

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS – UNIGOIÁS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PROTÓTIPO: SISTEMA DE ABASTECIMENTO ENTRE RESERVATÓRIOS E
COMPARATIVO ENTRE TUBOS**

WERLES DA COSTA PEREIRA
ORIENTADORA: PROFA. M.A. REGINA DE AMORIM ROMACHELI

GOIÂNIA
Dezembro/2025

PROTÓTIPO: SISTEMA DE ABASTECIMENTO ENTRE RESERVATÓRIOS E COMPARATIVO ENTRE TUBOS

Werles Da Costa Pereira¹

Regina De Amorim Romacheli²

Resumo: Este trabalho aborda um estudo sobre sistemas hidrossanitários em edificações verticais, centrando-se no abastecimento entre reservatórios e na comparação entre diferentes materiais de tubulação. O objetivo principal foi avaliar como as perdas de carga influenciam o desempenho hidráulico e energético, considerando distintos materiais. O estudo foi dividido em duas fases: elaboração de um protótipo físico e sua aplicação prática. Empregaram-se tubos de PVC e de ferro galvanizado, além de discutir materiais alternativos como PPR e PEX. As perdas de carga foram calculadas pelas fórmulas de Darcy–Weisbach e Hazen–Williams. Os resultados mostram que materiais com menor rugosidade interna, como PVC, PPR e PEX, apresentam melhor eficiência hidráulica e energética, enquanto o ferro galvanizado, apesar de sua robustez, tende a aumentar a perda de carga ao longo do tempo devido à incrustação. Conclui-se que a seleção adequada dos materiais, alinhada ao cumprimento das normas técnicas vigentes (NBR 5626:2020, NBR 12217, NBR 15527), favorece a sustentabilidade, a economia e a eficiência dos projetos hidrossanitários.

Palavras-chave: Sistemas hidrossanitários. Perda de carga. Rugosidade. Eficiência energética. Materiais de tubulação.

PROTOTYPE: WATER SUPPLY SYSTEM BETWEEN RESERVOIRS AND COMPARISON BETWEEN PIPES

Abstract: This paper presents an investigation of hydrosanitary systems in multi-storey buildings, emphasizing water transfer between reservoirs and the comparison of pipe materials. The main aim was to assess the effect of head loss on hydraulic and energy performance across different materials. The research comprised two stages: building a physical prototype and conducting practical trials. PVC and galvanized iron pipes were tested, with discussion on alternatives such as PPR and PEX. Head losses were estimated using the Darcy–Weisbach and Hazen–Williams formulations. The findings indicate that smoother materials like PVC, PPR and PEX yield superior hydraulic and energetic performance, whereas galvanized iron, though durable, shows increasing head loss over time due to buildup. It is concluded that choosing appropriate materials and following updated technical standards (NBR 5626:2020, NBR 12217, NBR 15527) supports sustainability, cost reduction and efficiency in hydrosanitary design.

Keywords: Hydrosanitary systems. Head loss. Roughness. Energy efficiency. Pipe materials.

¹Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – UNIGOIÁS. E-mail: Werles.pereira@hotmail.com

²Professor/a Titular do Centro Universitário de Goiás – UNIGOIÁS. Mestre/a em Gestão Econômica do Meio Ambiente pela Universidade de Brasília (UnB). Lattes: <http://lattes.Cnpq.br/0261519721180926>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9160-068X>. E-mail: regina.amorim@unigoias.com.

INTRODUÇÃO

Ao projetar um sistema hidrossanitário, compreender a função de cada elemento na rede de abastecimento assegura precisão no dimensionamento e operação correta das peças e dispositivos, sendo fundamental calcular o tempo entre o início do abastecimento e a demanda atendida. Essa compreensão fundamenta-se na hidrostática, que estuda o comportamento dos fluidos e orienta as normas e práticas de projeto. Conforme Amaral (2016), uma das falhas mais recorrentes no dimensionamento relaciona-se às perdas de carga. O autor destaca que grandes perdas distribuídas ocorrem ao longo dos trechos lineares, quando a pressão decresce progressivamente por todo o comprimento da tubulação, enquanto perdas localizadas surgem em descontinuidades (seções singulares), onde o fluido sofre turbulência adicional — um aspecto frequentemente negligenciado em projetos.

Observar o comportamento do escoamento e mapear a variação das perdas de carga ao longo do circuito é essencial para conceber projetos mais completos, adequados à demanda hídrica do edifício e para reduzir perdas por vazamentos e conexões mal dimensionadas, fatores que afetam o tempo de abastecimento ou mesmo provocam falta de água.

Esta pesquisa busca compreender o funcionamento do abastecimento entre reservatórios por meio de cálculos, projetos e execução, apresentando esquemas e simulações em escala proporcional do experimento com fins didáticos e comparativos. Os aspectos físicos da instalação estão diretamente relacionados ao adequado dimensionamento e confecção das peças para garantir operação correta entre os reservatórios. Importa enfatizar que as instalações da edificação visam comparar no protótipo os parâmetros mínimos a serem adotados entre reservatórios inferior e superior, sendo esse dimensionamento dependente do volume, tempo e consumo de água. A representação construtiva da rede de água fria entre reservatórios ilustra as condições de execução, possibilitando avaliar erros e acertos na transposição entre projeto e obra.

As análises foram conduzidas pela construção e operação de um protótipo que reproduz as interferências decorrentes das perdas de carga em um sistema hidrossanitário de edifícios verticais, simulando o abastecimento e as variações de vazão em instalações com materiais distintos (galvanizado e PVC), contribuindo para o entendimento prático do tema e fomentando soluções técnico-econômicas mais viáveis.

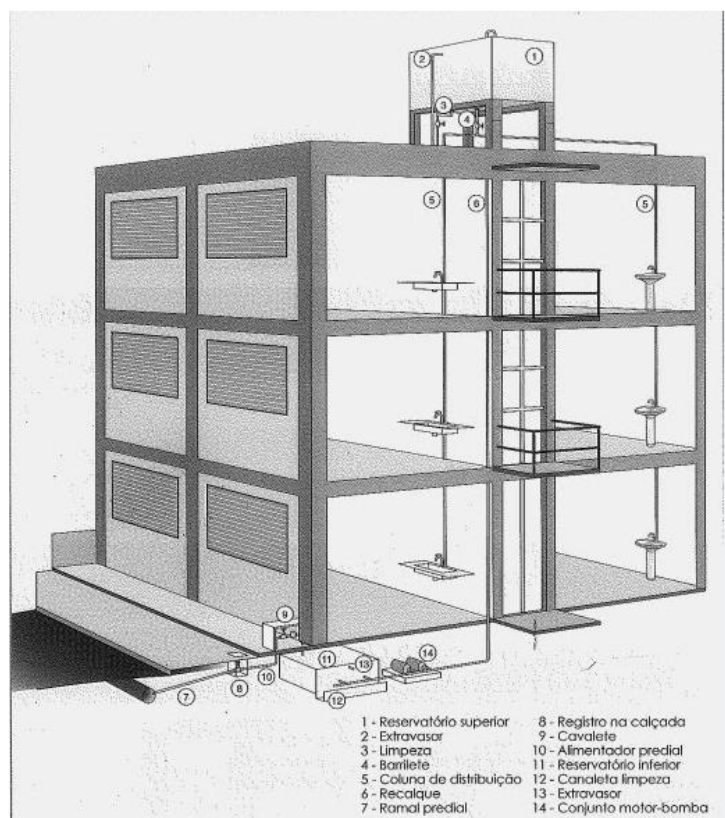
MATERIAL E METODOS

A perda de energia ocorre por atrito nas paredes internas das tubulações e nas mudanças de direção do escoamento, em decorrência de ramificações, reduções, curvas e posicionamento gravitacional das tubulações. Por isso, os dimensionamentos exigem cálculos precisos visando reduzir falhas na montagem da infraestrutura e dos equipamentos que compõem os reservatórios superior e inferior, os quais podem ser distribuídos ou centralizados.

Para o estudo de caso, foram considerados os parâmetros dos reservatórios inferior e superior de um edifício multipavimentos já existente, reduzidos a uma escala cabível em um protótipo, com o propósito de determinar a vazão e o tempo de abastecimento. Assim, foi possível quantificar a influência das conexões nas perdas de carga e suas respectivas contribuições. A figura 1 mostra os componentes essenciais de um sistema hidrossanitário e reproduz as condições da edificação utilizada como estudo de caso.

Compreender todos os componentes das instalações hidráulicas e elétricas dos reservatórios torna o processo simples ou por vezes complexo, quando normas, cálculos, diagramas e simuladores são necessários para validar as informações relativas a dimensões e vazões.

Figura 1: Partes constituintes da distribuição de água fria.



Fonte: Hélio Creder (2006).

