

Estudo comparativo dos custos de tubos flexíveis e rígidos utilizados em sistemas hidráulicos prediais de água fria e água quente

Comparative study of the costs of flexible and rigid pipes used in cold water and hot water building hydraulic systems

Estudio comparativo de costos de tuberías flexibles y rígidas utilizadas en sistemas hidráulicos prediales de agua fría y agua caliente

Rodrigo Eduardo Córdoba* 

Universidade Federal de São Carlos; Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia; Departamento de Engenharia Civil.
São Carlos (SP), Brasil.
cordoba@ufscar.br

Lucas Gabriel Santos Kriegler 

Universidade Federal de São Carlos; Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia; Departamento de Engenharia Civil (egresso).
Campo Limpo Paulista (SP), Brasil.

Douglas Barreto 

Universidade Federal de São Carlos; Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia; Departamento de Engenharia Civil.
São Carlos (SP), Brasil.

José da Costa Marques Neto 

Universidade Federal de São Carlos; Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia; Departamento de Engenharia Civil.
São Carlos (SP), Brasil.

* Autor correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Concepção; Análise; Metodologia; Supervisão; Validação; Visualização; Redação – revisão e edição: CORDOBA, R. E.; Concepção; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Software; Visualização; Redação – rascunho original: KRIEGLER, L. G. S.; Análise; Metodologia; Supervisão; Validação; Visualização; Redação – revisão e edição: BARRETO, D.; MARQUES NETO, J. C.

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

Financiamento: Não possui.

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

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

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Heber Martins de Paula (Editor Convidado); Ricardo Prado Abreu Reis (Editor Convidado); Andreza Kalbusch (Editora Convidada); Sophia S. Carvalho (Assistente editorial).

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados da comparação da utilização nos sistemas prediais hidráulicos de tubulações em polietileno reticulado (PEX) frente a sistemas tradicionais com a tubulação rígida em PVC e CPVC. O tipo PEX é bem conhecido internacionalmente e apresenta potencial para diminuição de custos e tempo de execução de obras. No Brasil, atualmente não é tão utilizado quando comparado com os sistemas em tubulação rígida. Pode-se apontar como causas os poucos estudos sobre indicadores de custo, bem como a falta de profissionais com experiência sobre esta tecnologia. Desta forma, este estudo realizou uma comparação entre os sistemas rígidos e os sistemas flexíveis em PEX, tendo como parâmetros os custos, as quantidades de materiais e as perdas de carga. Para tanto, foram modelados e simulados, em softwares hidrossanitários, três traçados diferentes em um apartamento, sendo dois do tipo PEX (convencional e ponto a ponto parcial); e um com o sistema rígido. O custo estimado por metro foi de R\$ 34,57 para o sistema rígido, R\$ 37,91 para o PEX convencional e R\$ 26,57 para o ponto a ponto. Portanto, para esse estudo de caso, o sistema PEX ponto a ponto parcial atingiu melhor indicador de custo representando 23,4% menor que o sistema rígido.

Palavras-Chave: Polietileno Reticulado; PVC; CPVC; Instalações hidráulicas; Tubulações prediais.

Abstract

This work aims to compare of utilizing cross-linked polyethylene (PEX) for building hydraulic installations instead of traditional systems built with PVC and CPVC rigid pipes. This flexible system is very widespread overseas and shows great potential in reducing costs and building time, however it is still underutilized in the country when compared to rigid pipe systems, mainly due few studies on cost indicators and experienced professionals who work with that technology. As such, this work aims to analyse and compare both systems - rigid systems with PVC and CPVC; and flexible systems with PEX - in budget, quantity of materials and head loss in order to accentuate the characteristics of flexible systems. Three different layouts were constructed and simulated using hydro sanitary software in a standard apartment: two of the conventional PEX (type and point-to-point partial), and the other using a rigid system. The estimated cost per meter was R\$ 34.57 for the rigid system, R\$ 37.91 for the conventional PEX, and R\$ 26.57 for the point-to-point PEX. Therefore, for this case study, the partial point-to-point PEX system achieved the best cost indicator, representing 23.4% less than the rigid system.

Keywords: Cross-linked Polyethylene; PVC; CPVC; Hydraulic Building Systems; Building piping.

