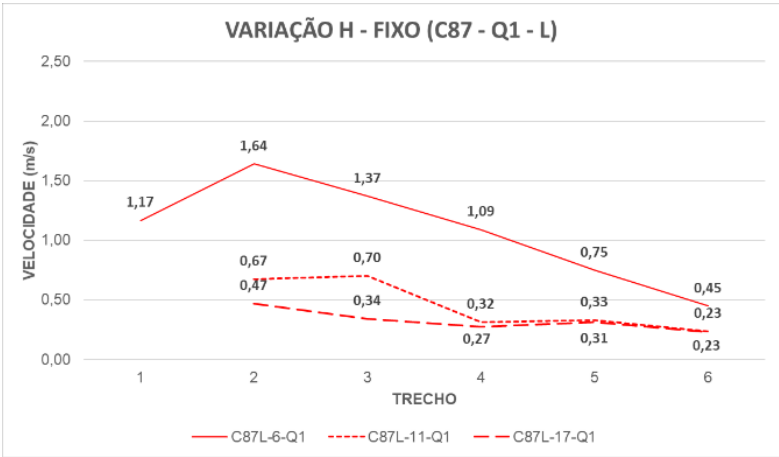


Tabela 4.15 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q2 (em m/s).

Trecho	C87L-6-Q2	C87L-11-Q2	C87L-17-Q2	6/17	11/17
1					
2	2,20		1,21	83%	
3	1,99	0,92	1,03	93%	-11%
4	1,90	1,34	0,89	114%	52%
5	1,75	1,22	0,82	114%	49%
6	1,60	1,16	0,89	79%	30%
Média	1,89	1,16	0,97	97%	30%
Máx (m/s)	2,20	1,34	1,21	114%	52%
Mín (m/s)	1,60	0,92	0,82	79%	-11%
Máx - Mín (m/s)	0,60	0,42	0,39		
Máx - Mín (%)	27%	31%	32%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.15 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q2.

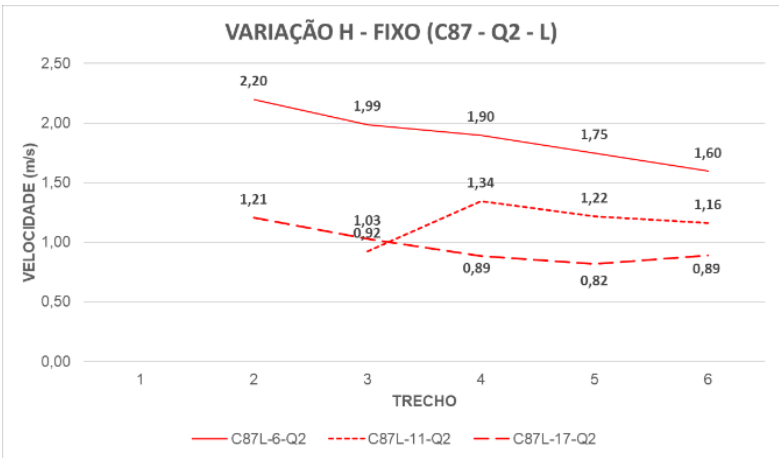


Tabela 4.16 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q3 (em m/s).

Trecho	C87L-6-Q3	C87L-11-Q3	C87L-17-Q3	6/17	11/17
1					
2	1,82		1,31	39%	
3	2,22	1,83	1,68	33%	9%
4	2,01	2,06	1,25	60%	64%
5	1,72	2,10	1,20	43%	74%
6	1,62	1,74	1,33	22%	31%
Média	1,88	1,93	1,35	39%	45%
Máx (m/s)	2,22	2,10	1,68	60%	74%
Mín (m/s)	1,62	1,74	1,20	22%	9%
Máx - Mín (m/s)	0,60	0,36	0,47		
Máx - Mín (%)	27%	17%	28%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.16 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: C87, linear e vazão Q3.

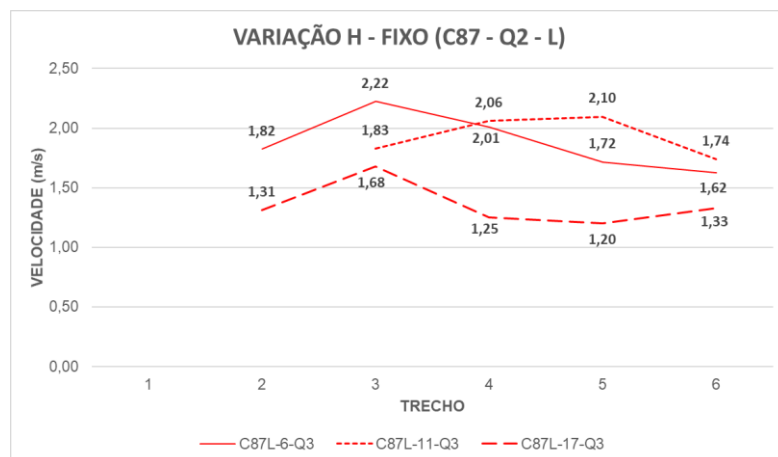


Tabela 4.17 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q1 (em m/s).

Trecho	J45L-6-Q1	J45L-11-Q1	J45L-17-Q1	6/17	11/17
1			0,27		
2	1,57	0,58	0,42	275%	39%
3	1,43	0,44	0,29	393%	51%
4	1,25	0,41	0,26	374%	57%
5	0,90	0,26	0,25	268%	5%
6	0,68	0,21	0,21	229%	0%
Média	1,17	0,38	0,28	308%	30%
Máx (m/s)	1,57	0,58	0,42	393%	57%
Mín (m/s)	0,68	0,21	0,21	229%	0%
Máx - Mín (m/s)	0,90	0,38	0,21		
Máx - Mín (%)	57%	65%	51%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.17 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q1.

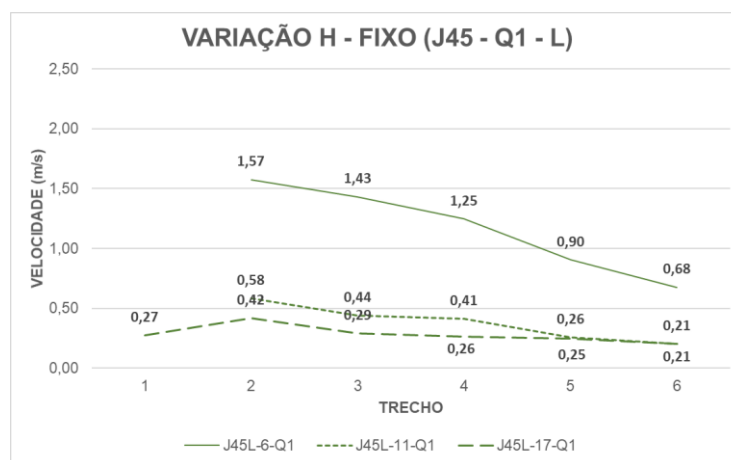


Tabela 4.18 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q2 (em m/s).

Trecho	J45L-6-Q2	J45L-11-Q2	J45L-17-Q2	6/17	11/17
1					
2	2,08	0,99	1,08	93%	-8%
3	2,20	1,34	1,25	76%	7%
4	1,92	1,20	0,87	121%	39%
5	1,80	1,14	0,81	122%	41%
6	1,58	0,98	0,78	102%	26%
Média	1,91	1,13	0,96	103%	21%
Máx (m/s)	2,20	1,34	1,25	122%	41%
Mín (m/s)	1,58	0,98	0,78	76%	-8%
Máx - Mín (m/s)	0,62	0,36	0,47		
Máx - Mín (%)	28%	27%	38%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.18 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q2.

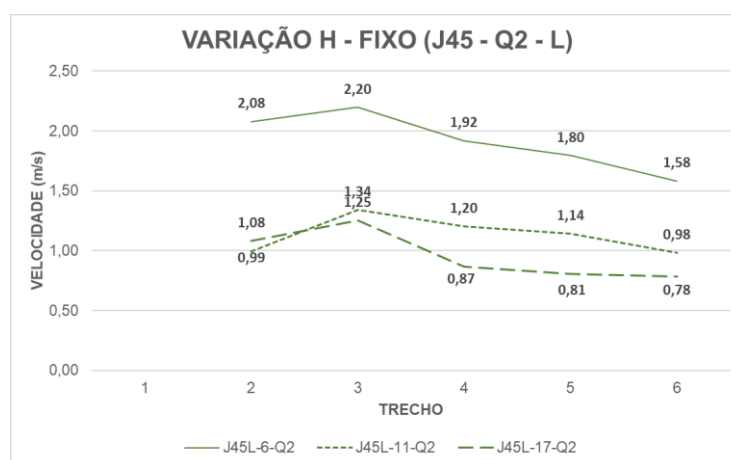
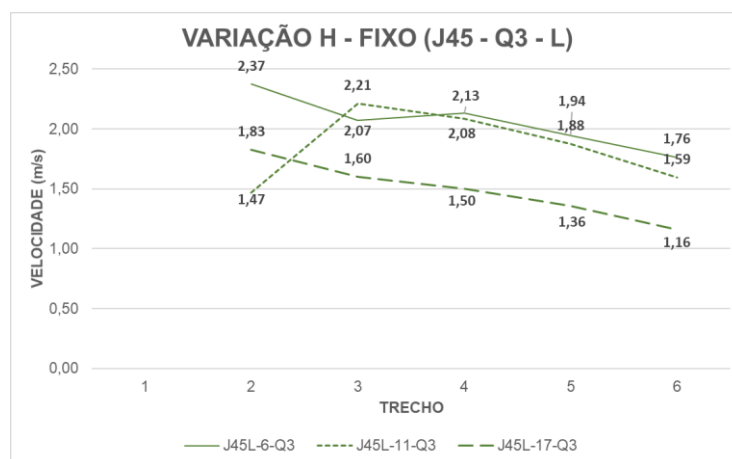


Tabela 4.19 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q3 (em m/s).

Trecho	J45L-6-Q3	J45L-11-Q3	J45L-17-Q3	6/17	11/17
1					
2	2,37	1,47	1,83	30%	-20%
3	2,07	2,21	1,60	30%	39%
4	2,13	2,08	1,50	42%	39%
5	1,94	1,88	1,36	43%	38%
6	1,76	1,59	1,16	52%	37%
Média	2,06	1,85	1,49	39%	27%
Máx (m/s)	2,37	2,21	1,83	52%	39%
Mín (m/s)	1,76	1,47	1,16	30%	-20%
Máx - Mín (m/s)	0,61	0,75	0,66		
Máx - Mín (%)	26%	34%	36%	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.19 - Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação de altura, fixando: J45, linear e vazão Q3.



Desconsiderando a influência da conexão instalada no desvio da prumada, em que é notado uma diferença entre as curvas, conclui-se que na maioria dos casos quanto maior a altura do pavimento, menor a velocidade nos trechos, mostrando assim o efeito das paredes do tubo de queda no fluido durante o seu escoamento, sendo que quanto maior a altura maior a superfície de atrito. Como não foi realizado o ensaio com fluxo permanente, não se pode afirmar que essa proporcionalidade é válida para todos os casos de escoamento, mas caso não seja válida, seria interessante identificar qual seria a vazão que invertesse a proporcionalidade, devido a existência de lâmina d'água em torno de toda a parede. As maiores diferenças observadas ocorrem com a vazão Q1, podendo chegar a 3708%, no caso do J90. A análise da influência das peças utilizadas no desvio da prumada será feita no item 4.3.

4.3. INFLUÊNCIA DA CONEXÃO DO DESVIO DA PRUMADA PARA O SUB-COLETOR NA VELOCIDADE MÉDIA DAS MÍDIAS

Neste item, são apresentadas as velocidades médias de cada trecho com a variação das conexões instaladas no desvio da prumada, sendo fixado a altura de onde ocorre a descarga, a vazão e a configuração do sub-coletor em forma linear.