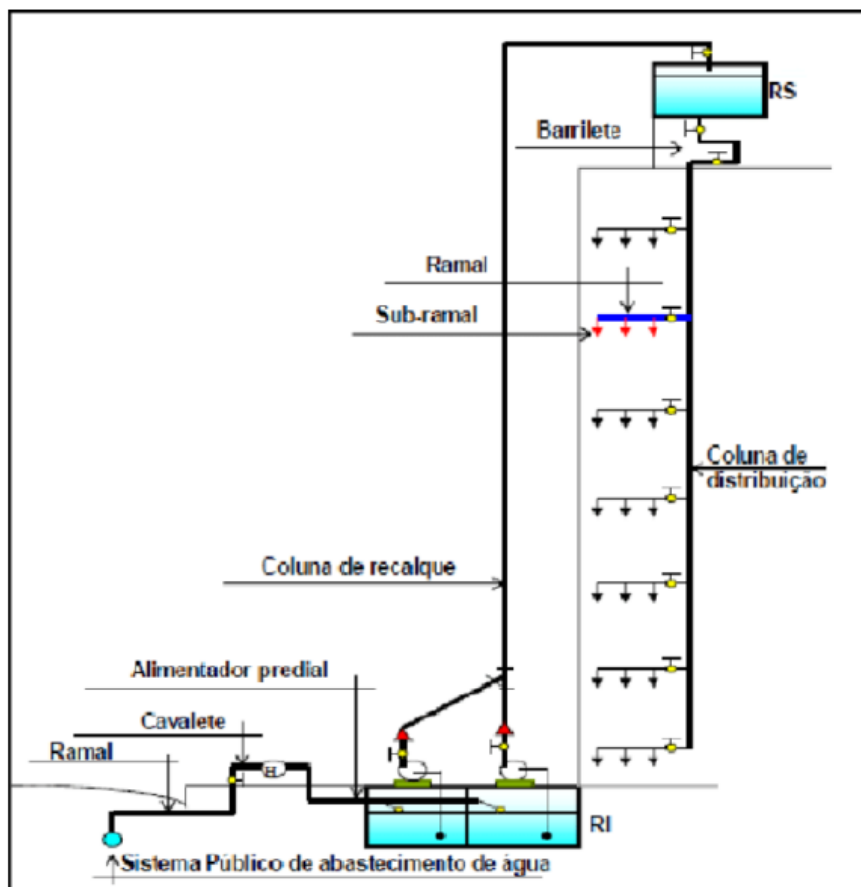
1. PROTÓTIPO EXECUTADO

Para o experimento, construiu-se um sistema de abastecimento entre dois reservatórios. O reservatório superior foi posicionado a 2 metros de altura, enquanto o reservatório inferior situou-se ao nível do piso. Os materiais utilizados foram:

- ☐ Galão de 20 litros.
- ☐ Tubo de PVC rígido de 25 mm.
- ☐ Tubo de PVC rígido de 20 mm.
- ☐ Uma bomba de 0,5 CV 220V.
- ☐ Chave boia elétricas para bomba e caixa d'água.
- ☐ Joelhos de 20 mm.
- ☐ Joelhos de 25 mm.
- ☐ Adaptadores flange com anel.
- ☐ Registros esfera de 25 mm.
- ☐ Registro esfera de 20 mm.
- ☐ Luvas de 25 mm.
- ☐ Quadro de comando com os seguintes componentes:
- ☐ Botoneiras com sinalização.
- ☐ Chave seletora.
- ☐ Disjuntor.
- ☐ Contactor.
- ☐ Bornes.
- ☐ Contador de tempo;
- ☐ Software de simulação

Para execução do protótipo executou-se o sistema baseado no esquema apresentado pelo autor.

Figura 2: Instalações Prediais de Água Fria.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5626 (2020).

Esses componentes foram conectados para reproduzir um sistema de abastecimento entre dois reservatórios prediais. A montagem utilizou uma coluna de subida em PVC de 25 mm. No percurso foi realizada uma derivação em "T", ligando uma tubulação de 20 mm e outra de 25 mm, ambas com registros de controle para regular o fluxo.

O reservatório superior possui entrada e saída que permitem o retorno do líquido ao reservatório inferior. Nesse trecho foi instalado um registro de 25 mm para controlar o fluxo no superior ou permitir o retorno ao inferior. O quadro de comando foi concebido com automação, possibilitando operação em dois modos: automático e manual. Em automático, o sistema identifica a falta de água no reservatório superior e aciona o abastecimento sem intervenção; em manual, a bomba é ligada somente por comando humano.

Além disso, implantou-se uma sinalização que indica o modo de operação (manual/automático). Foi incorporado um dispositivo que impede a partida da bomba quando não há água no reservatório inferior, evitando funcionamento a seco e danos ao equipamento. Assim, a bomba só opera quando há água disponível no reservatório inferior.

Por meio do experimento, determinam-se vazão, velocidade e pressão aplicando a equação de Bernoulli. O caráter do experimento é teórico-operacional, permitindo observar:

- Diferenças no fluxo entre os reservatórios: o inferior abastece o superior via bomba, e o superior retorna ao inferior por gravidade.
- A ocorrência de perda de carga nas conexões.
- Quando se promove uma obstrução no trecho de 25 mm forçando o escoamento por um diâmetro de 20 mm, observa-se dificuldade no fluxo através do trecho reduzido, exigindo maior esforço da bomba e reduzindo a lâmina de água que atinge o reservatório superior.
- O abastecimento mais eficiente ocorre pelo tubo de 25 mm, onde a bomba opera com menor esforço; essa diferença pode ser percebida inclusive pelo ruído da bomba.

2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

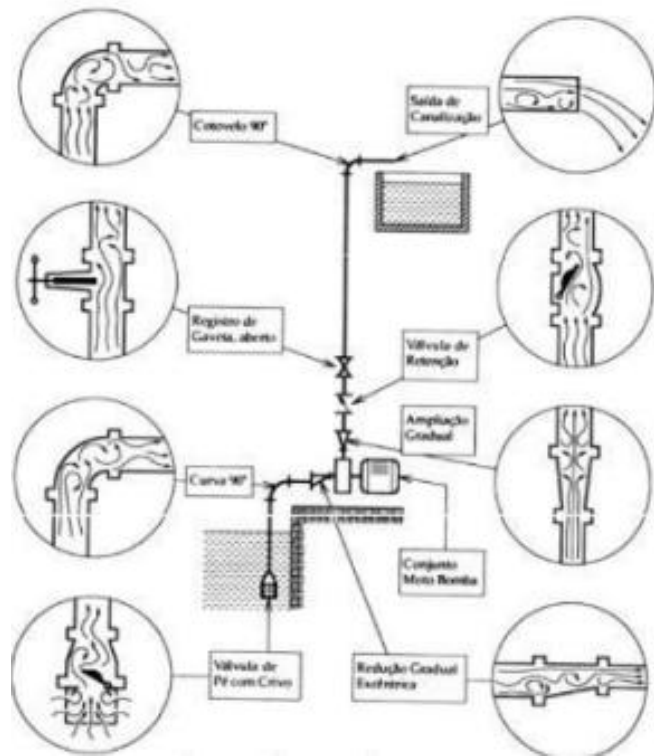
Além das perdas distribuídas ao longo do conduto, o protótipo evidenciou a relevância das perdas localizadas, que ocorrem nas conexões do circuito hidráulico. Elementos como curvas de 90°, T, registros e uniões, que causam mudanças bruscas na direção ou na velocidade do escoamento, provocam dissipação energética adicional que a bomba precisa vencer durante o recalque.

No arranjo experimental utilizado, as conexões representam uma parcela significativa da perda total de energia, pois o comprimento da tubulação é reduzido. Em sistemas compactos desse tipo, a influência das conexões tende a ser proporcionalmente maior do que em instalações prediais extensas, onde as perdas distribuídas ao longo dos trechos retos predominam. Assim, componentes como curvas e o registro inserido no protótipo assumem papel determinante no comportamento hidráulico, contribuindo para o aumento da altura manométrica necessária.

Do ponto de vista da modelagem, essas perdas são quantificadas pelos coeficientes de perda local (K), atribuídos a cada tipo de acessório. A soma desses coeficientes multiplicada pela energia cinética do escoamento permite estimar a perda localizada total. No protótipo, mesmo um número limitado de conexões resultou em parcela significativa da perda de carga, devido à elevada velocidade gerada pela curta tubulação e à vazão proporcionada pela bomba de 1/2 CV.

A presença dessas perdas localizadas aproxima o comportamento experimental às condições reais de instalações prediais, onde conexões, registros e singularidades são inevitáveis e têm papel essencial no dimensionamento das bombas e na eficiência global do sistema hidráulico.

Figura 3: Perca de Carga Localizada e Contínua.



Fonte: Dutra (2016).

Figura 4: Tabela de Comparação de Perca de Carga.