Resumen

Este estudio comparó el uso de instalaciones hidráulicas de polietileno reticulado (PEX) en comparación con sistemas tradicionales de tuberías rígidas de PVC y CPVC. El sistema flexible de PEX está bien establecido en el extranjero y tiene un gran potencial para reducir costos y tiempos en proyectos de construcción. Sin embargo, actualmente no se utiliza tanto en el país como los sistemas de tuberías rígidas, principalmente debido pocos estudios sobre indicadores de costos y profesionales con experiencia en la tecnología. Por lo tanto, este estudio realizó un análisis comparativo de ambos sistemas rígidos y sistemas flexibles de PEX en términos de costos, cantidad de material y pérdida de presión para demostrar las características del sistema flexible. Se construyeron y simularon en software hidrosanitario tres trazados diferentes en un apartamento tipo: dos del tipo PEX (convencional y punto a punto parcial), y el otro en sistema rígido. El costo estimado por metro fue de R\$ 34,57 para el sistema rígido, R\$ 37,91 para el PEX convencional y R\$ 26,57 para el punto a punto. Por lo tanto, para este estudio de caso el, sistema PEX punto a punto parcial alcanzó el mejor indicador de costo, representando un 23,4% menos que el sistema rígido.

Palabras Clave: Polietileno Reticulado; PVC; CPVC; Sistemas de Plomería; Tuberías de Edificio.

1 Introdução

O abastecimento e distribuição de água para consumo sempre foi uma questão importante para o desenvolvimento da sociedade, desde seus primórdios até os dias atuais. Para tanto, foram desenvolvidos vários sistemas de modo a suprir a demanda de água. Nesse sentido, para atender a demanda de água de edifícios residenciais existem os sistemas prediais de água fria e quente, que seguem os requisitos da NBR 5626 (ABNT, 2020) para projeto, execução e manutenção para garantir atendimento de critérios de higiene, segurança e conforto, além de assegurar o abastecimento com qualidade.

Atualmente, o material mais utilizado para a execução dos sistemas de água fria é o policloreto de vinila, ou PVC, um tipo de material termoplástico rígido com várias aplicações, incluindo a produção de embalagens e revestimento de cabos elétricos, porém cerca de 65% de sua produção é destinada ao setor da engenharia civil (Souza, 2011). Segundo o Instituto Brasileiro do PVC (2024), 70% da demanda do material é destinada à construção civil, sendo a principal aplicação em tubos e conexões.

O policloreto de vinila clorado (CPVC), material utilizado para sistemas prediais de água quente, se caracteriza por apresentar todas as propriedades inerentes ao PVC, acrescido de resistência à condução de líquidos em altas temperaturas (Brandão, 2010). Este possui a capacidade de suportar uma pressão de serviço de até 60 m.c.a. (metros de coluna de água) e temperaturas de água de 80 °C, suportando temperaturas ocasionais de até 95 °C, possui elevada capacidade de retenção de calor e dispensa o uso de revestimentos térmicos em áreas internas (Tigre, 2021).

Outro material que vem sendo utilizado nos sistemas prediais de água fria e quente é o polietileno reticulado, mais conhecido com PEX, um tipo de material obtido da reticulação do polietileno termoplástico resultando em um material mais resistente à pressão e à temperatura (Lourenço, 2020). O sistema PEX, que inclui tubulação e conexões, pode ser utilizado para condução tanto de água quente quanto de água fria, e tem como principal característica a sua flexibilidade de aplicação. Permite a realização de curvas de modo a eliminar a utilização de cotovelos, joelhos e peças de curva, diminuindo consideravelmente o tempo de instalação. Propicia menor perda de carga em comparação ao sistema convencional e também tem maior facilidade de manutenção devido à utilização de shafts para acesso à tubulação (Dos Santos e Modolo, 2019).

O traçado e execução de um sistema hidráulico com PEX pode ser realizado de duas formas: como sistema convencional, similar aos sistemas rígidos, ou como sistema ponto-a-ponto, distribuindo as tubulações de um ponto fixo até os pontos de utilização. O sistema convencional é executado da mesma forma que os sistemas tradicionais rígidos em PVC, com os ambientes abastecidos por derivações partindo de uma tubulação dedicada àquele ambiente, exigindo a utilização de algumas conexões tipo 'tê' para sua execução – dispensando curvas e cotovelos. O sistema ponto a ponto, por sua vez, consiste em um sistema em que as tubulações PEX partem de um "manifold" (Dos Santos e Modolo, 2019).