Nas Tabela 4.20, Tabela 4.21 e Tabela 4.22 e nas Figura 4.20, Figura 4.21 e Figura 4.22 são exibidos os resultados experimentais para o 6º pavimento e vazão Q1, Q2 e Q3 respectivamente.

Tabela 4.20 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q1 (em m/s).

Trecho	J90L-6-Q1	C87L-6-Q1	J45L-6-Q1	C87/J90 (%)	J45/J90 (%)
1	1,21	1,17	-	-3%	-
2	1,08	1,64	1,57	52%	45%
3	1,03	1,37	1,43	33%	39%
4	0,69	1,09	1,25	57%	80%
5	0,59	0,75	0,90	26%	53%
6	0,38	0,45	0,68	17%	76%
Média	0,83	1,08	1,17	30%	59%
Máx (m/s)	1,21	1,64	1,57	57%	80%
Mín (m/s)	0,38	0,45	0,68	17%	39%
Máx - Mín (m/s)	0,82	1,19	0,90		
Máx - Mín (%)	68%	73%	57%		

*Unidades em m/s

Figura 4.20 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q1.

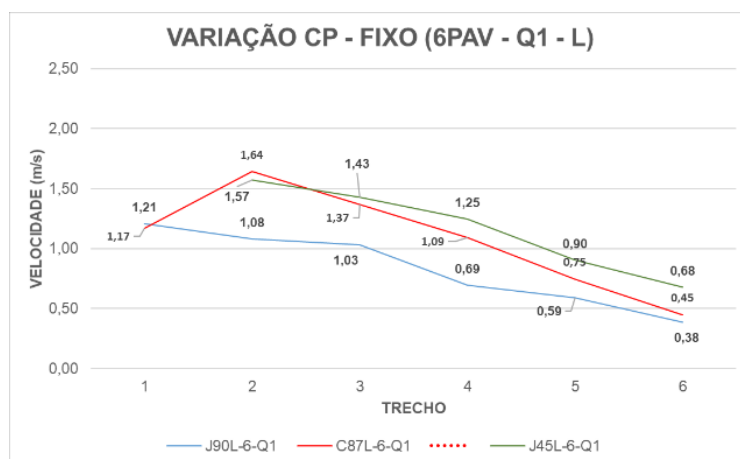


Tabela 4.21 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q2 (em m/s).

Trecho	J90L-6-Q2	C87L-6-Q2	J45L-6-Q2	C87/J90 (%)	J45/J90 (%)
1	1,58	-	-	-	-
2	1,76	2,20	2,08	25%	18%
3	1,72	1,99	2,20	16%	28%
4	1,77	1,90	1,92	7%	8%
5	1,58	1,75	1,80	11%	14%
6	1,45	1,60	1,58	10%	9%
Média	1,64	1,89	1,91	14%	15%
Máx (m/s)	1,77	2,20	2,20	25%	28%
Mín (m/s)	1,45	1,60	1,58	7%	8%
Máx - Mín (m/s)	0,32	0,60	0,62		
Máx - Mín (%)	18%	27%	28%		

*Unidades em m/s

Figura 4.21 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q2.

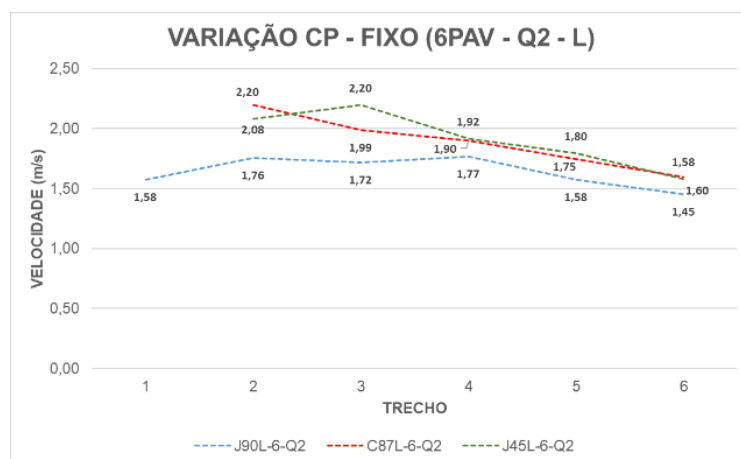
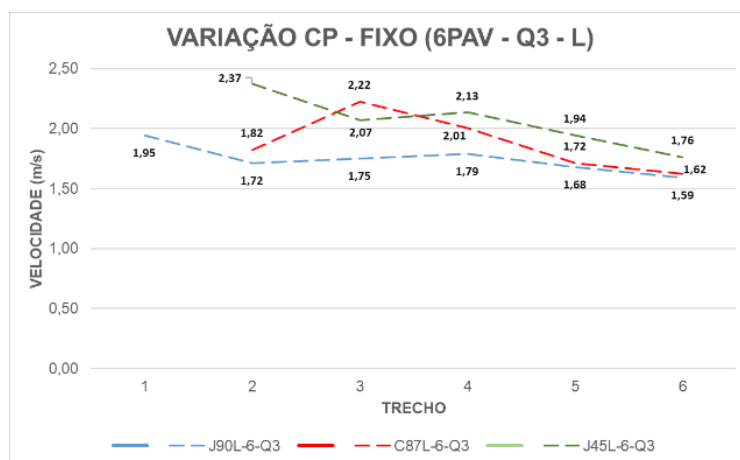


Tabela 4.22 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q3 (em m/s).

Trecho	J90L-6-Q3	C87L-6-Q3	J45L-6-Q3	C87/J90 (%)	J45/J90 (%)
1	1,95	-	-	-	-
2	1,72	1,82	2,37	6%	38%
3	1,75	2,22	2,07	27%	18%
4	1,79	2,01	2,13	12%	19%
5	1,68	1,72	1,94	2%	16%
6	1,59	1,62	1,76	2%	11%
Média	1,75	1,88		10%	21%
Máx (m/s)	1,95	2,22	2,37	27%	38%
Mín (m/s)	1,59	1,62	1,76	2%	11%
Máx - Mín (m/s)	0,35	0,60	0,61		
Máx - Mín (%)	18%	27%	26%		

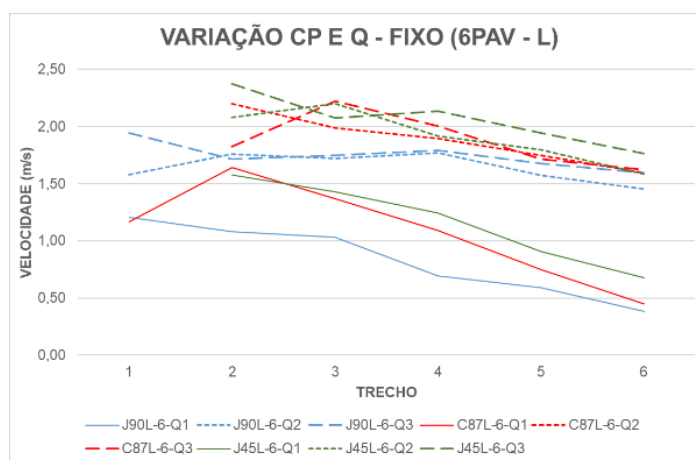
*Unidades em m/s

Figura 4.22 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 6 pavimento, linear e vazão Q3.



Na Figura 4.23 são apresentados os resultados sobrepostos observados nas Figura 4.20, Figura 4.21 e Figura 4.22.

Figura 4.23 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão e Q, fixando: 6 pavimento e linear.



A partir dos resultados de velocidade média de transporte das mídias apresentados, foi possível verificar que, o J90 possui os menores valores absolutos para todos os casos e trechos. O J45 é o que possui maiores valores na média de todos os trechos. Principalmente para vazão Q1, ele possui as maiores diferenças para o J90, ficando em média 59% maior do que esse. As velocidades do C87 ficaram entre os valores de J45 e de J90, se aproximando mais de J45. Ficando em média 39% maior do que o J90.

Em relação a desaceleração, o ensaio com a peça J90 é o que possui os menores valores, tanto em valor absoluto quanto em valor percentual, para os ensaios com Q2 e Q3. Já para a Q1, a J90 possui menor valor absoluto, mas o menor valor em percentual é da J45. Para todas as peças a desaceleração é maior para vazões menores.

Para as vazões Q2 e Q3, as peças C87 e J45 não possuem resultados. Isto deve-se ao fato de que os sólidos iniciam no trecho 1 e, assim, só é possível computar a velocidade média a partir do trecho 2. Este fato mostra que as curvas de raios longos possuem menor efeito na velocidade dos sólidos dentro da rede.

Nas Tabela 4.23, Tabela 4.24 e Tabela 4.25 e nas Figura 4.23, Figura 4.24 e Figura 4.25, são exibidos os dados do 11º pavimento e vazão Q1, Q2 e Q3.

Tabela 4.23 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q1 (em m/s).

Trecho	J90L-11-Q1	C87L-11-Q1	J45L-11-Q1	C87/J90 (%)	J45/J90 (%)
1	0,52	-	-	-	-
2	0,38	0,67	0,58	79%	55%
3	0,38	0,70	0,44	85%	16%
4	0,17	0,32	0,41	88%	146%
5	0,16	0,33	0,26	101%	57%
6	0,09	0,23	0,21	153%	123%
Média	0,28	0,45	0,38	101%	79%
Máx (m/s)	0,52	0,70	0,58	153%	146%
Mín (m/s)	0,09	0,23	0,21	79%	16%
Máx - Mín (m/s)	0,43	0,47	0,38		
Máx - Mín (%)	82%	67%	65%		

*Unidades em m/s

Figura 4.24 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q1.

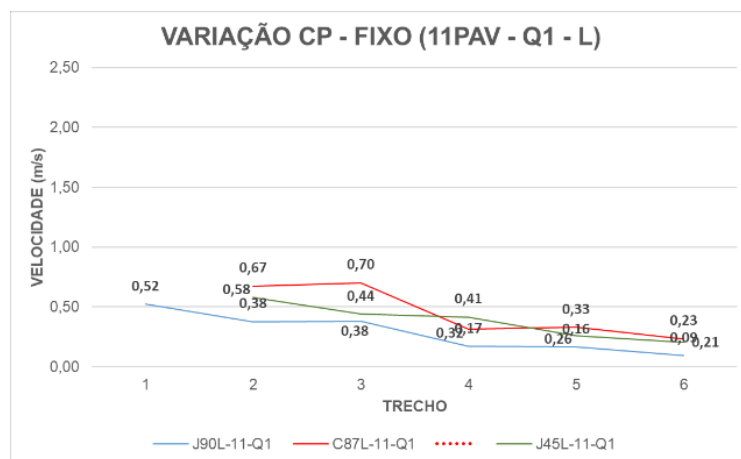


Tabela 4.24 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q2.

Trecho	J90L-11-Q2	C87L-11-Q2	J45L-11-Q2	Q2/Q1 (%)	Q3/Q1 (%)
1	0,63	-	-	-	-
2	1,12	-	0,99	-	-11%
3	1,17	0,92	1,34	-22%	14%
4	1,17	1,34	1,20	15%	3%
5	0,95	1,22	1,14	28%	20%
6	0,99	1,16	0,98	18%	0%
Média	1,00	1,16	1,13	10%	5%
Máx (m/s)	1,17	1,34	1,34	28%	20%
Mín (m/s)	0,95	0,92	0,98	-22%	-11%
Máx - Mín (m/s)	0,22	0,42	0,36		
Máx - Mín (%)	19%	31%	27%		

*Unidades em m/s

Figura 4.25 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q2.