Perda de Carga em Tubulações de PVC (Valores em %)														Perda de Carga em Tubulações Metálicas (Valores em %)													
DC Ø Comercial (pol.)	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	DC Ø Comercial (pol.)	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"
DN Ø Nominal (mm)	20	25	32	40	50	65	75	100	125	150	200	250	300	DN Ø Externo (mm)	26,9	33,7	42,4	48,3	60,3	76,1	88,9	114,3	139,7	165,1	219,1	273	323,8
Vazão m³/h	Perdas de carga em 100 metros de tubos novos de PVC													Vazão m³/h	Perdas de carga em 100 metros de tubos metálicos novos												
0,5	1,2	0,4	0,1											0,5	1,3	0,4	0,1										
1,0	4,0	1,2	0,4	0,1	0,1									1,0	4,8	1,6	0,4	0,2	0,1								
1,5	8,2	2,5	0,8	0,3	0,1									1,5	10,1	3,4	0,9	0,4	0,1								
2,0	13,5	4,1	1,3	0,5	0,2	0,1								2,0	17,2	5,8	1,5	0,7	0,2	0,1							
2,5	20,0	6,0	2,0	0,7	0,3	0,1	0,1							2,5	26,1	8,8	2,3	1,1	0,3	0,1							
3,0	27,5	8,3	2,7	0,9	0,4	0,1	0,1							3,0	36,5	12,3	3,2	1,5	0,5	0,1	0,1						
3,5	36,0	10,8	3,5	1,2	0,5	0,2	0,1							3,5	48,5	16,4	4,2	2,0	0,6	0,2	0,1						
4,0	45,4	13,7	4,5	1,5	0,6	0,2	0,1							4,0	62,2	21,0	5,4	2,6	0,8	0,2	0,1	0,1					
4,5	55,8	16,8	5,5	1,9	0,8	0,3	0,1							4,5	77,3	26,1	6,7	3,2	1,0	0,3	0,1	0,1					
5,0	67,1	20,3	6,6	2,3	0,9	0,3	0,2	0,1						5,0	93,9	31,7	8,1	3,9	1,2	0,3	0,2	0,1					
5,5	79,3	23,9	7,8	2,7	1,1	0,4	0,2	0,1						5,5	108,0	37,8	9,7	4,6	1,4	0,4	0,2	0,1					
6,0	92,4	27,9	9,1	3,1	1,3	0,4	0,2	0,1						6,0	144,4	44,4	11,4	5,4	1,7	0,5	0,2	0,1					
6,5		32,1	10,4	3,6	1,4	0,5	0,3	0,1						6,5		157,3	48,3	12,3	5,3	1,8	0,5	0,2	0,1				
7,0		36,5	11,9	4,1	1,6	0,6	0,3	0,1						7,0		169,0	51,0	13,2	5,7	1,9	0,6	0,3	0,1				
7,5		41,2	13,4	4,6	1,9	0,6	0,4	0,1						7,5		177,2	52,2	13,6	5,9	1,9	0,6	0,3	0,2				
8,0		46,1	15,0	5,2	2,1	0,7	0,4	0,1						8,0		194,4	54,4	14,4	6,4	2,0	0,7	0,4	0,2				
8,5		51,3	16,7	5,8	2,3	0,8	0,4	0,1						8,5		217,3	56,3	15,3	6,6	2,1	0,7	0,4	0,2				
9,0		56,6	18,5	6,4	2,6	0,9	0,5	0,1						9,0		241,4	58,4	16,4	7,1	2,2	0,8	0,4	0,2				
9,5		62,3	20,3	7,0	2,8	1,0	0,5	0,2	0,1					9,5		267,7	60,7	17,7	7,7	2,3	0,9	0,4	0,2				
10,0		68,1	22,2	7,7	3,1	1,1	0,6	0,2	0,1					10,0		293,3	62,3	18,3	8,3	2,4	1,0	0,5	0,3	0,1			
12,0		93,7	30,5	10,6	4,2	1,5	0,8	0,2	0,1					12,0		401,3	81,3	25,3	10,3	3,3	1,3	0,6	0,3	0,1			
14,0			40,0	13,9	5,5	1,9	1,1	0,3	0,1					14,0		546,3	106,3	30,3	12,3	3,8	1,5	0,7	0,4	0,1			
16,0			50,5	17,5	7,0	2,4	1,3	0,4	0,1					16,0		699,3	132,3	36,3	14,3	4,3	1,7	0,7	0,4	0,1	0,1		
18,0			62,1	21,5	8,6	3,0	1,6	0,5	0,2	0,1				18,0		86,9	161,9	42,9	16,9	4,9	1,9	0,8	0,4	0,2	0,1		
20,0			74,7	25,9	10,3	3,6	2,0	0,6	0,2	0,1				20,0			180,2	15,2	4,4	2,0	1,0	0,2	0,1				
25,0				38,2	15,7	5,3	2,9	0,9	0,3	0,1				25,0			235,7	23,7	6,6	3,0	1,5	0,3	0,1				
30,0				52,6	21,0	7,3	4,0	1,2	0,4	0,1				30,0				33,3	9,3	4,2	2,1	0,4	0,2				
35,0				68,9	27,5	9,6	5,3	1,6	0,5	0,2	0,1			35,0				44,2	12,4	5,5	2,8	0,5	0,2	0,1			
40,0				87,0	34,7	12,1	6,7	2,0	0,6	0,2	0,1			40,0				56,6	15,8	7,1	3,6	0,7	0,3	0,1			
45,0				42,6	14,9	8,2	2,4	0,8	0,3	0,1				45,0				70,4	19,7	8,8	4,4	0,9	0,4	0,1			
50,0				51,3	18,0	9,8	2,9	0,9	0,3	0,1				50,0				85,6	23,9	10,7	5,4	1,1	0,5	0,1			
55,0				60,6	21,2	11,6	3,4	1,1	0,4	0,1				55,0					28,5	12,8	6,4	1,3	0,5	0,1			
60,0				70,5	24,7	13,5	4,0	1,3	0,5	0,1				60,0				33,5	15,0	7,6	1,5	0,6	0,2				
65,0				81,1	28,4	15,6	4,6	1,5	0,5	0,2	0,1			65,0				38,9	17,4	8,8	1,7	0,7	0,2	0,1			
70,0				92,4	32,4	17,7	5,2	1,7	0,6	0,2	0,1			70,0				44,6	20,0	10,1	2,0	0,8	0,2	0,1			
75,0					36,5	20,0	5,9	1,9	0,7	0,2	0,1			75,0				50,6	22,6	11,4	2,2	1,0	0,2	0,1			
80,0					40,9	22,4	6,6	2,1	0,8	0,2	0,1			80,0				57,0	25,6	12,9	2,5	1,1	0,3	0,1			
85,0					45,4	24,9	7,3	2,4	0,9	0,2	0,1			85,0				63,8	28,6	14,4	2,8	1,2	0,3	0,1			
90,0					50,2	27,5	8,1	2,6	1,0	0,3	0,1			90,0				70,9	31,8	16,0	3,1	1,3	0,3	0,1			
95,0					55,2	30,2	8,9	2,9	1,1	0,3	0,1			95,0				78,4	35,1	17,7	3,5	1,5	0,4	0,1			
100,0					60,4	33,1	9,7	3,2	1,2	0,3	0,1	0,1		100,0				86,2	38,6	19,5	3,8	1,6	0,4	0,1	0,1		
120,0					83,1	45,5	13,4	4,3	1,6	0,4	0,2	0,1		120,0					54,1	27,3	5,3	2,3	0,6	0,2	0,1		
150,0						67,2	19,8	6,4	2,4	0,7	0,2	0,1		150,0					81,8	41,2	8,1	3,4	0,9	0,3	0,1		
200,0						32,7	10,6	3,9	1,1	0,4	0,2			200,0						70,2	13,7	5,8	1,5	0,5	0,2		
250,0						48,4	15,7	5,8	1,6	0,6	0,3			250,0						20,7	8,8	2,2	0,7	0,3			
300,0						66,6	21,6	7,9	2,2	0,8	0,4			300,0						29,0	12,4	3,1	1,0	0,4			
350,0						87,2	28,2	10,4	2,9	1,1	0,5			350,0						38,6	16,5	4,1	1,3	0,6			
400,0							35,7	13,1	3,7	1,4	0,6			400,0						49,4	21,1	5,2	1,7	0,7			
450,0							43,8	16,2	4,5	1,7	0,7			450,0						61,5	26,2	6,5	2,1	0,9			
500,0							52,7	19,4	5,4	2,0	0,9			500,0						74,7	31,9	7,9	2,6	1,1			
600,0							72,5	26,7	7,5	2,8	1,2			600,0							44,6	11,1	3,6	1,5			
700,0							95,0	35,0	9,8	3,6	1,6			700,0							59,4	14,8	4,8	2,0			
800,0								44,2	12,4	4,6	2,0			800,0								76,0	18,9	6,1	2,6		

Fonte: Schneider (2025).

Com base nos ensaios do protótipo de recalque, integralmente montado com tubulação em PVC de 25 mm e equipado com bomba centrífuga de 1/2 CV, foram determinados os principais parâmetros hidráulicos que caracterizam o desempenho do conjunto. A metodologia incluiu medições práticas de vazão e comparação com os valores teóricos calculados segundo os princípios da mecânica dos fluidos.

Inicialmente, a vazão real foi obtida pelo tempo necessário para transferir 20 litros entre os reservatórios. O volume foi deslocado em 30 segundos, resultando em uma vazão próxima a 0,666 L/s (2,40 m³/h). A velocidade média no tubo de 25 mm foi estimada em 1,36 m/s, valor compatível com instalações prediais e coerente com o diâmetro empregado.

As perdas distribuídas foram calculadas pela equação de Darcy–Weisbach, adotando-se a rugosidade típica do PVC e o comprimento real de aproximadamente 2 metros. Os resultados apontaram perda distribuída de 0,17 m, indicando que, em tubos curtos e com baixo atrito, essa parcela tem contribuição reduzida no total da dissipação.

As perdas localizadas foram obtidas pela soma dos coeficientes das conexões presentes no protótipo (curvas, T, adaptadores e registro esférico de 25 mm). Essas singularidades resultaram em perda localizada estimada em 0,475 m, compondo a maior parte das perdas do sistema — comportamento típico de circuitos compactos com numerosos acessórios em trecho curto.

Somando-se a altura geométrica entre reservatórios (1,85 m) às perdas distribuídas e localizadas, obteve-se a altura manométrica total (HMT) requerida para o funcionamento do protótipo, cerca de 2,50 m. Esse valor confirma que o sistema opera com baixa exigência hidráulica, muito abaixo da capacidade típica de uma bomba de 1/2 CV, o que explica a vazão elevada e a estabilidade observada nos ensaios.

A análise confirma a aderência aos fundamentos da hidráulica predial clássica. Os ensaios validam as relações entre rugosidade, perdas de carga, diâmetro e eficiência do sistema, conforme exposto por Creder (2006), Azevedo Netto e Fernandez (2015) e as recomendações da ABNT NBR 5626:2020.

Conforme Creder (2006), tubulações com menor rugosidade interna, como o PVC, apresentam perdas distribuídas reduzidas, conferindo maior eficiência hidráulica. Essa premissa foi verificada no experimento, em que o PVC de 25 mm alcançou o menor tempo de transferência e a menor altura manométrica total calculada. A superfície interna lisa do PVC diminuiu a resistência ao escoamento e limitou a dissipação energética, comportamento previsto pela teoria.

Em sistemas de curta extensão, as perdas localizadas tendem a dominar em relação às perdas distribuídas (Azevedo Netto & Fernandez, 2015). Isso ficou evidente nos ensaios, onde as conexões e o registro esférico representaram a maior fração da perda total. A soma dos coeficientes de perda local (K) mostrou-se elevada quando comparada ao comprimento reduzido do duto, corroborando a predominância das perdas singulares em instalações compactas. comprimento reduzido da tubulação, reforçando o que é descrito pelos autores sobre a predominância das perdas singulares em instalações compactas.