Em 2011, foram elaboradas e disponibilizadas normas técnicas para regulamentar o uso de PEX, considerando sua adoção em alguns tipos de edificações. A norma foi atualizada e dividida em três partes, a saber: NBR 15939-1 (ABNT, 2023a); NBR 15939-2 (ABNT, 2023b); e NBR 15939-3 (ABNT, 2023c).

Os tubos PEX apresentam grande potencial para diminuição de tempo de montagem e de custos na construção civil, fator evidenciado por estudos como o de Brandão (2010), Lourenço (2020) e de Nóbrega (2021). Anselmo e Oneda (2023) identificaram que o PEX quando comparado ao PVC foi mais econômico 19,79%, em função do menor custo de mão de obra. Em concordância, Lourenço e Rodrigues (2020) relataram que o PEX possui um custo 58,9% inferior em comparação com a tubulação rígida em CPVC.

Estudos comparativos dos sistemas PEX e tradicionais foram realizados por Nóbrega (2019) e Santos (2022). A partir dos dados obtidos por Nóbrega (2019) foi possível observar que o custo por metro linear do sistema em PVC representou R\$ 58,18 enquanto o PEX R\$ 54,77. Dados de Santos (2022), apresentam que a combinação do custo de PVC (água fria) e PEX (água quente) resultou em R\$ 21,87 por metro linear, enquanto que para o PEX (água fria e quente) resultou em R\$ 23,28. Esses valores apontam que o uso de PEX pode ser competitivo comparado com os sistemas em PVC e CPVC.

Apesar das características apresentadas pelo sistema em PEX e o grande uso no exterior, o sistema ainda encontra certa dificuldade na sua utilização no Brasil, sendo eclipsado pela utilização de sistemas tradicionais em PVC para obras residenciais e edifícios de baixo e médio padrão. Segundo Lourenço e Rodrigues (2020), o uso de PEX ainda é incipiente frente ao uso de sistemas tradicionais rígidos como PVC, CPVC e tubulações metálicas.

Nesse contexto, é possível observar que alguns fatores podem contribuir para o pouco uso do sistema PEX frente ao PVC e CPVC, tais como poucos dados sobre indicadores de custos; o limitado número de profissionais qualificados com experiência na utilização desta tecnologia; o custo mais elevado do material em relação ao PVC; e o conservadorismo do mercado de engenharia civil no país (Lourenço e Rodrigues, 2020).

Portanto, esse trabalho pretende contribuir com informações, dados e indicadores entre o sistema PEX e os sistemas tradicionais quanto aos custos; quantidade de materiais; e perda de carga, de modo a apresentar as características do sistema PEX e assim incentivar uma maior utilização deste no setor da engenharia civil.

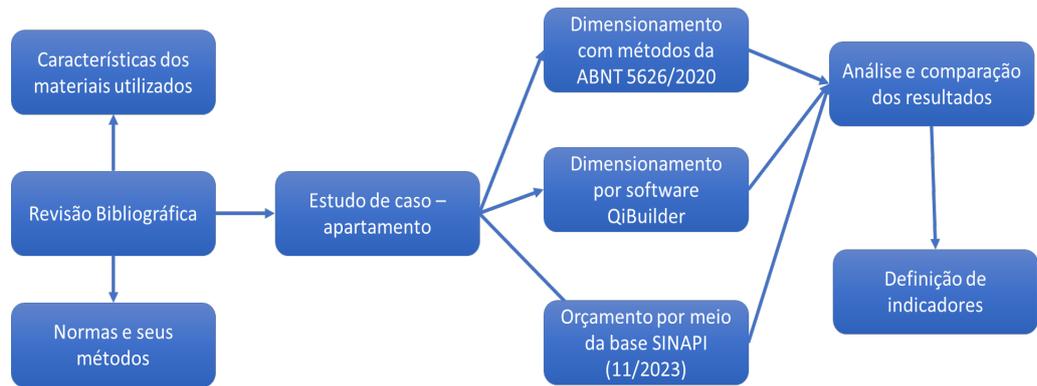
Desta forma, este trabalho apresenta os resultados da comparação do ponto de vista técnico e econômico dos sistemas flexíveis (PEX), convencional e ponto a ponto parcial frente aos sistemas com tubulação rígida tradicionais (PVC e CPVC), aplicados em prédios multi-pavimentos, de forma a expandir conhecimentos sobre a aplicação do PEX, preencher lacunas no conhecimento acadêmico sobre as novas tecnologias de execução de sistemas prediais hidráulicos e incentivar a sua utilização pelo conhecimento de indicadores econômicos.