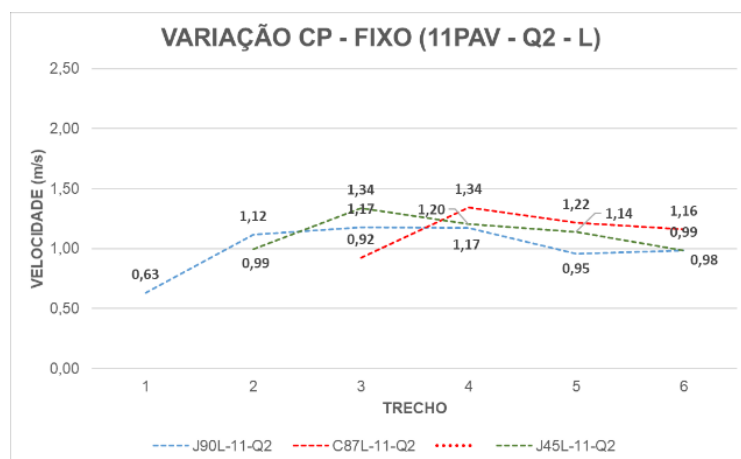
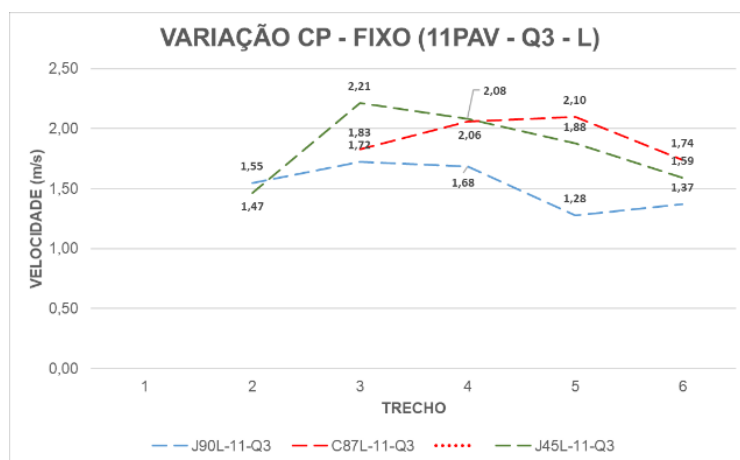


Tabela 4.25 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q3 (em m/s).

Trecho	J90L-11-Q3	C87L-11-Q3	J45L-11-Q3	Q2/Q1 (%)	Q3/Q1 (%)
1	-	-	-	-	-
2	1,55	-	1,47	-	-5%
3	1,72	1,83	2,21	6%	29%
4	1,68	2,06	2,08	22%	24%
5	1,28	2,10	1,88	64%	47%
6	1,37	1,74	1,59	27%	16%
Média	1,52	1,93	1,85	30%	22%
Máx (m/s)	1,72	2,10	2,21	64%	47%
Mín (m/s)	1,28	1,74	1,47	6%	-5%
Máx - Mín (m/s)	0,44	0,36	0,75		
Máx - Mín (%)	26%	17%	34%		

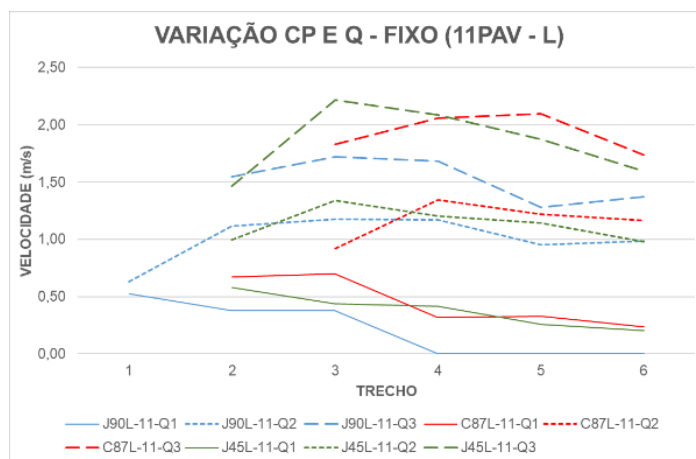
*Unidades em m/s

Figura 4.26 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 11 pavimento, linear e vazão Q3.



Mostra-se na Figura 4.27, os resultados sobrepostos das Figura 4.24, Figura 4.25 e Figura 4.26.

Figura 4.27 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão e vazão, fixando: 11 pavimento, linear.



A partir dos dados apresentados, verificou-se que a J90 possui os menores valores absolutos de velocidade média de transporte das mídias para todos os casos e trechos. Ao contrário do que no 6º pavimento, o desvio utilizando a C87 é o que apresentou maiores valores de velocidade média de todos os trechos, principalmente para vazão Q1, as quais possui as maiores diferenças para o J90, ficando em média 101% maior do que este tipo de desvio. Para o 11º pavimento, o ensaio com a J45 possui velocidades entre C87 e J90, mas bem mais próximas da C87.

Em relação à desaceleração, o ensaio com a peça C87 é o que possui os menores valores, tanto em valor absoluto quanto em valor percentual, para os ensaios com Q3. Já para a Q2, a J90 é a que possui menores valores. E para a vazão Q1 é a J45 que possui menores valores, mas a C87 possui valores muito próximos. Novamente para todas as peças a desaceleração é maior para vazões menores.

Outra vez, para as vazões Q1, Q2 e Q3 as peças C87 e J45 não possuem resultados. Este fato mostra que as curvas de raios longos possuem menor efeito na velocidade dos sólidos dentro da rede.

Por último, nas Tabela 4.26, Tabela 4.27, Tabela 4.28, Figura 4.26, Figura 4.27 e Figura 4.28, são exibidos os dados do 17º pavimento e vazão Q1, Q2 e Q3.

Tabela 4.26 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 17º pavimento, linear e vazão Q1 (em m/s).

Trecho	J90L-17-Q1	C87L-17-Q1	J45L-17-Q1	C87/J90 (%)	J45/J90 (%)
1	0,18	-	0,27	-	51%
2	0,08	0,47	0,42	472%	412%
3	0,04	0,34	0,29	675%	558%
4	0,02	0,27	0,26	1396%	1346%
5	-	0,31	0,25	-	-
6	-	0,23	0,21	-	-
Média	0,08	0,32	0,28	847%	592%
Máx (m/s)	0,18	0,47	0,42	1396%	1346%
Mín (m/s)	0,02	0,23	0,21	472%	412%
Máx - Mín (m/s)	0,16	0,24	0,21		
Máx - Mín (%)	90%	51%	51%		

*Unidades em m/s

Figura 4.28 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q1.

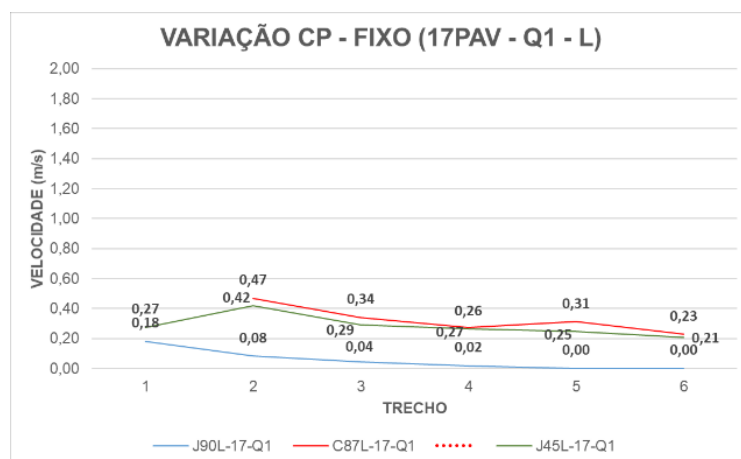


Tabela 4.27 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q2 (em m/s).

Trecho	J90L-17-Q2	C87L-17-Q2	J45L-17-Q2	C87/J90 (%)	J45/J90 (%)
1	0,92	-	-	-	-
2	0,75	1,21	1,08	60%	43%
3	0,75	1,03	1,25	38%	68%
4	0,67	0,89	0,87	32%	29%
5	0,53	0,82	0,81	53%	51%
6	0,56	0,89	0,78	59%	39%
Média	0,70	0,97	96%	48%	46%
Máx (m/s)	0,92	1,21	1,25	60%	68%
Mín (m/s)	0,53	0,82	0,78	32%	29%
Máx - Mín (m/s)	0,38	0,39	0,47		
Máx - Mín (%)	42%	32%	38%		

*Unidades em m/s

Figura 4.29 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q2.

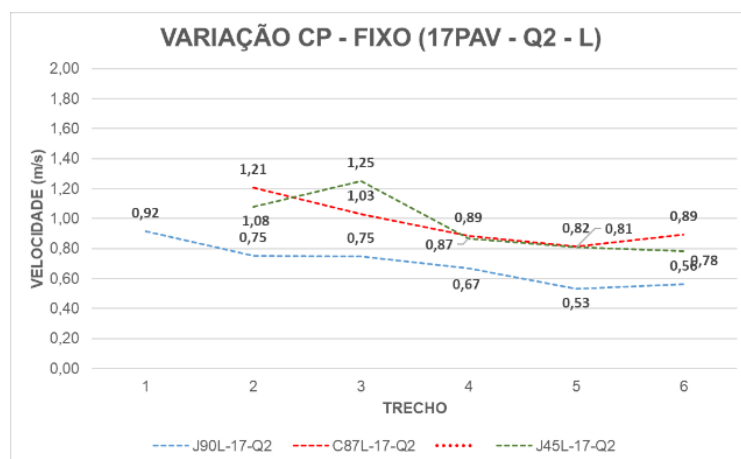
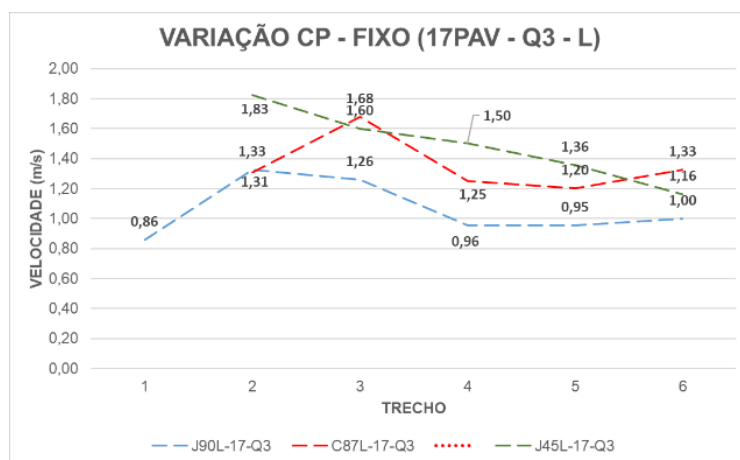


Tabela 4.28 - Velocidade dos trechos de acordo com a variação de conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q3 (em m/s).

Trecho	J90L-17-Q3	C87L-17-Q3	J45L-17-Q3	C87/J90 (%)	J45/J90 (%)
1	0,86	-	-	-	-
2	1,33	1,31	1,83	-1%	37%
3	1,26	1,68	1,60	33%	27%
4	0,96	1,25	1,50	31%	57%
5	0,95	1,20	1,36	26%	42%
6	1,00	1,33	1,16	33%	16%
Média	1,06	1,35	1,49	24%	36%
Máx (m/s)	1,33	1,68	1,83	33%	57%
Mín (m/s)	0,95	1,20	1,16	-1%	16%
Máx - Mín (m/s)	0,37	0,47	0,66		
Máx - Mín (%)	28%	28%	36%		

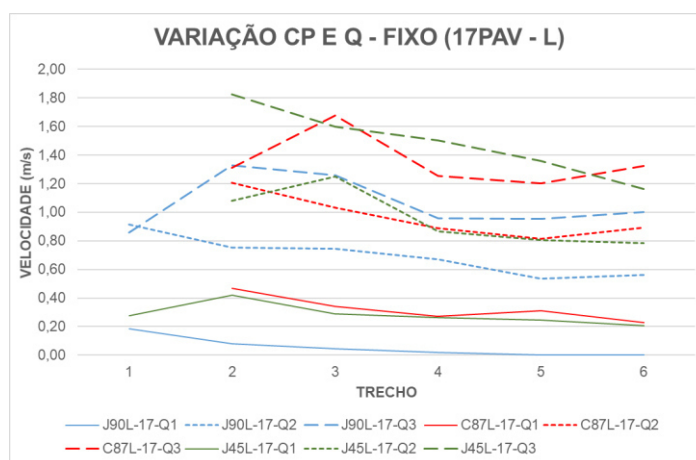
*Unidades em m/s

Figura 4.30 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão, fixando: 17 pavimento, linear e vazão Q3.