Outro aspecto amplamente mencionado pela literatura é o efeito das reduções bruscas de diâmetro. A ABNT NBR 5626:2020 e os autores Creder (2006) e Azevedo Netto destacam que essas restrições aumentam a velocidade local do fluido, geram turbulência e ampliam a perda localizada. O experimento confirmou esse comportamento do estreitamento interno do registro equivalente a 20 mm elevou discretamente a perda de carga e aumentou o tempo de enchimento, embora a bomba superdimensionada tenha suavizado o impacto na vazão final.

Os resultados para tubulação galvanizada também se mostraram coerentes com o previsto pela literatura. Porto (2000) e Azevedo Netto (1998) descrevem que materiais metálicos apresentam maior rugosidade e maior tendência à formação de rebarbas e incrustações, especialmente quando passam por corte e roscagem. Essa característica eleva as perdas distribuídas e localizadas, o que foi constatado no protótipo, onde o tempo de transferência foi superior ao do PVC. Mesmo com conexões metálicas padronizadas, a rugosidade intrínseca do galvanizado e as imperfeições decorrentes da execução resultaram em maior dissipação energética.

A influência da bomba no conjunto está de acordo com a teoria. Operando com potência muito superior à exigida pelo protótipo, a bomba reduziu as diferenças de vazão entre os cenários testados (PVC, PVC com estreitamento e galvanizado). Esse fenômeno é conhecido: bombas sobredimensionadas tendem a estabilizar o escoamento e mascarar variações que seriam mais evidentes em condições de operação real (Creder, 2006).

Em síntese, os resultados experimentais apresentam forte correlação com os conceitos teóricos, comprovando a validade prática dos modelos de perdas distribuídas e localizadas, da influência da rugosidade e do diâmetro, e do impacto das características construtivas dos materiais no desempenho hidráulico. A coerência entre teoria e prática indica que o protótipo representa adequadamente o comportamento de sistemas de abastecimento entre reservatórios, permitindo extrapolações seguras para aplicações prediais reais.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1 PROJETO HIDROSSANITÁRIO E A CONSTRUÇÃO CIVIL

Silva et al. (2022) discutem a relevância de projetos hidrossanitários bem elaborados e sua relação com patologias construtivas. Segundo os autores, a elaboração e aprovação correta desses projetos são essenciais para assegurar o desempenho das edificações, prevenir falhas e reduzir custos de manutenção. Deficiências nesse nível comprometem a vida útil da construção e elevam despesas operacionais.

A perda de carga em sistemas hidráulicos é um fator crítico no dimensionamento de tubulações em edifícios verticais. Silva (2022) ressalta que quantificar a perda de carga em tubulações de abastecimento é imprescindível para evitar desperdício de energia e garantir eficiência. Métodos como Darcy–Weisbach e Hazen–Williams são amplamente utilizados para o cálculo da perda de carga e otimização do desempenho hidráulico. A escolha de materiais e diâmetros interfere diretamente na eficiência do sistema.

Além da eficiência hidráulica, a análise de patologias recorrentes em instalações hidrossanitárias é vital para prevenir falhas. Problemas como vazamentos, corrosão e obstruções podem ser minimizados com projeto adequado que considere pressão, vazão e durabilidade dos materiais. Dispositivos reguladores de pressão e sistemas de monitoramento contribuem para aumentar a vida útil das instalações e reduzir intervenções corretivas.

A integração entre projetistas e equipes de manutenção é determinante para o sucesso dos sistemas hidrossanitários. Segundo Pimentel (2022), a falta de comunicação entre projetistas e manutenção pode ocasionar dificuldades operacionais e elevar custos de reparo. A disponibilização e atualização contínua dos projetos é essencial para manter a eficiência dos sistemas ao longo do tempo.

A relevância do projeto hidrossanitário em edifícios verticais vai além do dimensionamento de tubulações: envolve aplicação de normas técnicas, consideração das perdas de carga, prevenção de patologias e integração multidisciplinar. Estudos recentes reforçam a necessidade de planejamento detalhado e uso de metodologias avançadas para assegurar eficiência e sustentabilidade dos sistemas hidrossanitários.

2 NORMAS TÉCNICAS APLICADAS A PROJETOS HIDROSSANITÁRIOS

A NBR 12217, que trata do Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público, estabelece diretrizes para o dimensionamento de reservatórios destinados ao consumo humano, descrevendo procedimentos que devem ser observados quanto

ao consumo e aos componentes elétricos e civis necessários ao funcionamento adequado dos reservatórios, inferiores ou superiores.

A ABNT NBR 5626:1998 define os parâmetros de dimensionamento para instalações de água fria, visando garantir fornecimento contínuo e em quantidade suficiente, com pressões e velocidades adequadas para o perfeito funcionamento do sistema de tubulações e peças, preservar a potabilidade da água e proporcionar conforto aos usuários, incluindo a prevenção de propagação de ruídos nas tubulações.

Os reservatórios domiciliares de água fria encontram-se especificados na NBR 8220, que padroniza capacidades nominais, diâmetro interno e materiais, tipicamente em poliéster reforçado com fibra de vidro.

A água é recurso finito; para evitar desperdício são necessárias infraestruturas sem vazamentos e com manutenção preditiva, preventiva e corretiva, que preservem a disponibilidade segura e contínua do serviço, evitando falhas e interrupções. A manutenção em sistemas, equipamentos e máquinas é essencial para aumentar vida útil dos componentes, reduzir custos de manutenção e prolongar o tempo de operação. Novas ferramentas e materiais permitem metodologias de diagnóstico mais rápidas e precisas, ampliando a eficiência das infraestruturas. Segundo Batista (2002), a manutenção preventiva é realizada antes de falhas para reduzir riscos e aumentar disponibilidade; a preditiva baseia-se no monitoramento das condições dos equipamentos para agir antes da falha; a corretiva ocorre após a falha para restaurar o equipamento; e a proativa atua na identificação e resolução dos problemas de forma preventiva para diminuir o risco de ocorrências.

Hoje, o monitoramento pode ser realizado em tempo real, otimizando e verificando o funcionamento de componentes de infraestrutura, tanto elétrica quanto civil. Isso possibilita aplicações no estudo de caso para monitorar níveis de reservatórios, consumo, perdas, tempo de uso das bombas, ciclos de registros, entre outros (Wictor, 2021).

3 CÁLCULO DE PERDAS DE CARGA EM PROJETOS

Em sistemas hidrossanitários, a perda de carga deve ser avaliada em todas as etapas do abastecimento — desde a entrada do fluxo até o ponto terminal. Ela pode ser calculada por diferentes métodos. Silva (2014) apresenta a classificação em duas categorias principais:

- Perda de carga distribuída: ocorre ao longo do comprimento da tubulação devido ao atrito entre o fluido e as paredes internas. É calculada pela equação de Darcy-Weisbach, que considera fatores como diâmetro da tubulação, velocidade do fluido e coeficiente de rugosidade.

- Perda de carga localizada: resulta de conexões, válvulas e mudanças de direção no percurso do fluido. É estimada por meio de coeficientes de resistência específicos para cada tipo de acessório.

A equação de Darcy-Weisbach é a mais comum a ser utilizada nos cálculos e é expressa como:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

onde:

- h_f é a perda de carga (m),
- f é o fator de atrito de Darcy-Weisbach,
- L é o comprimento da tubulação (m),
- v é a velocidade do fluido (m/s),
- D é o diâmetro da tubulação (m),
- g é a aceleração da gravidade (m/s²).

A equação de Hazen-Williams também é amplamente utilizada para estimativas práticas em sistemas de abastecimento de água:

$$h_f = \frac{10.67 L Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

onde:

- h_f : perda de carga (m)
- L : comprimento da tubulação (m)
- Q : vazão (m³/s)
- C : constante de rugosidade de Hazen-Williams (adimensional)
- D : diâmetro interno da tubulação (m)

4 COMPARATIVO DE MATERIAIS

A rugosidade interna das tubulações é parâmetro hidráulico crítico, pois influencia diretamente as perdas de carga e, consequentemente, a eficiência do transporte de fluidos. A comparação entre PVC e ferro fundido (incluindo o dúctil) revela diferenças significativas em suas propriedades e evolução ao longo do tempo, tema amplamente tratado na literatura (Azevedo Neto, 1998).

Autores clássicos como Porto (2000) e Azevedo Netto e Alvarez (1982) mostram que a perda de carga é influenciada pela rugosidade absoluta (ϵ) do material. Tubos de PVC novos geralmente apresentam ϵ entre 0,0015 mm e 0,010 mm, indicando superfície muito lisa. Em

contraste, ferro fundido novo e revestido pode apresentar ϵ entre 0,25 mm e 0,50 mm. Essa diferença inicial confere ao PVC vantagem em termos de menores perdas de carga.

Tanto PVC quanto ferro fundido são usuais em instalações hidrossanitárias, mas cada material traz vantagens e limitadores. A escolha entre eles depende de tipo de instalação, custo, durabilidade e condições ambientais (Construlider, 2025).

2.5 GRAU DE RUGOSIDADE DE MATERIAIS

O grau de rugosidade é fator determinante no dimensionamento hidráulico de qualquer rede de tubulações. Trata-se da aspereza da superfície interna: superfícies mais rugosas causam maior perda de carga, elevando a resistência ao escoamento e a dissipação de energia. Essa característica é quantificada por coeficientes como a rugosidade absoluta (ϵ) ou o coeficiente de Hazen–Williams (C), conforme a formulação adotada.