2 Material e métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente foi realizado um estudo bibliográfico abordando materiais, características das tubulações e as normas vigentes. Concluída esta etapa, foi desenvolvido um estudo de caso de um projeto de apartamento de médio padrão, com área de 100 m² e projeto hidráulico em sistema PEX já realizado. Com base neste projeto, foram realizados novos traçados para sistemas em tubo rígido com PVC e CPVC e um novo traçado em PEX com o mesmo encaminhamento adotado no sistema rígido. Por fim, foram realizadas pequenas alterações no traçado PEX ponto a ponto parcial já existente no projeto original. Estes traçados foram realizados em um

software de modelagem (AutoCAD) e os cálculos dos sistemas hidráulicos prediais pelo software QiBuilder. Com base nas especificações da NBR 5626 (ABNT, 2020), foi realizado o dimensionamento e cálculo das perdas de carga dos sistemas, bem como foram obtidos os respectivos quantitativos dos materiais e orçamentos, a partir dos quais foram realizadas as análises comparativas e definidos os indicadores para avaliação do desempenho de cada sistema e respectivos custos que foram comparados em relação a outros estudos. O fluxograma da Figura 1 sintetiza a metodologia utilizada neste estudo.

Figura 1: Fluxograma da metodologia do trabalho



2.1 Estudo de caso

A base do projeto consiste em uma edificação de médio padrão, localizada no Estado de São Paulo, com um pavimento garagem, um pavimento térreo e 23 pavimentos tipos. Para o estudo foi escolhido o apartamento 02 do pavimento Tipo, sendo este representativo da maioria dos apartamentos do edifício. O apartamento em estudo contém três quartos, uma sala de estar, dois banheiros, um lavabo, e uma cozinha/área de serviço com uma varanda gourmet.

Em cada apartamento a medição da água consumida pelos sistemas é realizada por hidrômetros individuais localizados em armários acessíveis na área comum de circulação. No Quadro 1 estão indicados os aparelhos e pontos de utilização de água fria e quente do apartamento tipo.

Quadro 1: Ambientes sanitários, aparelhos e pontos de utilização do apartamento tipo.

Ambiente sanitário	Aparelhos sanitários e seus pontos utilização
Banheiro 1 e 2	1 lavatório – AF/AQ; 1 bacia sanitária - AF e 1 chuveiro (ducha) – AF e AQ
Lavabo	1 lavatório – AF; 1 bacia sanitária – AF
Cozinha	1 pia – AF/AQ
Varanda gourmet	1 pia – AF
Área de serviço	1 aquecedor a gás – AF/AQ; 1 tanque – AF e 1 máquina de lavar roupas - AF

AF – Ponto de água fria; AQ – Ponto de água quente

2.2 Concepção do traçado da rede

O traçado da rede da edificação foi realizado em duas etapas. Primeiramente, foi traçado o percurso da tubulação na planta baixa do pavimento tipo da edificação, realizado por meio do software AutoCAD da Autodesk. Este traçado conecta as prumadas do armário de hidrômetros do pavimento com cada apartamento, de forma a abastecer todos os pontos de utilização dos mesmos. Na sequência foi realizada a modelagem tridimensional da tubulação por meio do software QiBuilder, atualização 2023-11, (AltoQI, 2023); neste, foram inseridos os arquivos de cada sistema no software, sendo estes utilizados como guia para a realização do sistema.