Apresenta-se, na Figura 4.31 os resultados sobrepostos observados nas Figura 4.28, Figura 4.29 e Figura 4.30.

Figura 4.31 – Gráfico da velocidade dos trechos de acordo com a variação da conexão e vazão, fixando: 17 pavimento, linear.



Assim como para os outros pavimentos, foi possível verificar que a J90 possui os menores valores absolutos para todos os casos e trechos. Os ensaios com C87 são os que possuem maiores valores na média de todos os trechos, exceto para a vazão Q3.

Em relação à desaceleração, o ensaio com a peça C87 é o que possui os menores valores, tanto em valor absoluto quanto em valor percentual, para os ensaios com Q3. Já para a Q2, a J90 é a que possui menores valores. E para a vazão Q1 é a J45 que possui menores valores. Novamente para todas as peças a desaceleração é maior para vazões menores.

Para as vazões Q1, Q2 e Q3 as peças C87 e J45 não possuem resultados para o primeiro trecho. Essa observação confirma que independente do pavimento as curvas de raios longos possuem menor efeito na velocidade dos sólidos em relação ao impacto deles com a peça.

Como forma de avaliar o desempenho das peças, realizou-se uma comparação entre os valores apresentados, pontuando com 3 a peça que teve maior valor, com 2 o segundo maior e 1 para a que teve o menor valor. Estes ranqueamento foi feito para cada trecho, média, máximo e mínimo. Já para os campos de diferença entre máximo e mínimo, tanto absoluto quanto percentual, a peça que recebeu 3 pontos foi a que possui menor valor e a que possui maior valor recebeu peso 1.

Assim, a peça que possuir maior pontuação será a que teve maiores valores de velocidade média, velocidade máxima, velocidade mínima e a que teve menores valores de diferença absoluta e diferença percentual. Sendo assim, avalia-se qualitativamente a peça que possui mais características importantes para proporcionar um bom desempenho da tubulação.

Na Tabela 4.29 é apresentada a somatória da pontuação para cada ensaio e peça. A peça que teve maior quantidade de pontuação foi a C87, indicando que, de todos os ensaios realizados ela é a que possui maior possibilidade de bom desempenho da tubulação, gerando menor quantidade de entupimentos da rede por conta do maior arraste provocado pelas maiores velocidades, menores desacelerações e menor acúmulo de material.

Tabela 4.29 - Comparação por pontuação entre as peças J90, C87 e J45.

	J90L	C87	J45
6-Q1	13	20	27
6-Q2	14	24	22
6-Q3	14	20	26
11-Q1	11	26	23
11-Q2	16	19	19
11-Q3	11	24	19
17-Q1	12	27	21
17-Q2	12	27	21
17-Q3	15	22	23
Total	118	209	201

4.4. INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DO SUB-COLETOR NA VELOCIDADE MÉDIA DAS MÍDIAS

Nas Tabela 4.30, Tabela 4.31, Tabela 4.32, nas Figura 4.32, Figura 4.33 e Figura 4.34 são apresentados os dados de velocidade dos trechos com conexões no sub-coletor, sendo estas:

2C90C, 2C90L, 2J45 e 4J45. Nestes ensaios foram fixados a altura do 17º pavimento, C87 e variado a vazão. As tabelas apresentam os ensaios para as vazões, Q1, Q2 e Q3. Nestas tabelas também são indicadas as velocidades dos trechos para o ensaio com o sub-coletor de forma linear e estes dados são utilizados como parâmetro de comparação.

Tabela 4.30 – Velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17º pavimento e Q1 (em m/s).

Trecho	C87L-17-Q1	2C90C-17-Q1	2C90L-17-Q1	2J45-17-Q1	4J45-17-Q1	2C90C/C87L	2C90L/C87L	2J45/C87L	4J45/C87L
1									
2	0,47	0,30	0,37	0,39	0,34	-36%	-22%	-17%	-27%
3	0,34	0,31	0,38	0,33	0,31	-11%	10%	-4%	-8%
4	0,27	0,29	0,34	0,25	0,29	5%	27%	-7%	6%
5	0,31	0,27	0,14	0,21	0,27	-15%	-54%	-33%	-13%
6	0,23	0,17	0,10	0,18	0,31	-24%	-56%	-19%	36%
Média	0,32	0,27	0,27	0,27	0,31	-16%	-19%	-16%	-1%
Máx (m/s)	0,47	0,31	0,38	0,39	0,34	5%	27%	-4%	36%
Mín (m/s)	0,23	0,17	0,10	0,18	0,27	-36%	-56%	-33%	-27%
Máx - Mín (m/s)	0,24	0,13	0,27	0,20	0,07				
Máx - Mín (%)	51%	43%	73%	52%	20%	-	-	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.32 – Gráfico da velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q1.

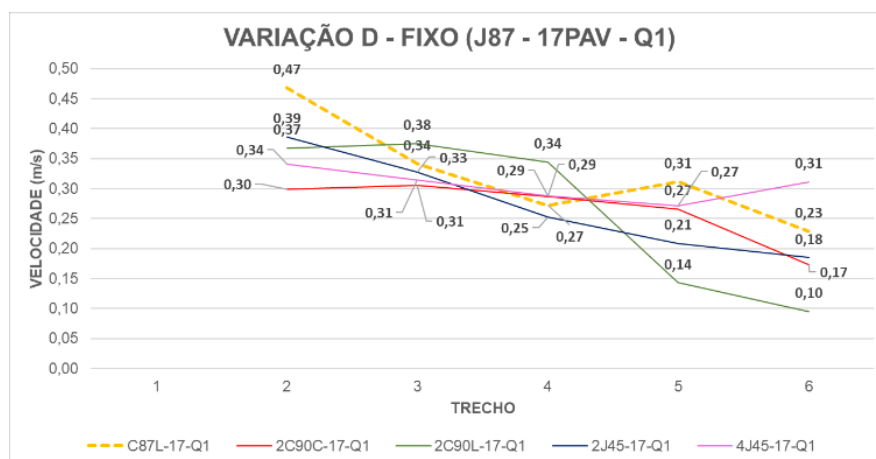


Tabela 4.31 – Velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q2 (em m/s).

Trecho	C87L-17-Q2	2C90C-17-Q2	2C90L-17-Q2	2J45-17-Q2	4J45-17-Q2	2C90C/C87L	2C90L/C87L	2J45/C87L	4J45/C87L
1									
2	1,21	1,26	1,32	1,07	1,33	5%	10%	-11%	10%
3	1,03	1,26	1,21	1,03	1,16	23%	17%	0%	12%
4	0,89	0,72	0,89	0,74	0,75	-19%	1%	-16%	-15%
5	0,82	0,67	0,71	0,63	0,77	-18%	-13%	-23%	-5%
6	0,89	0,58	0,66	0,76	0,79	-35%	-26%	-15%	-11%
Média	0,97	0,90	0,96	0,85	0,96	-9%	-2%	-13%	-2%
Máx (m/s)	1,21	1,26	1,32	1,07	1,33	23%	17%	0%	12%
Mín (m/s)	0,82	0,58	0,66	0,63	0,75	-35%	-26%	-23%	-15%
Máx - Mín (m/s)	0,39	0,69	0,67	0,44	0,58				
Máx - Mín (%)	32%	54%	50%	41%	44%	-	-	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.33 - Gráfico da velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q2.

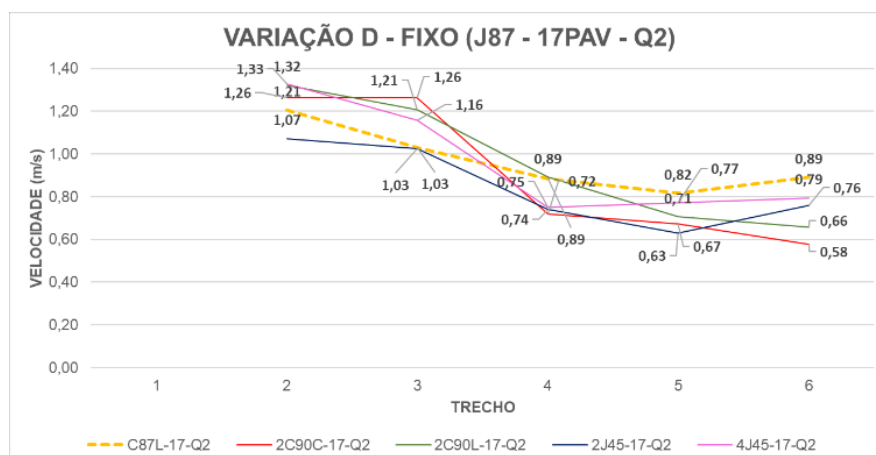
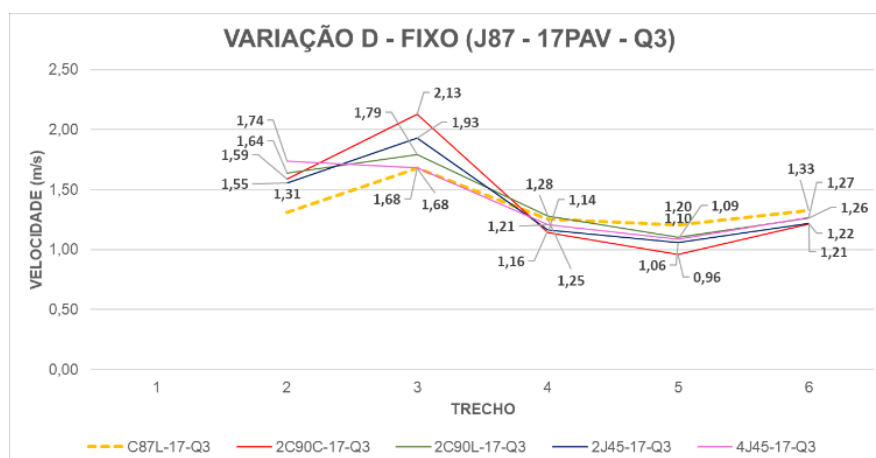


Tabela 4.32 – Velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q3 (em m/s).

Trecho	C87L-17-Q3	2C90C-17-Q3	2C90L-17-Q3	2J45-17-Q3	4J45-17-Q3	2C90C/C87L	2C90L/C87L	2J45/C87L	4J45/C87L
1									
2	1,31	1,59	1,64	1,55	1,74	21%	25%	19%	33%
3	1,68	2,13	1,79	1,93	1,68	27%	7%	15%	0%
4	1,25	1,14	1,28	1,16	1,21	-9%	2%	-7%	-3%
5	1,20	0,96	1,10	1,06	1,09	-20%	-8%	-12%	-10%
6	1,33	1,21	1,26	1,22	1,27	-8%	-5%	-8%	-5%
Média	1,35	1,41	1,42	1,38	1,40	2%	4%	1%	3%
Máx (m/s)	1,68	2,13	1,79	1,93	1,74	27%	25%	19%	33%
Mín (m/s)	1,20	0,96	1,10	1,06	1,09	-20%	-8%	-12%	-10%
Máx - Mín (m/s)	0,47	1,17	0,69	0,87	0,65	-	-	-	-
Máx - Mín (%)	28%	55%	38%	45%	37%	-	-	-	-

*Unidades em m/s

Figura 4.34 - Gráfico da velocidade dos trechos variando as conexões do sub-coletor, fixando: 17PAV e Q3.