Alto coeficiente de Hazen–Williams (C): devido à superfície lisa, o PVC apresenta valores de C elevados, tipicamente entre 140 e 150 para tubos novos. Um C alto indica menor resistência ao fluxo, possibilitando transportar maior vazão com a mesma perda ou a mesma vazão com perda reduzida, o que impacta positivamente no consumo energético em sistemas de bombeamento.

Para tubos de ferro fundido novos, ϵ normalmente varia entre 0,014 mm e 0,25 mm; em tubos usados ou com incrustações, esse valor pode aumentar significativamente, alcançando entre 2,4 mm e 12 mm, devido à suscetibilidade do ferro à oxidação e formação de incrustações que reduzem o diâmetro efetivo e comprometem o escoamento (Garcez, 1999).

Outros materiais apresentam perfis de rugosidade variados:

- **Tubos de Cobre:** Utilizados em instalações de água quente, possuem uma superfície interna relativamente lisa quando novos, com ϵ em torno de 0,0015 mm a 0,005 mm e C variando de 130 a 140 (Porto, 2000).
- **Tubos de Aço Galvanizado:** Comumente encontrados em instalações mais antigas, o epara aço galvanizado novo varia de 0,06 mm a 0,15 mm. Enquanto isso, a rugosidade pode aumentar significativamente devido à "tuberculização", um processo que leva à formação de incrustações e altas perdas de carga (Confea, 2018).
- **Tubos de PPR (Polipropileno Copolímero Random):** Cada vez mais usados em água quente e fria, o PPR possui uma superfície muito lisa, com ϵ tipicamente em torno de 0,007 mm (Flexiparts, [sd]) e C entre 140 e 150.

- **Tubos PEX (Polietileno Reticulado):** Maleáveis e versáteis para água quente e fria, os tubos PEX apresentam uma superfície interna lisa, com ϵ em torno de 0,007 mm (Hidráulica Potenza, [s.d.]; Astra, [s.d.]) e C próximo a 140.

Optar por materiais de baixa rugosidade, como PVC, PPR ou PEX, traz benefícios ao projeto e à operação: menor consumo energético, possibilidade de usar diâmetros menores e maior vida útil hidráulica do sistema. "O conhecimento da rugosidade dos tubos é importante para o sucesso do projeto, operação e avaliação de sistemas hidráulicos" (Silva, Pereira da Silva, 2019). Entender as características de rugosidade de cada material é imprescindível para conceber instalações eficientes, duráveis e economicamente viáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

1. EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo é composto por um reservatório inferior (ponto de sucção da bomba) e um reservatório superior localizado a uma altura fixa, o que permite calcular a altura geométrica do sistema. A linha de recalque foi executada com tubulação de 25 mm de diâmetro interno e cerca de 2 metros de comprimento real, incluindo trechos retos e conexões como curvas e registro de passagem. O circuito conta também com quadro de comando, suportes metálicos, estrutura de fixação e visores de inspeção para garantir estabilidade durante os testes.

O arranjo foi projetado para permitir a troca entre tubulação em PVC e eletroduto galvanizado sem alterar a estrutura restante, possibilitando comparações diretas entre materiais. A vazão foi medida pelo enchimento controlado de um recipiente padrão de 20 litros, estabelecendo relação direta entre comportamento experimental e cálculos teóricos de perdas de carga e altura manométrica.

A operação do protótipo permitiu avaliar como rugosidade interna, comprimento, conexões e potência da bomba influenciam o escoamento, considerando implicações práticas para instalações prediais reais. Assim, o protótipo funciona como plataforma didática e experimental para analisar a interação entre teoria e condições operacionais reais.

Figura 5: Protótipo dos reservatórios em Tubos PVC.



Figura 5: Protótipo dos reservatórios em Tubos Galvanizado.



2 RESULTADOS PARA TUBULAÇÃO EM PVC

No protótipo com bomba centrífuga de 1/2 CV, observou-se que conexões e singularidades influenciam diretamente o comportamento hidráulico, sobretudo porque a tubulação é curta e majoritariamente em PVC de 25 mm. Destaca-se o registro esférico cuja passagem interna é reduzida, próxima a 20 mm, introduzindo estrangulamento localizado.

As perdas distribuídas praticamente não mudaram, pois o comprimento do duto permaneceu o mesmo e o material é PVC de baixa rugosidade. Assim, mesmo com estreitamento local, a perda distribuída continua pequena devido ao comprimento reduzido (~2 m). As perdas localizadas, porém, compõem parcela relevante da dissipação, uma vez que o número de conexões é elevado em relação ao comprimento total — característica típica de montagens experimentais compactas.

Apesar disso, a redução de vazão foi limitada. A medição mostrou que o tempo para transferir 20 litros passou de 30 s (trecho integral em 25 mm) para 31 s (com registro de 20 mm), correspondendo a queda de apenas 3,1% na vazão. Esse pequeno impacto confirma que a bomba de 1/2 CV opera com ampla margem de capacidade em relação à altura manométrica exigida pelo protótipo. Assim, mesmo com aumento das perdas localizadas no registro, a bomba manteve quase a mesma vazão.

Os resultados indicam que, em protótipos curtos e com bomba superdimensionada, estrangulamentos pontuais têm impacto reduzido no desempenho global. Contudo, em instalações prediais reais, com longos trechos e bombas dimensionadas para o ponto de operação, reduções localizadas de diâmetro podem provocar efeitos bem mais significativos, como queda acentuada de vazão, aumento da HMT e redução de eficiência.

Em síntese, o experimento ilustra a distinção entre perdas distribuídas e localizadas e mostra como a escala reduzida e a elevada potência da bomba atenuam os efeitos negativos de restrições pontuais — aspecto a ser considerado ao extrapolar resultados para sistemas maiores.

Figura 6: Protótipo Registro Ligado para 25mm.



Figura 7: Protótipo Registro Ligado para 20mm.



3. CÁLCULO DA VAZÃO E PERDA DE CARGAS

Calculando a vazão em cada situação, tem-se que

Para 25 mm (30 s):

$$Q(25) = \frac{20L}{30s} = 0,6666 L/s$$

$$\text{Redução} = \frac{Q_{25} - Q_{20}}{Q_{25}} \times 100$$

Para 20 mm (31 s):

$$Q(20) = \frac{20L}{31s} = 0,6451 L/s$$

$$\text{Redução} = \frac{0,6666 - 0,6451}{0,6666} \times 100 = 3,22\%$$

Figura 6: Medidas dos Dutos PVC.



Figura 7: Medidas dos Dutos PVC.



Figura 8: Tabela de Perdas de Cargas.

Tabela de comprimentos equivalentes em metros de canalização, para cálculo das perdas de carga localizadas.										
CONEXÃO		Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização								
		Material	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	5"
Curva 90°		PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,9
		Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	2,1
Curva 45°		PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
		Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9
Joelho 90°		PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,9
		Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	4,2
Joelho 45°		PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	2,5
		Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,9
Tê de passagem direta		PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
		Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,7
Tê de saída lateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	8,4
Tê de saída bilateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	8,4
União		PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,25
		Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04
Saída de canalização		PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	4,9
		Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	4,0
Luva de redução (*)		PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	1,2
		Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto		PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1
		Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,9
Registro de globo aberto		Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	43,0
Registro de ângulo aberto		Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	21,0
Válvula de pé com crivo		PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	37,4
		Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal 	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	10,4
	Vertical 	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	16,1

Fonte: Schneider (2025).

Tabela 1: Perdas de Cargas Localizadas.

Perdas de Carga Localizadas (equivalência em metros de tubulação) Conexões de PVC					
Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Rugosidade	Total Rug.
1	Flange para caixa d'água DN20X1/2	pç	2	0,50	1,00
2	Joelho 25mm 90 X 25mm Pvc Cola Soldavel Marrom	pç	4	0,50	2,00
3	Te Soldavel Marrom 3/4 25mm	pç	2	0,80	1,60
4	Registro esfera soldável DN 25 marrom	pç	1	0,10	0,10
5	União Soldável 25mm	pç	1	0,10	0,10
6	Adaptador Soldável 25mm	pç	1	0,05	0,05
7	Bucha de Redução Pvc Br Roscável 25mm para 32mm	pç	1	0,30	0,30
Total PVC					5,15

Procedendo os cálculos encontra-se os seguintes resultados:

Vazão real do protótipo PVC (25 mm)

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,020}{30} = 0,0006667 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow Q = 0,666 \text{ L/s} = 2,40 \text{ m}^3/\text{h}$$

Velocidade na tubulação PVC de 25 mm

$$D = 0,025 \text{ m} \quad A = \frac{\pi D^2}{4} = 4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0006667}{4,91 \times 10^{-4}} = 1,36 \text{ m/s}$$

Energia cinética específica:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{(1,36)^2}{2 \times 9,81} = 0,094 \text{ m}$$

Perda distribuída (Darcy–Weisbach)

$$L = 2,0 \text{ m} \quad f \approx 0,0229 \rightarrow hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \rightarrow hf = 0,0229 \times \frac{2}{0,025} \times 0,094 = 0,17 \text{ m}$$

Perdas localizadas (somente acessórios PVC 25 mm)

$K_{\text{total}} \approx 5,15$

$$h_L = K_{\text{total}} \times \frac{V^2}{2g} \rightarrow h_L = 5,15 \times 0,094 = 0,4841 \text{ m}$$

Altura manométrica total

$$H_g = 1,85 \text{ m} \rightarrow H_T = H_G + h_F + h_L \rightarrow H_T = 1,85 + 0,17 + 0,4841 = 2,5041 \text{ m}$$

Tabela 2: Perdas de Cargas Localizadas.