Para este estudo, optou-se por analisar três sistemas diferentes, cada um executado em um próprio modelo 3D dentro do software:

- Sistema 1 (S1): instalação com tubulação rígida PVC e CPVC como sistema convencional, com registros próprios para cada ambiente;
- Sistema 2 (S2): instalação com tubulação flexível PEX no sistema convencional, com o mesmo traçado e encaminhamentos utilizados no S1;
- Sistema 3 (S3): instalação com tubulação flexível PEX no sistema ponto a ponto parcial, onde cada ambiente é alimentado individualmente por tubulações provenientes do manifold na área de serviço (Dos Santos e Modolo, 2019) e com um único registro geral.

Para os três sistemas o abastecimento dos pontos de água quente foi realizado com traçado convencional, partindo do aquecedor para atender aos banheiros e à cozinha. A quantificação das peças e do comprimento da tubulação utilizada nos sistemas foi obtida pelo próprio software Qibuilder (Janela Edificação > Planilhas > Lista de materiais), sendo estes utilizados para as análises de custo e geração de indicadores de custo por metro linear de cada sistema.

2.3 Levantamento de custos do projeto

O orçamento dos materiais dos sistemas hidráulicos obtidos deste estudo foi realizado por meio de planilha eletrônica, sendo utilizados insumos do banco de dados do SINAPI 11/2023 (CAIXA, 2023) aplicados a edificações contidas no Estado de São Paulo.

Da modelagem em software Revit da Autodesk dos sistemas prediais hidráulicos obteve-se a quantificação das peças utilizadas em cada modelo e foram geradas listas de materiais para a edificação em PVC e em PEX; estes dados lançados em planilhas próprias para cada, onde também foram lançados dados do SINAPI 11/2023 (CAIXA, 2023) do custo unitário de cada material. Considerou-se encargos sociais para serviço não desonerado e foi adotado um valor arbitrário para o BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) de 25%, em função de ser um valor intermediário entre os valores observados no trabalho de Nóbrega (2021).

2.4 Dimensionamento e cálculo da perda de carga

Para realizar o dimensionamento das tubulações do sistema de distribuição de água foram seguidos os requisitos de pressão e velocidade da NBR 5626 (ABNT, 2020). Para velocidade máxima foi adotado o valor de 2,5m/s no software QiBuilder e a pressão admissível na tubulação no intervalo de 5 a 400 kPa.

Para estimar as vazões dos trechos da tubulação foi utilizado o método dos pesos, adotado principalmente em função de sua praticidade e por ser de prática de muitos engenheiros, atribuindo pesos relativos para cada ponto de consumo com base na vazão de projeto. As vazões de projeto, os pesos relativos e a perda de carga nos hidrômetros adotados nesse estudo foram obtidos a partir de recomendações contidas na versão da antiga versão da NBR 5626, obtidas no livro Instalações Hidráulicas e Sanitárias (CREDER, 2006).

A perda de carga na tubulação foi calculada considerando a perda de carga distribuída, variando em função do comprimento da tubulação, seu material, diâmetro e a vazão do escoamento em seu interior. O cálculo da perda de carga unitária foi realizado por meio da Equação Universal de Perda de Carga, visto que este método é recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 2020).

O coeficiente universal de perda de carga foi obtido em função do número de Reynolds, da viscosidade cinemática do fluido e da rugosidade da tubulação, estes parâmetros foram calculados pelo software QiBuilder. O comprimento total do conduto utilizado para cálculo é composto pelo comprimento da tubulação junto com a somatória dos comprimentos equivalentes das peças utilizadas no sistema, estes definidos pelo próprio software.

O cálculo da perda de carga nos sistemas utilizando tubulação PEX realizado pelo software QiBuilder segue, em geral, os mesmos procedimentos utilizados em hidráulica para tubulações rígidas, porém, este tem uma peculiaridade própria devido à efetuação de curvaturas pela própria tubulação (Souza, 2011), onde a determinação da perda de carga localizada pode variar (AltoQi, 2022). Neste caso, considera-se um comprimento equivalente da curvatura no cálculo, definido com base na relação entre o raio de curvatura r e o diâmetro interno do conduto D , ambos em metro (m).

- Se $r/D > 8$, o comprimento equivalente da curvatura é desprezível e portanto, o valor fica igual a zero;
- Se $r/D \leq 8$, o programa deve calcular o valor o comprimento equivalente da curvatura do ponto intermediário.