Para as vazões Q2 e Q3, as curvas possuem comportamentos próximos com mudanças nos valores absolutos. Mas para a vazão Q1, as curvas possuem comportamentos distintos.

Como as conexões foram instalados no sub-coletor nos trechos 3, 4 e 5 a variação de velocidade deveria provocar diminuição somente a partir do terceiro trecho, o que ocorre somente para a vazão Q1. Somente no gráfico da vazão Q1 que se observa que a velocidade

do trecho 2 do sub-coletor de forma linear é maior do que nos outros ensaios. Esta observação indica que ocorreu alguma diferença na execução dos ensaios, podendo ser na inclinação, já que os ensaios foram feitos em dias diferentes e foi necessário a retirada das tubulações.

Assim, como não foi possível comparar os ensaios onde o sub-coletor é linear com os casos onde ele possui conexões, a comparação se concentrou entre os casos no qual o sub-coletor possui conexões. Para facilitar a comparação entre as peças, novamente foi utilizado o sistema de pontos, que variam de 4 a 1. As peças que tiveram os maiores valores obtiveram 4 pontos e os menores valores 1 ponto. Essa ponderação foi feita para os campos de velocidade média dos trechos, média, máximo e mínimo. Para os campos de diferença entre máximo e mínimo foi utilizado o inverso, ficando com nota 4 a que teve menor diferença.

Na Tabela 4.33 é apresentada a somatória de pontos para cada vazão. Observa-se que a configuração do sub-coletor com conexões formando 90° utilizando as peças 4J45 é o que possui melhor desempenho pela somatória de pontos, seguido pelas peças de 2C90L. Ambos com desempenho melhor do que as conexões 2J45, que possui desvios horizontais de 45°.

Tabela 4.33 - Comparação por pontuação entre as peças 2C90C, 2C90L, 2J45 e 4J45.

	2C90C	2C90L	2J45	4J45
Q1	18	18	23	31
Q2	15	25	19	31
Q3	17	29	19	25
Total	50	72	61	87

A NBR 8160 (ABNT, 1999) proíbe a utilização de peças com 90°, mas como mostrado na tabela anterior o desvio do sub-coletor fazendo um ângulo de 90° com 2 joelhos de 45° e 2 curvas longas tiveram maior pontuação do que o com ângulo de 45°. Esta observação poderia indicar que a utilização de desvios de tubulações horizontais fazendo ângulo de 90° não deveriam ser proibidos pela norma, e sim verificado o raio mínimo da peça.

4.5. INFLUÊNCIA DA ALTURA NA QUAL OCORRE A DESCARGA, VAZÃO E CONEXÃO DO DESVIO DA PRUMADA NA RETENÇÃO DE MÍDIAS

A retenção de mídias é tratada como a pausa total ou parcial das mídias dentro da rede. As posições de paradas são apresentadas por trecho, em formato de imagem.

As configurações que tiveram paradas estão marcadas com X nas Tabela 4.34, Tabela 4.35 e Tabela 4.36. As peças 2C90C, 2C90L, 2J45 e 4J45 não constam nos ensaios do 6PAV e 11PAV pois estes não foram realizados. Além disso, as vazões Q2 e Q3 não tiveram nenhum caso de obstrução.

Tabela 4.34 - Retenção de mídias ensaios 6PAV e Q1

Ensaio	J90-L-6-Q1	C87-L-6-Q1	J45-L-6-Q1
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	X	-

Tabela 4.35 - Retenção de mídias ensaios 11PAV e Q1

Ensaio	J90-L-11-Q1	C87-L-11-Q1	J45-L-11-Q1
1	-	-	-
2	X	X	X
3	X	X	-

Tabela 4.36 - Retenção de mídias ensaios 17PAV e Q1

Ensaio	J90-L-17-Q1	C87-L-17-Q1	J45-L-17-Q1	2C90C-17-Q1	2C90L-17-Q1	2J45-17-Q1	4J45-17-Q1
1	X	X	-	-	X	-	-
2	X	-	-	X	-	-	-
3	X	-	X	X	X	-	-

A análise das Tabela 4.34, Tabela 4.35 e Tabela 4.36 em relação ao pavimento de descarga e somente para o sub-coletor em forma linear, demonstra que, as descargas realizadas nos andares mais altos resultam em maior número de retenções, sendo uma obstrução para o 6º pavimento, cinco para o 11º pavimento e cinco para o 17º pavimento. Indicando que as menores velocidades provenientes dos andares mais altos podem resultar em mais entupimentos na rede. Mas não há como concluir que os andares mais altos do que os analisados iriam proporcionar mais pontos de obstrução devido a pequena quantidade de pavimentos avaliados.

Em relação a variável vazão, devido às baixas velocidades que a vazão Q1 gera na rede, somente ela teve pontos de retenção.

Já em relação as conexões do desvio da prumada, a que teve pior desempenho foi a J90 com 5 paradas, seguido pela C87 com 4 e a com melhor desempenho foi a J45 com somente 2 paradas.

Por último, em relação as configurações do sub-coletor, as melhores conexões foram a 2J45 e 4J45, com nenhum ponto de entupimento e as duas curvas (2C90C e 2C90L) tiveram desempenhos iguais, com 2 pontos cada.

Como tentativa de correlacionar as vazões com os pontos de obstrução, nas Tabela 4.37 a Tabela 4.49 apresentam-se as velocidades dos ensaios que constam nas Tabela 4.34, Tabela 4.35 e Tabela 4.36. As tabelas possuem valores com asterisco (*) e estes indicam os trechos que as mídias ficaram obstruídas. Em sequência de cada tabela são apresentadas figuras

indicando os trechos que as médias ficaram retidas dentro da tubulação. O trecho 7 é apresentado somente a título de informação, ele foi desconsiderado do cálculo da média, pois não foi possível garantir a inclinação correta do trecho.

Na Tabela 4.37 é apresentado as três repetições para o ensaio com a conexão do joelho de 90°, com o sub-coletor de forma linear, com a descarga ocorrendo no sexto pavimento e com a vazão Q1. Não foi obtido nenhum ponto de retenção.

Tabela 4.37 - Vazões para o ensaio J90L-6-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1	1,12	1,30	
2	1,07	1,00	1,18
3	1,25	0,94	0,91
4	0,70	0,60	0,78
5	0,70	0,41	0,67
6	0,43	0,26	0,47
7	0,41	0,25	0,45
Média	0,88	0,75	0,80

Na Tabela 4.38 é apresentado as três repetições com o joelho de 90° na conexão do desvio da prumada, com o sub-coletor de forma linear, com a descarga ocorrendo no 11º pavimento e com a vazão Q1. As repetições dois e três tiveram pontos de retenção.

Tabela 4.38 - Vazões para o ensaio J90L-11-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1		0,62	0,43
2	0,50	0,45	0,18
3	0,44	0,32	0*
4	0,34	0,16	-
5	0,47	0*	-
6	0,28	-	-
7	0,30	-	-
Média	0,41	0,31	0,20

Figura 4.35 - Trecho de parada do segundo ensaio da série J90L-11-Q1



Figura 4.36 - Trecho de parada das mídias do terceiro ensaio da série J90L-11-Q1



Na Tabela 4.39 é apresentado os ensaios com a utilização do joelho de 90° na conexão do desvio da prumada, com o sub-coletor de forma linear, com a descarga ocorrendo no 17º pavimento e com a vazão Q1. Em todas as repetições ocorreram pontos de retenção.

Tabela 4.39 - Vazões para o ensaio J90L-17-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1	0,21	0,34	0*
2	0,10	0,25	-
3	0*	0,15	-
4	-	0,05	-
5	-	0*	-
6	-	-	-
7	-	-	-
Média	0,10	0,16	0,00

Figura 4.37 - Trecho de parada do primeiro ensaio da série J90L-17-Q1



Figura 4.38 - Trecho de parada do segundo ensaio da série J90L-17-Q1



Figura 4.39 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série J90L-17-Q1



Deste modo, as menores velocidades de transporte das mídias do 17º Pavimento mostradas anteriormente causaram mais pontos de retenção na rede.

Na Tabela 4.40 é apresentado os ensaios com a utilização da curva 87°30" na conexão do desvio da prumada, sub-coletor de forma linear, descarga ocorrendo no 6º pavimento e com a vazão Q1. Somente na última repetição que ocorreu retenção na rede, e a mesma ocorreu somente no último trecho. A velocidade foi marcada pois a primeira esponja completou o último trecho só que a maioria ficou retidas.

Tabela 4.40 - Vazões para o ensaio C87L-6-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1	1,01	1,32	
2	1,54	1,62	1,76
3	1,18	1,43	1,50
4	1,05	0,88	1,33
5	0,57	0,85	0,82
6	0,43	0,47	0,43
7	0,25	0,41	0,37*
Média	0,96	1,10	1,17

Figura 4.40 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série C87L-6-Q1



Na Tabela 4.41 é apresentado os ensaios com a utilização da curva 87°30" na conexão do desvio da prumada, sub-coletor de forma linear, descarga ocorrendo no 11º pavimento e com a vazão Q1. Nas duas últimas repetições ocorreram retenções na rede.

Tabela 4.41 - Vazões para o ensaio C87L-11-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1			
2		0,67	
3	0,77	0,70	0,64
4	0,39	0,30	0,25
5	0,54	0,16*	0,29
6	0,43	0,08	0,19*
7	0,43	0,05*	0,13
Média	0,53	0,38	0,34

Figura 4.41 - Trecho de parada do segundo ensaio da série C87L-11-Q1



Figura 4.42 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série C87L-11-Q1



Na Tabela 4.42 é apresentado os ensaios com a utilização da curva 87°30" como conexão do desvio da prumada, sub-coletor de forma linear, descarga ocorrendo no 17º pavimento e com a vazão Q1. Somente a primeira repetição teve retenção, sendo que a mesma foi indicada com dois pontos de retenção pois nos dois trechos ocorreram pontos de obstrução.

Tabela 4.42 - Vazões para o ensaio C87L-17-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1			
2		0,59	0,34
3	0,28	0,40	0,34
4	0,21*	0,41	0,19
5	0,13*	0,52	0,28
6	0,07	0,33	0,29
7	0,11	0,37	0,29
Média	0,17	0,45	0,29

Figura 4.43- Trecho de parada do primeiro ensaio da série C87L-17PAV-Q1



Na Tabela 4.43 é apresentado os ensaios com a utilização dos dois joelhos de 45º como conexão do desvio da prumada, sub-coletor de forma linear, descarga ocorrendo no 6º pavimento e com a vazão Q1. Não ocorreram retenções na rede.

Tabela 4.43 - Vazões para o ensaio J45L-6-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1			
2	1,43	1,71	1,58
3	1,54	1,13	1,62
4	1,18	1,13	1,43
5	0,77	0,79	1,15
6	0,55	0,53	0,95
7	0,55	0,42	0,83
Média	1,09	1,06	1,35

Na Tabela 4.44 é apresentado os ensaios com a utilização dos dois joelhos de 45° como conexão do desvio da prumada, sub-coletor de forma linear, descarga ocorrendo no 11º pavimento e com a vazão Q1. Somente a segunda repetição teve retenção na rede.

Tabela 4.44 - Vazões para o ensaio J45L-11-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1			
2	0,71	0,53	0,50
3	0,44	0,35	0,53
4	0,58	0,28*	0,38
5	0,30	0,17	0,31
6	0,24	0,09	0,28
7	0,40	0,18	0,36
Média	0,46	0,28	0,40

Figura 4.44- Trecho de parada do segundo ensaio da série J45L-11-Q1



Na Tabela 4.45 é apresentado os ensaios com a utilização dos dois joelhos de 45° como conexão do desvio da prumada, sub-coletor de forma linear, descarga ocorrendo no 17º pavimento e com a vazão Q1. Somente a terceira repetição teve retenção na rede.