Perdas de Carga Localizadas (equivalência em metros de tubulação) Conexões de PVC com redução de 20mm					
Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Rugosidade	Total Rug.
1	Flange para caixa d'água DN20X1/2	pç	2	0,50	1,00
2	Joelho 25mm 90 X 20mm Pvc Cola Soldável Marrom	pç	2	0,50	1,00
3	Joelho 20mm 90 X 25mm Pvc Cola Soldável Marrom	pç	4	0,50	2,00
4	Te Soldável Marrom 3/4 25mm	pç	2	0,80	1,60
5	Registro esfera soldável DN 20 marrons	pç	1	0,10	0,10
6	União Soldável 25mm	pç	1	0,10	0,10
7	Adaptador Soldável 25mm	pç	1	0,05	0,05
8	Bucha de Redução Pvc Br Roscável 25mm para 32mm	pç	1	0,30	0,30
	Total PVC				6,15

Procedendo os cálculos encontra-se os seguintes resultados:

Vazão real do protótipo PVC (20 mm)

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,020}{31} = 0,000645 \text{ m}^3/\text{s} \quad \rightarrow \quad Q = 0,666 \text{ L/s} = 2,32 \text{ m}^3/\text{h}$$

Velocidade na tubulação PVC de 25 mm

$$D = 0,025 \text{ m} \quad A = \frac{\pi D^2}{4} = 4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000645}{4,91 \times 10^{-4}} = 1,31 \text{ m/s}$$

Energia cinética específica:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{(1,31)^2}{2 \times 9,81} = 0,088 \text{ m}$$

Perda distribuída (Darcy–Weisbach)

$$L = 2,0 \text{ m} \quad f \approx 0,0229 \quad \rightarrow \quad hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad \rightarrow \quad hf = 0,0229 \times \frac{2}{0,025} \times 0,088 = 0,16 \text{ m}$$

Perdas localizadas (somente acessórios PVC 25 mm)

$K_{\text{total}} \approx 6,15$

$$h_L = K_{L\text{total}} \times \frac{V^2}{2g} \quad \rightarrow \quad h_L = 6,15 \times 0,088 = 0,5412 \text{ m}$$

Altura manométrica total

$$H_g = 1,85 \text{ m} \quad \rightarrow \quad H_T = H_G + h_F + h_L \quad \rightarrow \quad H_T = 1,85 + 0,16 + 0,5412 = 2,5512 \text{ m}$$

De modo geral, os cálculos mostram que o protótipo apresenta desempenho coerente com a configuração física e com os fundamentos teóricos. As perdas totais são reduzidas, e a bomba opera com ampla margem de capacidade, garantindo eficiência no bombeamento. Esses resultados subsidiam a interpretação dos fenômenos observados e validam conceitos de hidráulica aplicados a sistemas prediais.

3. RESULTADOS PARA TUBULAÇÃO GALVANIZADA

A montagem com tubulação galvanizada incluiu cerca de 1,80 m de tubo galvanizado de 25 mm, interligando os reservatórios por meio de conexões metálicas padronizadas. O sistema incorporou registro esférico de 25 mm, dois joelhos de 90°, niple e flange metálica, todos em 25 mm, para manter uniformidade do diâmetro interno e permitir avaliação fiel das características hidráulicas desse material.



A conexão com a bomba foi realizada por um conjunto misto, combinando PVC soldável e conexões galvanizadas roscáveis, como mostra o protótipo. Essa solução híbrida visou compatibilizar o bocal metálico da bomba ao trecho galvanizado, garantindo estanqueidade, facilidade de manutenção e adaptabilidade nos ensaios.

Importante salientar que instalações em aço galvanizado exigem mão de obra especializada: cortes precisos, roscagem correta e tratamento adequado das extremidades são necessários para evitar falhas operacionais. A roscagem mal executada pode provocar incrustações internas, rebarbas e deformações que comprometem o escoamento, elevam perdas localizadas e reduzem a vida útil do sistema. Por esse motivo, recomenda-se que esse tipo de instalação seja realizado por profissionais experientes, garantindo qualidade no preparo dos tubos, aperto das conexões e vedação das juntas.

A montagem final do protótipo foi alinhada e estanque, permitindo testes confiáveis. Assim, a configuração com tubulação galvanizada possibilitou uma comparação prática do desempenho hidráulico desse material frente ao PVC, analisando diferenças de vazão, perdas de carga e comportamento operacional.

Figura 10: Tubos galvanizado com rebarbas. Figura 11: Tubos galvanizado com rebarbas.



Tubulações em aço galvanizado demandam ferramentas robustas, aptas a suportar esforços mecânicos para corte, roscagem e união dos componentes. Ao contrário do PVC, cuja montagem é simples e por colagem, a galvanizada exige precisão técnica e força aplicada, tornando imprescindível o uso de equipamentos especializados e mão de obra qualificada.

O processo inicia com o corte do tubo, executado com serra arco, cortador de tubos metálicos ou esmerilhadeira, garantindo-se cortes retos e uniformes. O acabamento dessa etapa é crucial, pois superfícies irregulares dificultam a formação de roscas e comprometem a vedação.

Em seguida procede-se à roscagem, etapa crítica a ser feita com tarraxa manual ou elétrica ajustada ao diâmetro nominal do tubo. As tarraxas devem ser de boa qualidade, com dentes endurecidos e alta durabilidade. A lubrificação com óleo de corte é essencial para reduzir atrito, preservar a ferramenta e garantir roscas nítidas e profundas.

Após roscagem, remove-se resíduos metálicos e possíveis rebarbas, que prejudicam estanqueidade e aumentam perdas localizadas. A limpeza pode ser feita com escovas metálicas, panos e produtos desengraxantes.

As uniões galvanizadas são realizadas com conexões roscáveis — joelhos, tês, niples e flanges — empregando vedantes como fita veda-roscas ou pasta selante. Aplicar torque correto com chaves adequadas é fundamental para evitar vazamentos sem danificar as roscas.

A robustez das ferramentas é necessária porque o aço galvanizado tem maior dureza e resistência mecânica comparado ao PVC. Ferramentas inadequadas podem deformar, gerar roscas malfeitas, fissuras e danos ao tubo. Por isso, instalações desse tipo demandam profissionais capacitados, com domínio do corte e roscagem e conhecimento do material e das ferramentas adequadas.

Execução correta da tubulação galvanizada assegura desempenho hidráulico eficiente, durabilidade mecânica e estanqueidade, contribuindo para resultados confiáveis nos ensaios e possibilitando comparações consistentes entre materiais no protótipo.

Figura 13: Acessórios de conexões galvanizadas.



Figura 12: Tempo de transferência.



Tabela 3: Perdas de Cargas Galvanizadas.

Perdas de Carga Localizadas (equivalência em metros de tubulação) Conexões de Galvanizados					
Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Rugosidade	Total Rug.
1	Cotovelo 90º Galvanizado 3/4"	pç	2	0,70	1,40
2	Válvula Esfera Monobloco 3/4"	pç	1	0,10	0,10
3	União Galvanizado 3/4"	pç	1	0,01	0,01
4	Flange Para Caixa D'Agua Galvanizada 3/4"	pç	1	0,50	0,50
5	Niple galvanizado 3/4"	pç	1	0,10	0,10

Total Galvanizado	2,11
-------------------	------

Procedendo os cálculos encontra-se os seguintes resultados:

Vazão real do protótipo

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,020}{32} = 0,000625 \text{ m}^3/\text{s} \quad \rightarrow \quad Q = 0,626 \text{ L/s} = 2,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

Velocidade na tubulação

$$D = 0,025 \text{ m} \quad A = \frac{\pi D^2}{4} = 4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000625}{4,91 \times 10^{-4}} = 1,27 \text{ m/s}$$

Energia cinética específica:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{(1,27)^2}{2 \times 9,81} = 0,083 \text{ m}$$

Regime de escoamento e fator de atrito

$$\text{Re} \frac{VD}{\nu} = \frac{1,27 \times 0,025}{1 \times 10^{-6}} = 3,18 \times 10^4 \quad \rightarrow \quad f = 0,035$$

Perda distribuída (Darcy–Weisbach)

$$L = 2,0 \text{ m} \quad \rightarrow \quad hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad \rightarrow \quad hf = 0,035 \times \frac{1,80}{0,025} \times 0,083 = 0,21 \text{ m}$$

Perdas localizadas somente acessórios

$$K_{\text{total}} \approx 2,11$$

$$h_L = K_{\text{total}} \times \frac{V^2}{2g} \quad \rightarrow \quad h_L = 2,11 \times 0,083 = 0,18 \text{ m}$$

Altura manométrica total

$$H_g = 1,85 \text{ m} \quad \rightarrow \quad H_T = H_G + h_F + h_L \quad \rightarrow \quad H_T = 1,85 + 0,21 + 0,18 = 2,24 \text{ m}$$

No ensaio com aço galvanizado de 25 mm, cerca de 1,80 m de duto e conexões padronizadas, a transferência de 20 litros em 32 segundos forneceu vazão aproximada de 0,625 L/s (2,24 m³/h), inferior ao sistema em PVC. Esse comportamento decorre da rugosidade maior do galvanizado, que eleva perdas distribuídas e localizadas. As análises indicaram acréscimos de aproximadamente 0,21 m (atrito) e 0,19 m (perdas localizadas), resultando em HMT próxima a 2,24 m, compatível com o desnível entre os reservatórios.

Mesmo com perdas maiores que no PVC, o conjunto manteve escoamento estável, demonstrando que a bomba de 1/2 CV possui margem de sobra para o protótipo. Assim, o protótipo em galvanizado apresentou comportamento hidráulico coerente, com pequena redução de vazão, sem comprometer os testes.

Figura 14: Infraestruturas Galvanizadas.



4. COMPARATIVO ENTRE AS TUBULAÇÕES

Com os dados obtidos para cada tubulação e com os comparativos das tabelas 1, 2 e 3, tem-se:

Tabela 4: Comparativos de dutos PVC e Galvanizado.