Para todas os pontos que atendam ao segundo critério é calculado o valor do fator de atrito (K) da curva, por meio da Equação 1 (AltoQi, 2022):

$$K = \left[0,13 + 0,16 \cdot \left(\frac{r}{D} \right)^{-3,5} \right] \cdot \sqrt{\alpha^\circ / 180^\circ} \quad (1)$$

Em que:

K = fator de atrito;

D = diâmetro interno do conduto (m);

r = raio da curvatura;

α° = ângulo da curvatura (graus).

Determinado o fator de atrito K, a perda de carga localizada da curvatura é obtida da Equação 2 (AltoQi, 2022, adaptada):

$$H = K \cdot \frac{\left(\frac{Q}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2} \right)^2}{2 \cdot g} \quad (2)$$

Em que:

Q = Vazão do trecho do conduto (em m³/s);

D = diâmetro interno do conduto (m);

K = fator de atrito;

g = gravidade (m/s²);

H = Perda de carga (em m).

Para obtenção do valor da perda de carga localizada H, calcula-se o comprimento equivalente da curvatura por meio da Equação 3:

$$CE = \frac{H}{J} \quad (3)$$

Em que:

CE = Comprimento equivalente da curvatura (m);

H = Perda de carga localizada da curvatura (m);

J = Perda de carga unitária do conduto (em m/m).

Os comprimentos equivalentes obtidos para cada curvatura são adicionados ao comprimento da tubulação para se obter o comprimento total. Este processo foi realizado para todos os sistemas no apartamento do tipo.

Quanto à pressão disponível para abastecimento no apartamento tipo, foi adotada a pressão de um apartamento tipo mais distante do barrilete, de modo a garantir pressão na rede para que seja possível quantificar a perda de carga nos sistemas e garantir pressão mínima para atendimento dos pontos de utilização de 10 kPa ou 1 m.c.a. Foi adotado um valor arbitrário de 15 m.c.a. logo após o hidrômetro. Cabe informar que o estudo teve por finalidade analisar os ramais e sub ramais contidos em um apartamento frente a diferentes configurações de traçado e materiais (PEX e PVC e CPVC), excluindo a análise hidráulica e econômica de toda edificação.

2.5 Definição de indicadores de custo

Ao final do projeto, após execução dos traçados e lançamento em Revit dos sistemas hidráulicos S1 (PVC e CPVC convencional), S2 (PEX convencional) e S3 (PEX ponto-a-ponto), obtidos os orçamentos realizados pela construtora para o edifício executado no ano de 2023 e os valores das perdas de carga nos sistemas, foram lançados estes dados em planilhas eletrônicas e realizada uma análise de custos dos materiais dos três sistemas. Foram definidos indicadores relacionando os custos da execução do sistema por metro linear de tubulação utilizada, como base de referência para estimativas de valores por futuros estudos ou até profissionais atuantes no mercado buscando realizar o planejamento de obras. Desta forma, foram montados quadros comparativos englobando:

- Custo por metro linear de tubulação obtidos para os três sistemas;
- Relação percentual entre os custos dos sistemas PEX com o sistema em PVC e CPVC;
- Análise comparativa sobre os custos da execução dos sistemas hidráulicos do apartamento estudado em PVC e CPVC soldável e em PEX, quantificando a diferença percentual dos valores obtidos para os dois sistemas.

Neste estudo foi considerado o total de 2 funcionários - um encanador e um auxiliar - para realizar as montagens dos tubos e conexões. Em relação ao tempo necessário para montar os sistemas – foi considerado um dia e meio (12 horas) para o sistema em PVC e

CPVC e um dia (8 horas) para os sistemas em PEX. Essa redução de tempo de execução deve-se à utilização de kits próprios do material, que facilitam a montagem em obra.