Tabela 4.45 - Vazões para o ensaio J45L-17-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1	0,27		
2	0,33	0,33	0,60
3	0,35	0,32	0,20
4	0,32	0,31	0,16
5	0,29	0,29	0,16*
6	0,24	0,25	0,13
7	0,25	0,26	0,24
Média	0,30	0,30	0,25

Figura 4.45 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série J45L-11-Q1



Na Tabela 4.46 é apresentado os ensaios com a utilização da curva 87°30" como conexão do desvio da prumada, sub-coletor com duas curvas de 90° curtas, descarga ocorrendo no 17º pavimento e com a vazão Q1. A segunda e a terceira repetição tiveram retenção na rede.

Tabela 4.46 - Vazões para o ensaio 2C90C-17-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1			
2	0,36	0,26	0,27
3	0,44	0,26	0,22
4	0,34	0,27	0,25
5	0,33	0,22*	0,25
6	0,37	0,03*	0,12
7	0,31	0,00	0,04*
Média	0,37	0,21	0,22

Figura 4.46 - Trecho de parada do segundo ensaio da série 2C90C-17-Q1



Figura 4.47 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série 2C90C-17-Q1



Na Tabela 4.47 é apresentado os ensaios com a utilização da curva 87°30" como conexão do desvio da prumada, sub-coletor com duas curvas de 90° longas, descarga ocorrendo no 17º pavimento e com a vazão Q1. A primeira e a terceira repetição tiveram retenção na rede.

Tabela 4.47 - Vazões para o ensaio 2C90L-17-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1			
2	0,32	0,40	0,38
3	0,37	0,47	0,29
4	0,32*	0,43	0,29*
5	0,08*	0,31	0,03*
6	0,00	0,28	0,03*
7	0,00	0,37	0*
Média	0,22	0,38	0,20

Figura 4.48 - Trecho de parada do primeiro ensaio da série 2C90L-17-Q1



Figura 4.49 - Trecho de parada do terceiro ensaio da série 2C90L-17-Q1



Na Tabela 4.48 é apresentado os ensaios com a utilização da curva 87°30" como conexão do desvio da prumada, sub-coletor com quatro joelhos de 45°, descarga ocorrendo no 17º pavimento e com a vazão Q1. Nenhum dos casos tiveram retenção na rede.

Tabela 4.48 - Vazões para o ensaio 4J45-17-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1			
2	0,29	0,23	0,50
3	0,30	0,25	0,39
4	0,27	0,28	0,32
5	0,20	0,28	0,34
6	0,29	0,30	0,34
7	0,34	0,29	0,34
Média	0,27	0,27	0,38

Na Tabela 4.49 é apresentado os ensaios com a utilização da curva 87°30" como conexão do desvio da prumada, sub-coletor com dois joelhos de 45°, descarga ocorrendo no 17º pavimento e com a vazão Q1. Nenhum dos casos tiveram retenção na rede.

Tabela 4.49 - Vazões para o ensaio 2J45-17-Q1

TRECHO	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3
1			
2	0,36	0,47	0,33
3	0,32	0,36	0,30
4	0,26	0,35	0,14
5	0,23	0,22	0,17
6	0,20	0,19	0,16
7	0,23	0,22	0,13
Média	0,28	0,32	0,22

Na Tabela 4.50 são apresentadas as velocidades médias dos trechos dos ensaios que não ocorreram retenções dentro da rede, possibilitando fazer uma análise de qual velocidade não ocasiona entupimento na rede. Já na Tabela 4.51 é apresentada a velocidade média para os ensaios que tiveram obstrução na rede. Dessa forma analisa-se as velocidades que causaram entupimento na rede.

Tabela 4.50 - Velocidade média dos trechos dos ensaios que não ocorreu retenção das mídias na rede.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
J90-L-6-Q1	0,88	0,75	0,80
C87-L-6-Q1	0,96	1,10	
J45-L-6-Q1	1,09	1,06	1,35
J90-L-11-Q1	0,41		
C87-L-11-Q1	0,53		
J45-L-11-Q1	0,46		0,40
J90-L-17-Q1			
C87-L-17-Q1		0,45	0,29
J45-L-17-Q1	0,30	0,30	
2C90C-17-Q1	0,37		
2C90L-17-Q1		0,38	
2J45-17-Q1	0,28	0,32	0,22
4J45-17-Q1	0,27	0,27	0,38
Média		0,57	
Mínimo		0,22	
Máximo		1,35	

Tabela 4.51 - Velocidade média dos trechos dos ensaios que ocorreu retenção das mídias na rede.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
J90-L-6-Q1			
C87-L-6-Q1			1,17
J45-L-6-Q1			
J90-L-11-Q1		0,31	0,20
C87-L-11-Q1		0,38	0,34
J45-L-11-Q1		0,28	
J90-L-17-Q1	0,10	0,16	0,00
C87-L-17-Q1	0,17		
J45-L-17-Q1			0,25
2C90C-17-Q1		0,21	0,22
2C90L-17-Q1	0,22		0,20
2J45-17-Q1			
4J45-17-Q1			
Média		0,28	
Mínimo		0,00	
Máximo		1,17	

A partir das Tabela 4.50 e Tabela 4.51, nota-se que velocidades médias acima de 0,57 m/s não ocasionaram entupimentos nos ensaios. Já com velocidades médias abaixo de 0,22 m/s, 100% dos ensaios geraram entupimentos. Entre esses valores ocorrem casos que podem ter ocasionado ou não o entupimento da rede. Deste modo não é possível definir a velocidade mínima que não ocasionaria retenção nas tubulações.

4.6. INFLUÊNCIA DA ALTURA NA QUAL OCORRE A DESCARGA E VAZÃO NA ALTURA DE LÂMINA D'ÁGUA

A influência da altura de descarga e vazão na altura da lâmina d'água foi analisada de forma qualitativa, sendo esta somente visual e apresentada em sequência de fotos dos ensaios. Não foi realizada medição da altura da lâmina d'água.

Como critério para início da apresentação das fotos, utilizou-se o momento que a água encontra com a conexão. A partir deste momento, retirou-se 15 fotos do vídeo com

espaçamento de 15 frames entre cada uma, representando assim $\frac{1}{4}$ de segundo o espaçamento entre as fotos.

A seguir são apresentadas as Figura 4.50, Figura 4.51 e Figura 4.52 nas quais são mostrados o escoamento a 150 frames do início para as descargas Q1, Q2 e Q3, respectivamente. Verifica-se que quanto maior o volume de descarga maior a altura da lâmina d'água.

As Figura 4.53, Figura 4.54 e Figura 4.55 apresentam o escoamento a 120 frames do início com a variação do pavimento de descarga, sendo apresentado respectivamente, o 6º pavimento, 11PAV e 17PAV. A altura de lâmina d'água com a descarga ocorrendo no 17º pavimento é menor do que nos outros dois pavimentos e não é possível diferenciar a altura entre o 6º e 11º pavimento.

Figura 4.50 - Ensaio J90-L-6PAV-Q1-3 - 150 Frames



Figura 4.51 - Ensaio J90-L-6PAV-Q2-3 - 150 Frames



Figura 4.52 - Ensaio J90-L-6PAV-Q3-3 - 150 Frames



Figura 4.53 - Ensaio J90-L-6PAV-Q1-3. 120 Frames



Figura 4.54 - Ensaio J90-L-11PAV-Q1-3. 120 Frames



Figura 4.55 - Ensaio J90-L-17PAV-Q1-3. 120 Frames



Todas as imagens estão apresentadas no anexo deste trabalho. Comparando todas as figuras do anexo que tiveram a descarga no mesmo pavimento é possível observar que a altura e o volume de água que atinge as mídias são maiores e com maior duração quanto maior a vazão de descarga dos ensaios.

Com a análise de todas as figuras do anexo percebe-se que, para todas as vazões quanto maior a altura de descarga menor é a altura de lâmina d'água. A tal ponto que na altura do 17º pavimento com vazão Q1 não foi suficiente para poder mover as mídias. Este fato deve-se a influência das paredes das tubulações no fluído durante o seu escoamento, do mesmo modo que influenciou nas velocidades de transporte das mídias.

4.7. RESUMO DOS RESULTADOS

Como resumo dos resultados apresentados pode-se pontuar os seguintes tópicos:

- Quanto maior a altura do pavimento que está ocorrendo a descarga, menores as velocidades no sub-coletor e maior a possibilidade de retenção dos sólidos. Deste modo a preocupação com impacto nos casos de prédios altos deve ser em relação aos sólidos que porventura podem entrar na rede, por exemplo pregos, moedas e outros.
- Quanto maior o volume de descarga maiores as velocidades de transporte das mídias, com exceção para os pavimentos mais baixos, onde existe um limite do aumento do volume;
- O raio de curvatura da conexão do desvio do tubo de queda influência na velocidade de transporte das mídias, sendo que a curva 87°30" possui o melhor desempenho das conexões testadas;

- O raio da curvatura das conexões instaladas no sub-coletor influência na velocidade de transporte das mídias mais do que o ângulo delas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

A pesquisa realizada buscou apresentar a influência das decisões técnicas, construtivas e normativas, do projeto de sistemas prediais de esgoto sanitário, no qual escolhas erradas causam um pior desempenho do sistema e geram prejuízos, físicos e financeiros, para os construtores e moradores da edificação. Prejuízos estes que poderiam ser evitados caso as pesquisas a respeito do desempenho do sistema de esgoto sanitário estivessem melhor consolidadas.

Deste modo a pesquisa apresentou a comparação entre o comportamento do fluido variando: a altura que ocorre a descarga, a tipologia das conexões do desvio do tubo de queda, a vazão que o sistema está submetido e a conexão do sub-coletor. Outras variáveis devem ser estudadas em trabalhos futuros para que o conhecimento possa ser completo, sendo elas, o diâmetro, a inclinação, o comprimento da rede, outras mídias e outros padrões de descarga.

A partir dos resultados apresentados é possível concluir que as conexões do desvio do tubo de queda apresentam desempenho diferentes e que devem possuir regulamentação por parte normativa para que evite a utilização de peças que comprometam o desempenho do sistema. Este estudo deve levar em consideração a perda de energia que ocorre no desvio devido ao raio da conexão, mas também levar em consideração as condições de projeto no qual o pé direito das edificações é sempre limitante na escolha das conexões.

Em relação à altura de descarga, há uma preocupação no mercado em relação aos prédios com alturas elevadas e o impacto dela no escoamento, mas percebe-se que essa preocupação é errônea, pois os resultados mostram que quanto maior a altura, menor a energia que é encontrada no desvio, refletida pela altura de lâmina d'água. Neste caso a preocupação em relação à altura das edificações deve ser em relação aos sólidos que porventura podem adentrar as tubulações no caso de reformas e mau uso, por exemplo: moedas, pregos, parafusos e outros, estes iriam acelerar com pouca restrição e causar danos devido à grande velocidade que iriam atingir as peças do desvio.

Em relação a variação de vazão dentro das tubulações, pode-se concluir que descargas que ocorrem sem simultaneidade, somente uma descarga de 6L, podem causar pontos de entupimentos na rede, mas que provavelmente a subsequência das descargas das demais peças sanitárias e ambientes geram a limpeza das tubulações. Porém não é possível obter a garantia que essa limpeza seja total e não deixe pontos que podem, ao longo do tempo,

entupir a rede. Deste modo analisar a influência de descargas subsequentes em redes de grandes comprimentos, pelo menos 20 m, se faz necessário em trabalhos futuros.

É válido reiterar a necessidade de conhecimento mais próximo, através de pesquisas, dos hábitos de consumo dos moradores, para que seja possível o correto dimensionamento hidráulico da rede de esgoto, levando em consideração as vazões máximas e mínimas que o sistema está sujeito para que não ocorram entupimentos nem a deterioração das tubulações.