Comparativo de Desempenho Hidráulico entre Tubulações de PVC e Galvanizado			
Parâmetro	PVC 25 mm (sem redução)	PVC 25 mm c/ redução 20 mm (registro)	Galvanizado 25 mm
Tempo para 20 L (s)	30 s	31 s	32 s
Vazão (L/s)	0,666	0,645	0,625
Vazão (m³/h)	2,4	2,32	2,25
Perda distribuída (m)	0,17	0,16	0,21
Perdas localizadas (m)	0,475	0,548	0,19
Altura manométrica total (m)	≈ 2.50 m	≈ 2.56 m	≈ 2.25 m

Tabela 4 compara o desempenho hidráulico de três configurações de tubulações:

- PVC 25 mm sem redução, PVC 25 mm com redução para 20 mm (registro) e galvanizado 25 mm.
- PVC 25 mm sem redução apresentou o melhor desempenho, com maior vazão (0,666 L/s), menores perdas distribuídas e o menor tempo para encher 20 L (30 s).
- PVC 25 mm com redução para 20 mm mostrou uma leve redução de desempenho, aumentando o tempo para 31 s e elevando as perdas localizadas, devido ao estreitamento no registro, resultando na maior altura manométrica total ($\approx 2,56$ m).
- Galvanizado 25 mm obteve o menor desempenho hidráulico, com a menor vazão (0,625 L/s), maior tempo para completar 20 L (32 s) e a maior perda distribuída (0,21 m), consequência do maior atrito interno característico desse material.

No conjunto, o PVC sem redução mostrou-se a alternativa mais eficiente, enquanto o galvanizado apresentou maior resistência ao escoamento, elevando perdas e reduzindo vazão.

Tabela 5 – Insumos e Preços.

Tabela de Materiais e Preços					
Materiais PVC					
Item	Descrição	Und.	Qtd.	Valor Unitário	Total
1	Reservatórios de Galão Azul de 20 Litros	pç	2	R\$ 20,00	R\$ 40,00
2	Bomba hidráulica Periférica 1/2cv - 220V	pç	1	R\$ 160,00	R\$ 160,00
3	ADAPTADOR FLANGE PARA CAIXA D'ÁGUA DN20X1/2	pç	4	R\$ 21,23	R\$ 84,92
4	Joelho 25mm 90 X 25mm Pvc Cola Soldável Marrom	pç	8	R\$ 5,00	R\$ 40,00
5	Te Soldável Marrom 3/4 25mm	pç	3	R\$ 1,35	R\$ 4,05
6	REGISTRO ESFERA SOLDÁVEL DN20 MARROM	pç	2	R\$ 23,34	R\$ 46,68
7	União Soldável 25mm	pç	2	R\$ 12,75	R\$ 25,50
8	Adaptador Soldável 25mm	pç	2	R\$ 12,90	R\$ 25,80
9	Bucha de Redução Pvc Br Roscável 25mm para 32mm	pç	2	R\$ 14,64	R\$ 29,28
10	Cano PVC Marrom Soldável 6m 25mm	m	2,5	R\$ 6,00	R\$ 15,00
11	Adaptador PVC Marrom Roscável e Soldável 20mm	pç	2	R\$ 2,79	R\$ 5,58
12	Joelho 90° PVC Marrom Soldável 1/2" 20mm	pç	2	R\$ 0,90	R\$ 1,80
13	REGISTRO ESFERA SOLDÁVEL DN20 MARROM	pç	1	R\$ 23,34	R\$ 23,34
14	Cano PVC Marrom Soldável 6m 20mm	m	0,2	R\$ 2,54	R\$ 0,51
15	Torneira plástica preta para jardim 25mm	pç	1	R\$ 6,40	R\$ 6,40

	Total PVC				R\$ 508,86
	Materiais Elétricos				
1	Caixa De Montagem 40x30x20cm Pannel Elétrico Quadro Comando (400x300x200mm)	pç	1	R\$ 191,00	R\$ 191,00
2	Sinaleiro Verde Led furo 22mm tensão 220Vca.	pç	1	R\$ 12,50	R\$ 12,50
3	Sinaleiro Vermelha Led furo 22mm tensão 220Vca.	pç	1	R\$ 12,50	R\$ 12,50
4	Chave Seletora de comutação 3 Posições	pç	1	R\$ 27,00	R\$ 27,00
5	Horimetro Digital HRH1360R 5 DIG 90-240V	pç	1	R\$ 283,54	R\$ 283,54
6	Disjuntor miniatura de 1 pólo C16A	pç	1	R\$ 42,35	R\$ 42,35
7	Contator Tripolar 16A 220VCA 50/60Hz 1NF 3RT20181AN22 Siemens	pç	1	R\$ 597,98	R\$ 597,98
8	Bloco Distrib Barra 4p 125a 690V 5ST2502 - Siemens	pç	1	R\$ 228,99	R\$ 228,99
9	Bloco de parada final (end stop) para trilho DIN	pç	4	R\$ 17,00	R\$ 68,00
10	SUPORTE PARA DISJUNTOR TRILHO DIN TS 35 X 7,5 PERFURADO ZB 1 METRO	pç	1	R\$ 20,70	R\$ 20,70
11	Cabo elétrico flexível 2,5mm com 100 metros anti chammas	m	20	R\$ 1,19	R\$ 23,80
12	Cabo Pp 3X2,5mm Pvc/Pvc 750V Rolo Com 100 Metros	m	10	R\$ 9,20	R\$ 92,00
13	Chave Boia Automática De Nível Bomba De Água	pç	2	R\$ 39,00	R\$ 78,00
14	Plug macho 2P+T 10A 250V Branco	pç	2	R\$ 7,45	R\$ 14,90
15	Plug fêmea 2P+T 10A 250V Branco	pç	1	R\$ 14,51	R\$ 14,51
	Total Elétrico				R\$ 1.707,77
	Base da Estrutura				
1	Tubo Metalon Aço Retangular 50 X 30 X 1,5mm - 6 Metros Barra	m	1	R\$ 249,32	R\$ 249,32
2	Tinta Aerossol Preto Fosco Uso Geral 350ml/250g	pç	3	R\$ 15,00	R\$ 45,00
3	Rodinhas Rodízio Gel Giratórias	pç	4	R\$ 12,50	R\$ 50,00
	Total de Estrutura				R\$ 344,32
	Materiais Galvonizados				
1	Cotovelo 90° Galvanizado 3/4"	pç	1	R\$ 7,03	R\$ 7,03
2	Válvula Esfera Monobloco 3/4"	pç	1	R\$ 38,74	R\$ 38,74
3	Tubo Galvanizado NBR-5580L 3/4"	m	2	R\$ 26,48	R\$ 52,96
4	União Galvanizado 3/4"	pç	1	R\$ 31,88	R\$ 31,88
5	Flange Para Caixa D'Agua Galvanizada 3/4"	pç	1	R\$ 61,60	R\$ 61,60
6	Nipe galvanizado 3/4"	pç	1	R\$ 5,57	R\$ 5,57
7	Fita Veda Rosca 18mm x 25 Metro	pç	1	R\$ 4,34	R\$ 4,34

8	Mão de Obra para fazer as roscas nos eletrodutos galvanizados	um	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Total Galvanizado					R\$ 272,12
Total Geral dos Materiais PVC, Galvanizados, Elétricos e Estruturas					R\$ 2.833,07

A tabela apresenta os materiais empregados e seus valores unitários e totais. Esses valores têm caráter informativo, demonstrando os insumos necessários e custo aproximado para viabilizar o experimento. Não foram incluídos custos de mão de obra, salvo quando explicitamente indicado (roscas em galvanizado). Os valores refletem apenas custo de materiais com preços médios do mercado no período de aquisição.

4 CORRELAÇÃO COM AS REFERÊNCIA TÉORICAS E OS DADOS OBTIDOS

A análise do protótipo estabelece relação clara entre resultados experimentais e conceitos clássicos de hidráulica descritos por Creder (2006), Azevedo Netto & Fernandez (2015) e as normas ABNT NBR 5626:2020. O comportamento do sistema confirma a aplicabilidade das teorias de escoamento em instalações prediais, sobretudo quanto à influência do material, rugosidade interna, diâmetro e perdas distribuídas e localizadas.

Conforme Creder (2006), tubulações de baixa rugosidade, como o PVC, proporcionam perdas de carga menores e maior eficiência hidráulica. Isso ficou evidente: o PVC apresentou menor tempo de transferência entre reservatórios que o aço galvanizado. A diferença é compatível com valores teóricos de rugosidade, já que o PVC tem superfície interna lisa, enquanto o galvanizado apresenta irregularidades e maior tendência à incrustação, elevando o atrito interno.

As observações também confirmam Azevedo Netto: em sistemas curtos, as perdas localizadas ganham maior relevância ante as distribuídas. No protótipo, curvas, joelhos, registro esférico, niple e flange contribuíram significativamente para o aumento da dissipação de energia, mesmo com comprimento total limitado.

A redução de diâmetro no registro (de 25 para ≈ 20 mm) mostrou-se compatível com as referências teóricas. A NBR 5626:2020 destaca que variações de seção elevam a velocidade local e podem provocar vibração e ruídos, intensificando perdas singulares. Autores como Creder e Azevedo Netto indicam que estreitamentos repentinos podem gerar instabilidades no escoamento devido ao aumento de energia cinética e microturbulências. O experimento confirmou que tais restrições aumentam perdas, embora o efeito tenha sido mitigado pela bomba superdimensionada.

Por fim, o desempenho do galvanizado reflete as particularidades previstas em normas e literatura técnica. A execução desse tipo de duto exige cortes, roscas e vedação adequados; irregularidades podem causar deformações internas que ampliam perdas de carga. Esse comportamento está em conformidade com fundamentos de dimensionamento e instalação de sistemas metálicos, reforçando a necessidade de mão de obra qualificada e ferramentas apropriadas.