3 Resultados e discussão

3.1 Traçados dos sistemas S1, S2 e S3

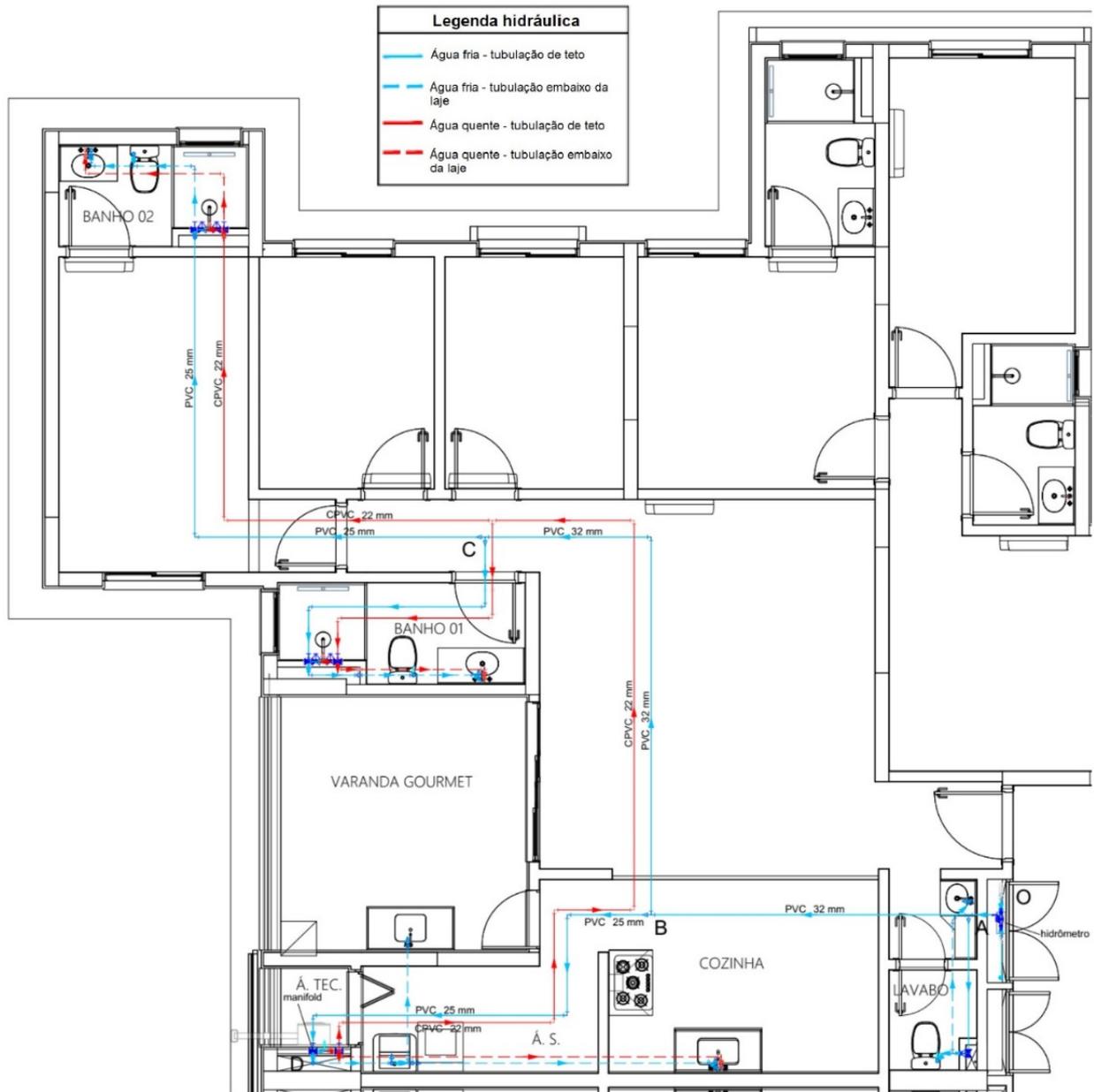
O projeto utilizado como base para o estudo de caso foi fornecido por uma empresa especializada na elaboração de projetos de engenharia e arquitetura, com os dados de identificação do cliente devidamente removidos

Com base nos diferentes sistemas foram feitos os traçados originais com tubulações rígidas (S1), os traçados com tipo S2, os quais apresentavam o mesmo caminho de S1 porém com material PEX, por fim, o sistema S3 com sistema PEX mediante diferente configuração de traçado de S1 e S2 com uso de “manifold”.

Os percursos dos traçados foram realizados considerando a posição dos elementos estruturais de forma a desviar de vigas, lajes e pilares. Os ramais partem do armário onde fica localizado o hidrômetro e percorrem pelo teto (traço cheio) até os shafts dos ambientes, por onde eles descem e continuam por baixo da laje do piso (traço tracejado) para atender os sub ramais e pontos de utilização, respeitando-se a concepção original do projeto da empresa.