Já em relação às conexões no sub-coletor foi possível concluir que a NBR 8160 (ABNT, 1999) deve ser revista quanto a imposição da não utilização de peças de 90º pois algumas dessas tiveram desempenhos semelhantes a peças de 45º. Trabalhos futuros devem ser realizados com a variação do raio das peças e, assim, possivelmente mudar a exigência de ângulo máximo para o raio mínimo que a conexão possa ter, no qual os efeitos na velocidade sejam menores e não afetem o desempenho da rede.

Os resultados em relação à retenção de mídias neste trabalho não são passíveis de serem utilizados como referência para determinar velocidade mínima que não cause entupimentos, pois as mídias utilizadas não refletem a condição real do escoamento dentro das tubulações. As mídias utilizadas foram as possíveis de fazerem parte dos ensaios, devido ao momento da mudança para ensaios experimentais, sendo estas, eficazes para a comparação necessária deste trabalho. Indica-se realizar pesquisas para a melhor definição das mídias a serem utilizadas em trabalhos futuros.

Deste modo pode-se concluir que é necessária uma maior quantidade de estudos em relação ao desempenho das tubulações e projetos que são utilizadas no país. Levando em consideração as nossas condições de construção e alimentando modificações normativas que melhorariam o desempenho do sistema predial de esgoto sanitário. Provocando a diminuição da quantidade de manutenção e gastos pós-ocupação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução - NBR 8160/99**. [s.l: s.n.].
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. A112.19.2: Ceramic plumbing fixtures. p. 86, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15491: Caixa de descarga para limpeza de bacias sanitárias - Requisitos e métodos de ensaio. p. 40, 2010.
- _____. NBR 15097-1: Aparelhos sanitários de material cerâmico Parte 1: Requisitos e métodos de ensaios. p. 63, 2017.
- BARONI, B. T.; OLIVEIRA, L. H.; COMAS, F. N.; OTA, I. R. Drain diameter reduction in a two-storey residential building drainage system for optimised performance to water conservation. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 10–16, 2018.
- BOYD, H. R. Comparative Tests on the flushing efficiency of water closets. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, 1978.
- CHANG, R. W.; CHENG, C. L.; WANG, J. T. Simulation of multi-physics flow patterns in a single- drainpipe of gravity drainage systems -A preliminary CFD study. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 1–12, 2006.
- CHENG, C. L.; LIAO, W. J.; HE, K. C.; HSIEH, C. H.; LIU, Y. C. Empirical approach to main drain system design and solid transportation performance in buildings. **Building Services Engineering Research & Technology**, 2012.
- CHENG, C. L.; YEN, C. J.; HO, M. K. C.; LU, W. H. Study on transportation performance of main drain with low flash water closet in buildings. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 1–15, 2006.
- CHENG, L.-Y.; OLIVEIRA, L. H.; FAVERO, E. H. Particle-based Numerical Analysis of Drainage Flow inside Building System. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 227–238, 2012.
- CHENG, L.-Y.; OLIVEIRA, L. H.; FAVERO, E. H.; OLIVEIRA, I. B.; GONÇALVES, O. M. Simulation of drainage system in building using particle-based numerical method. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 77–91, 2013.
- _____. Simulação Computacional Do Escoamento Em Um Método De Partículas. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, p. 2790–2799, 2014.
- CHENG, L.-Y.; OLIVEIRA, L. H.; FERRACINI, D. A.; GONÇALVES, O. M. A numerical study on waste transport in main drain. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 1–12, 2014.
- CHENG, L.-Y.; OLIVEIRA, L. H.; OSELLO, P. H. S.; AMARO JR, R. A. A numerical modeling of solid waste transport in main drain. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 322–331, 2016a.
- _____. Simulação computacional do transporte de sólidos em sistemas prediais de esgoto sanitário. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 4436–4448, 2016b.
- CHENG, L.-Y.; OLIVEIRA, L. H.; OSELLO, P. H. S.; AMARO JR, R. A. A numerical

investigation on the hydrodynamic impact loads of the solid waste transport inside main drains. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 463–474, 2017.

CRUZ, D. C. **Análise de solicitações de assistência técnica em empreendimentos residenciais como ferramenta de gestão**. [s.l.] Universidade Federal de Goiás - Goiás - PPG Gecon, 2013.

FALDAGER, I. Effects of low flush water closets on transportation in the drainage system. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. D1-0 a D1-10, 1997.

FERREIRA, R.; CARVALHO, L.; CAMPOS, M. A. S. Plumbing Systems Pathologies Based on the Record of Technical Assistance and Design Procedures. *In: Building Pathology and Rehabilitation*. 1ª ed. [s.l.] Singapura: Springer Singapore, 2016. p. 163–182.

GALLOWIN, L. S. Water conservation requirements through standards and the test methods for plumbing fixtures. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 1 a 15, 1989.

_____. Comments on design sizing for low water consumption fixtures in drainage systems. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 26, 1991.

_____. Requirements in standards for water closet hydraulic performance testing with mixed bulk media materials. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. C3-0 a C3-34, 1997.

GALLOWIN, L. S.; SWAFFIELD, J. A. A waste transport study of drain pipe diameters and pitch effects with low flush fixture discharge profiles. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 179 a 202, 1992.

GRIGGS, J.; HEALY, A.; HALL, J. Discharges from WC's – Should pipework smaller than DN 100 be used - CIB 1998.pdf. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. C8-0 a C8-18, 1998.

ISHII, T.; OTSUKA, M. Experimental Study of Drainage Characteristics of Water-saving Toilet Bowls and Carrying Performance Evaluation. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 463–476, 2007.

KAJTAR, J.; MONAGHAN, J. J. SPH simulations of swimming linked bodies. **Journal of Computational Physics**, v. 227, n. 19, p. 8568–8587, 2008.

KAMATA, M.; MATSUO, Y.; TSUKAGOSHI, N. Studies on flow and transport of feces in horizontal waste pipes. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, 1979.

KITAMURA, S.; OTSUKA, M.; HIRAI, K. A Study on Drainage Transportability of Dual Flush 4-Liter Toilets. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 303–315, 2012.

KNOBLAUCH, H. J. Fakazell – a new test medium to simulate reality in W.C. system - CIB 1980.pdf. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 153 a 175, 1980.

KOBAYASHI, N.; OTSUKA, M. A Study on the Evaluation of a Super Water-Saving Toilet in Regard to the Drainage Performance thereof in the House Drain Section. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 277–288, 2012.

LEE, E. W. M.; YU, K. F.; XU, L. Application of computational fluid dynamics for prediction of clogging locations in building drainage system. **International Symposium Cib W062 On**

Water Supply and Drainage for Buildings, n. 1, p. 65–75, 2013.

MARTIN, J. C.; MOYCE, W. J. Part IV. An Experimental Study of the Collapse of Liquid Columns on a Rigid Horizontal Plane. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 244, n. 882, p. 312–324, 1952.

MINUSSI, R. B. **Rompimento de barreiras – análise experimental e numérica na previsão de velocidades de propagação de frentes de material hiperconcentrado**. [s.l.] UNESP - São Paulo, 2007.

MONAGHAN, J. J. SPH without a Tensile Instability. **Journal of Computational Physics**, v. 311, p. 290–311, 2000.

MONAGHAN, J. J.; KAJTAR, J. B. SPH particle boundary forces for arbitrary boundaries. **Computer Physics Communications**, v. 180, n. 10, p. 1811–1820, 2009.

MONAGHAN, J. J.; KOS, A. SOLITARY WAVES ON A CRETAN BEACH. **JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL, AND OCEAN ENGINEERING**, n. June, p. 145–154, 1999.

NIELSEN, O. I.; NIELSEN, V. Drainage systems for buildings with water closets with 3 liters of flushing water - cib 1979.pdf. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 1 a 15, 1979.

OLIVEIRA JÚNIOR, O. B. **Avaliação do desempenho funcional de bacias sanitárias de volume de descarga reduzido com relação à remoção e transporte de sólidos**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ÖNGÖREN, A.; MEIER, B. A numerical approach to investigate solid transport characteristics in waste water drainage systems. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, n. 1, p. 451–462, 2007.

PERC. The Drainline Transport of Solid Waste in Buildings. **Plumbing efficiency research coalition (PERC)**, p. 1 a 62, 2012.

SHIGEFUJI, H.; TSUKADA, R.; OTSUKA, M.; SHIMODA, K. Basic study on transport performance test of waste solids in drainage piping for lower flush water closets.pdf. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. D3-1 a D3-12, 1999.

SWAFFIELD, J. A.; BRIDGE, S.; GALOWIN, L. S. Mathematical modelling of time dependent wave attenuation and discrete solid body transport on gravity driven partially filled pipe flows. 1982.

SWAFFIELD, J. A.; GALOWIN, L. S. Investigation of apparent limits of drainline waste transport with low volume flush water closets. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 252 a 266, 1993.

_____. Low flush volume water closets, mixed media testing, waste transport and drainage sizing. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 32, 1994.

SWAFFIELD, J. A.; GOULDING, R. W.; CRERAR, S. A. Solid transport interaction in unsteady partially filled pipeflow.pdf. **INTERNATIONAL SYMPOSIUM CIB W062 ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS**, 1988.

SWAFFIELD, J. A.; MCDUGALL, J. A. Modelling solid transport in building drainage systems. **Water Science and Technology**, v. 33, n. 9, p. 9–16, 1996.

SWAFFIELD, J. A.; THANCANAMOOTOO, A. Modelling unsteady annular downflow in vertical building drainage stacks. **Building and Environment**, v. 26, n. 2, p. 137–142, jan. 1991.

SWAFFIELD, J. A.; WAKELIN, R. H. M. A study of the interaction of drainage System loading and reduced - cib 1979.pdf. **International Symposium Cib W062 On Water Supply and Drainage for Buildings**, p. 1–15, 1979.

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

VASCO, J. R. G. **Desenvolvimento de software utilizando a técnica sph (smoothed particle hydrodynamics) na geração de ondas de submersão.** [s.l.] Universidade Estadual de São Paulo - São Paulo, 2014.

ANEXOS

Figura 5.1 - Ensaio J90-L-6PAV-Q1-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



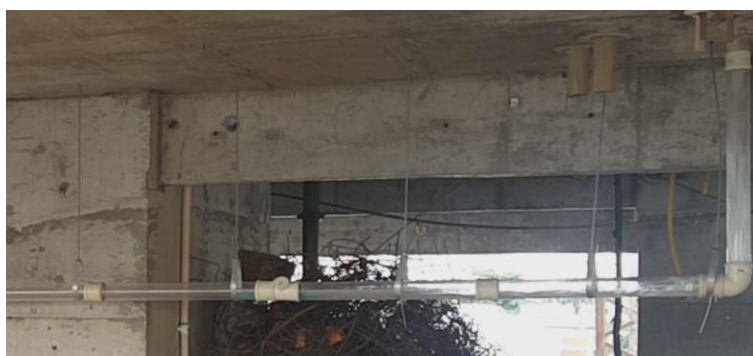
(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)

Figura 5.2 - Ensaio J90-L-6PAV-Q2-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



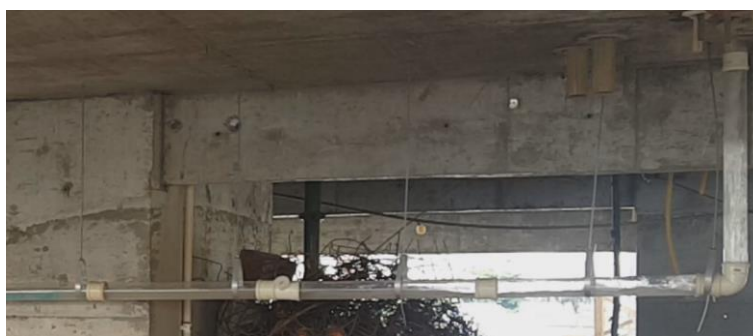
(i)



(j)