Em síntese, os resultados experimentais aderem aos modelos teóricos, confirmando validade dos princípios de perdas distribuídas e localizadas, influência da rugosidade e do diâmetro, e o impacto da execução construtiva sobre o desempenho hidráulico. O protótipo mostrou-se representativo e permitiu extrapolações seguras para instalações prediais.

A utilização de PVC 25 mm apresentou desempenho mais favorável, transferindo 20 litros em 30 segundos. A superfície lisa e a baixa rugosidade reduziram resistência ao escoamento, resultando em perdas distribuídas menores e HMT próxima de 2,50 m. Embora conexões estivessem presentes, o PVC manteve escoamento eficiente.

A introdução de redução para 20 mm dentro do registro aumentou o tempo de transferência para 31 segundos ($\approx 3,33\%$ de acréscimo), atribuído ao estreitamento que elevou a velocidade local e intensificou perdas singulares. Contudo, a alta capacidade da bomba manteve o sistema estável, com redução discreta da vazão.

A configuração com aço galvanizado 25 mm resultou em 32 segundos para o mesmo volume, desempenho inferior ao PVC, devido à rugosidade e irregularidades de corte/rosca que aumentam perdas distribuídas. O conjunto alcançou HMT $\approx 2,24$ m, compatível com a redução de vazão observada.

A comparação dos ensaios revelou pequena variação entre tempos (30 a 32 s), consequência do sobredimensionamento da bomba em relação à HMT exigida pelo protótipo. Assim, mesmo com aumento das perdas nos cenários mais desfavoráveis, a bomba manteve vazão quase constante, suavizando diferenças que seriam mais evidentes em instalações reais. O comportamento dos materiais ratifica conceitos da hidráulica: tubulações de baixa rugosidade (PVC) favorecem escoamento eficiente; tubulações metálicas, especialmente quando cortadas e roscadas, tendem a aumentar a resistência ao fluxo. Em sistemas compactos, as perdas localizadas assumem papel expressivo, enfatizando a importância da escolha adequada de conexões e da qualidade da instalação.

CONCLUSÃO

O estudo, por meio de um protótipo funcional e de cálculos hidráulicos consolidados, permitiu compreender como a perda de carga influencia o abastecimento entre reservatórios em instalações hidrossanitárias. As análises evidenciaram que o escoamento é fortemente condicionado pelo material da tubulação, rugosidade interna, diâmetro efetivo e número de conexões no sistema.

A tubulação em PVC de 25 mm apresentou melhor desempenho, transferindo 20 litros em 30 segundos. Sua superfície interna lisa resultou em perdas distribuídas menores e maior eficiência hidráulica. A redução localizada dentro do registro (≈ 20 mm) provocou aumento modesto no tempo de transferência, evidenciando que restrições pontuais elevam perdas singulares, embora pouco perceptíveis quando a bomba opera com larga margem de capacidade.

A tubulação em aço galvanizado de 25 mm mostrou maior resistência ao escoamento e tempo de enchimento de 32 segundos, decorrente da maior rugosidade do material e das irregularidades de corte/rosca que intensificam perdas distribuídas e localizadas. Ainda assim, o sistema manteve funcionamento estável devido ao sobredimensionamento da bomba frente à HMT do protótipo.

De forma geral, os resultados confirmam a aderência do experimento aos fundamentos teóricos e às diretrizes da ABNT NBR 5626:2020 para instalações prediais de água fria. O protótipo demonstrou que materiais de menor rugosidade proporcionam melhor eficiência no abastecimento entre reservatórios e que conexões e estreitamentos locais podem afetar significativamente o comportamento hidráulico quando o sistema opera sob condições restritivas.

Conclui-se que dominar o entendimento das perdas de carga — distribuídas e localizadas — é essencial para o adequado dimensionamento de instalações hidrossanitárias, promovendo sistemas mais eficientes, econômicos e em conformidade normativa. O uso do protótipo provou ser ferramenta didática eficaz, permitindo visualizar de forma prática os efeitos das perdas de carga e sublinhando a importância da seleção de materiais, conexões e metodologias de instalação adequadas para alcançar o desempenho hidráulico esperado em edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 5418:2010 - Ensaio hidrostático em tubulações e sistemas hidráulicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ABNT NBR 12217. Projeto De Reservatório De Distribuição De Água Para Abastecimento Público. Disponível em: https://www.academia.edu/37259513/NBR_12217_Projeto_De_Reserv%C3%A1torio_De_Distribui%C3%A7%C3%A3o_De_%C3%81gua_Para_Abastecimento_P%C3%BAblico Acesso em 06 de abril de 2025.

ABNT NBR 5626. Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção. Disponível em: <https://normadesempenho.com.br/wp-content/uploads/2022/10/NBR-5626-2020.pdf>. Acesso em 11 de dezembro de 2025.

ABNT NBR 15527. Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção. Disponível em: [file:///C:/Users/wcostapereira/Downloads/ABNT_NBR_15527__2007%20-%20%C3%A1gua%20da%20chuva%20-%20aproveitamento%20de%20coberturas%20em%20%C3%A1reas%20urbanas%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/wcostapereira/Downloads/ABNT_NBR_15527__2007%20-%20%C3%A1gua%20da%20chuva%20-%20aproveitamento%20de%20coberturas%20em%20%C3%A1reas%20urbanas%20(1).pdf). Acesso em 11 de dezembro de 2025.

ABNT NBR 8220. Reservatório de poliéster, reforçado com fibra de vidro, para água potável para abastecimento de comunidades de pequeno porte — Especificação. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/688083835/Nbr8220-Reservatorio-de-Poliester-Reforcado-Com-Fibra-de-Vidro-Para-Agua-Potavel-Para-Abastecimento-de-Comunidades-de-Pequeno-Porte-Especificaca>. Acesso em 11 de dezembro de 2025

AMARAL, RÉ; AMARAL, RT Análise dos fatores que influenciam nas perdas de carga em tubulações e acessórios hidráulicos. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5., 2016. Atas... Montes Claros: IFNMG, 2016.

AZEVEDO NETTO, José Martins de; FERNANDEZ, Nilson. *Manual de hidráulica*. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BOMSERV. Perca de Carga. Disponível em:

<https://bomservbombas.com.br/perda-de-carga/> Acesso em 06 de abril de 2025.

CARDOSO, G. G. de G.; KLAR, A. E. Índice geométrico e perda de carga localizada em redes de emissores "online". *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v. 6, p. 1114-1127, nov./dez. 2014.

CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia). Desempenho Hidrodinâmico das Tubulações de Aço Galvanizado que Sofreram Tuberculização. In: *Contecc*, 2018. Disponível em:

https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/civil/92_dhdtdagqst.pdf.

Acesso em: 22 de maio de 2025.

CONSTRULIDER. Quais os principais tipos de tubos e conexões usados na hidráulica

[https://redeconstrulider.com.br/quais-os-principais-tipos-de-tubos-e-conexoes-usados na hidraulica /](https://redeconstrulider.com.br/quais-os-principais-tipos-de-tubos-e-conexoes-usados-na-hidraulica/) Acesso em: 22 de maio de 2025.

CREDER, Hélio. *Instalações hidráulicas e sanitárias*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2006.

MEGAPRESS. Abastecimento de reservatórios superiores com sistemas de recalque inteligente. Disponível em:

<https://www.megapress.com.br/abastecimento-de-reservatorios-superiores-com-sistemas-de-recalque-inteligente-megapress/> Acesso em 06 de abril de 2025.

MÁQUINAS HIDRÁULICAS. Disponível em: https://kaiohdutra.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/02/mh_aula-6_perda-de-carga-p2.Pdf. Acesso em: 19 de outubro de 2025.

MONITORAMENTO E GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS INCORPORANDO PROCESSOS HIDRODINÂMICOS E CLIMÁTICOS DE REGIÕES TROPICAIS SEMIÁRIDAS.

Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/575/1/2011_dis_wedlemos.pdf / Acesso em: 22 de maio de 2025.

NHAMUSSUA, S. M. S.; THEBALDI, M. S.; LIMA, E. M. de C.; FIAIS, P. R.; SILVA, M. A. da; DEUS, F. P. de. Comportamento hidráulico de registros utilizados em instalações hidráulicas prediais. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 28, e20220271, 2023.

PIMENTEL, A. M. A importância da integração entre projeto e manutenção para a prevenção de patologias hidrossanitárias em edificações. 2022. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022.

PLENO, Projetista. Cálculo de Volume de Reservatórios. Disponível em: <https://projetistapleno.com/calculo-do-volume-para-reservatorios/> Acesso em 06 de abril de 2025.

PORTO, Rubem La Laina. *Hidráulica básica*. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2000.

SILVA, J. et al. Projetos hidrossanitários e patologias construtivas: uma análise sobre a importância do dimensionamento e execução adequados. 2022.

SILVA, J.; PEREIRA DA SILVA, R. A influência da rugosidade no desempenho de sistemas hidráulicos pressurizados. *Revista Brasileira de Engenharia Hidráulica*, v. 12, n. 2, p. 45–58, 2019.

IV SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIAS E ENGENHARIAS - ESTUDOS SOBRE A MANUTENÇÃO PREVENTIVA E PREDITIVA: HISTÓRIA E PERSPECTIVAS PARA INDÚSTRIA BRASILEIRA. Disponível em: <https://anais.unievangelica.edu.br/index.php/SINACEN> Acesso em 17 de maio de 2025.

TABELA DE SELEÇÃO DE BOMBAS E MOTOBOMBAS, Pág. 94. Disponível https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/321009/schneider_tabela_selecao_2025_web.pdf Acesso em 22/11/2025.

TUPY, Catálogo Técnico. Disponível em:
https://www.tupy.com.br/downloads/pdfs/conexoes/_old_catalogo_pt.pdf Acesso em
23/11/2025.