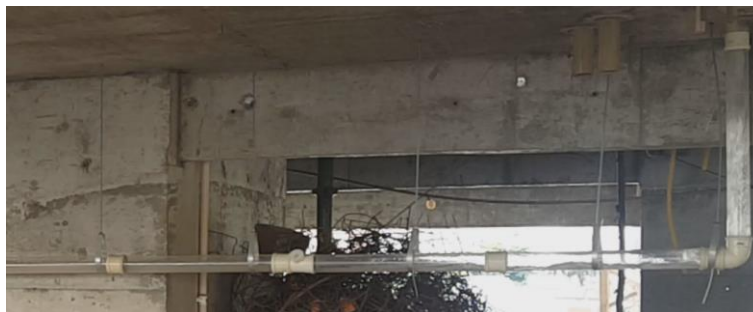
(k)



(l)



(m)



(n)



(o)

Figura 5.3 - Ensaio J90-L-6PAV-Q3-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



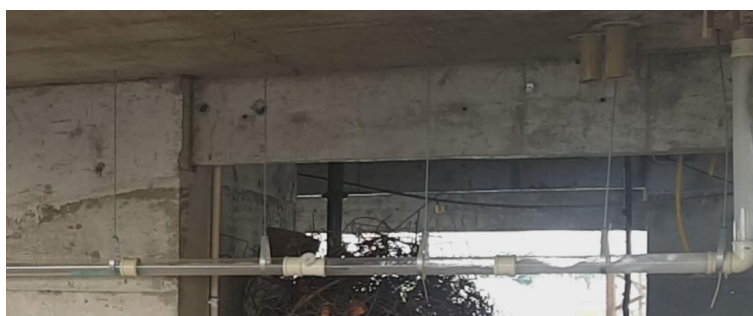
(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)

Figura 5.4 - Ensaio J90-L-11PAV-Q1-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



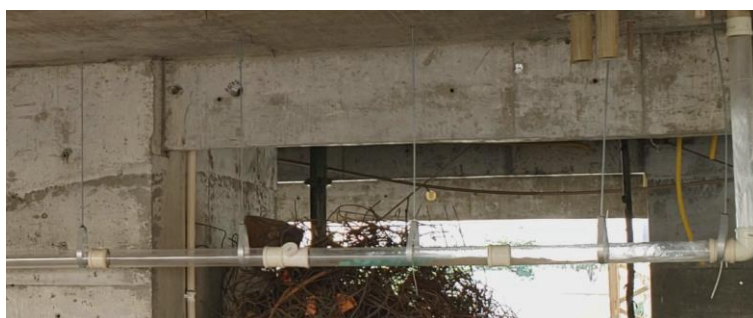
(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)

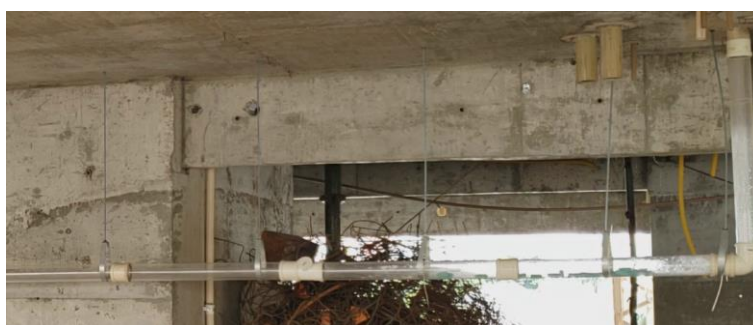
Figura 5.5 - Ensaio J90-L-11PAV-Q2-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



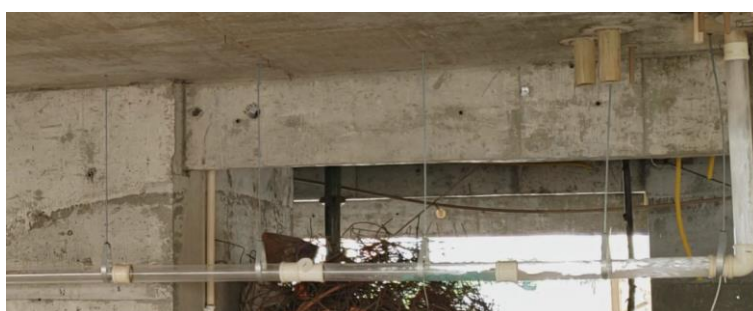
(h)



(i)



(j)



(k)



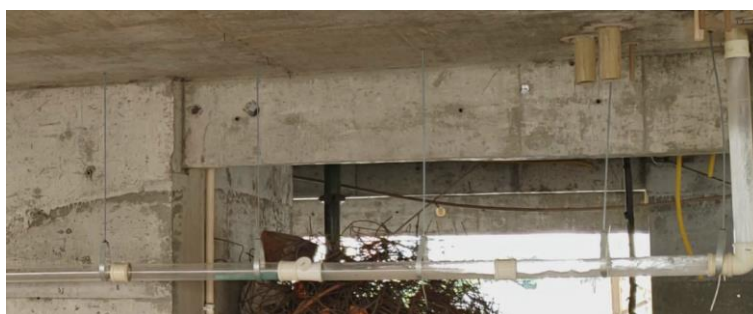
(l)



(m)



(n)



(o)

Figura 5.6 - Ensaio J90-L-11PAV-Q3-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)

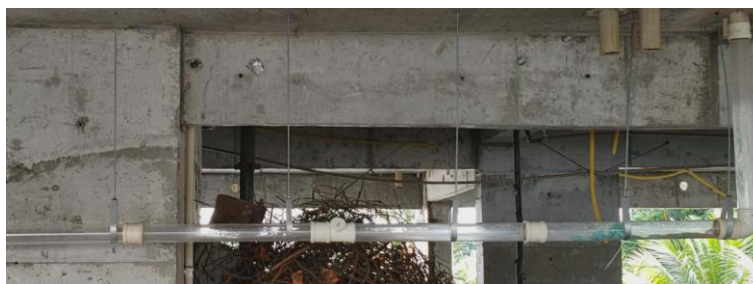


(o)

Figura 5.7 - Ensaio J90-L-17PAV-Q1-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



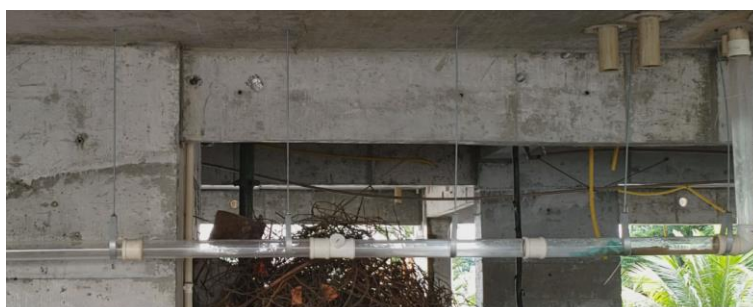
(d)



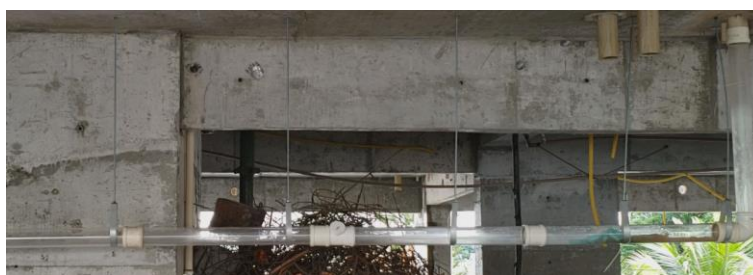
(e)



(f)



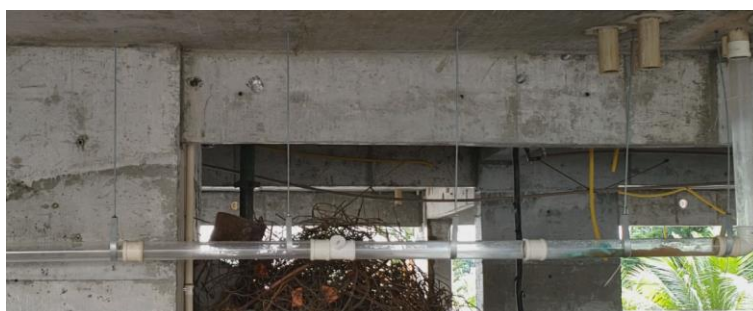
(g)



(h)



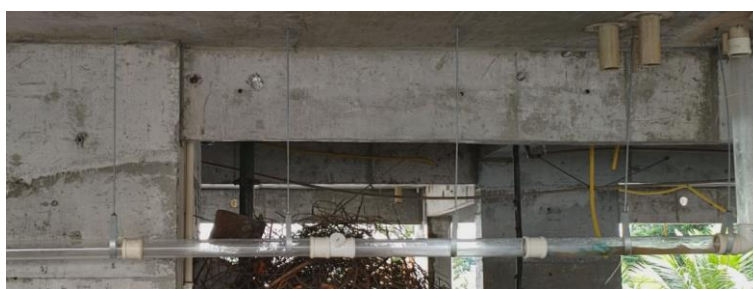
(i)



(j)



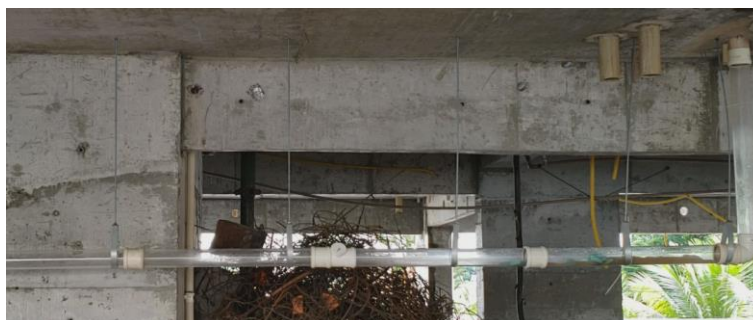
(k)



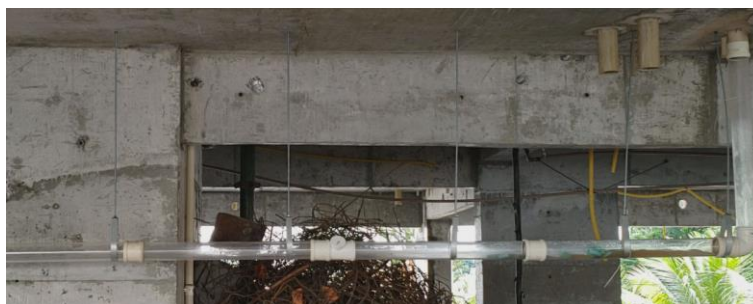
(l)



(m)

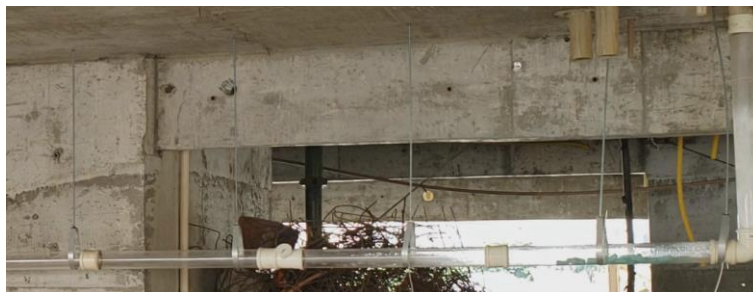


(n)



(o)

Figura 5.8 - Ensaio J90-L-17PAV-Q2-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)

Figura 5.9 - Ensaio J90-L-17PAV-Q3-3. (a – início fluxo; b – 15 frames; c – 30 frames; d – 45 frames; e – 60 frames; f – 75 frames; g – 90 frames; h – 105 frames ; i – 120 frames; j – 135 frames; k – 150 frames; l – 165 frames; m – 180 frames; n – 195 frames; o – 210 frames)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)