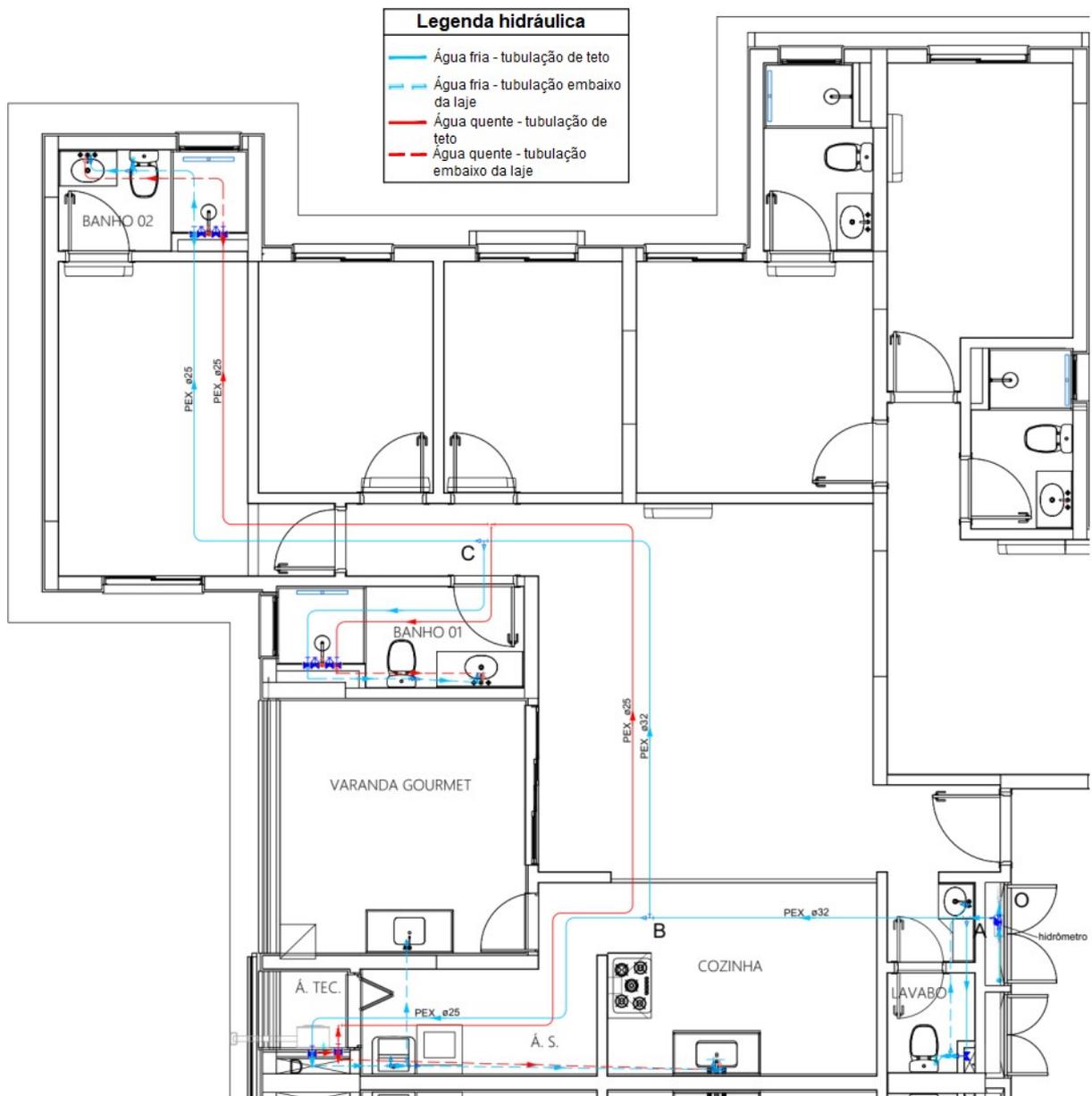
Os resultados destes traçados, respectivamente, para os traçados para (S1), (S2), e (S3) estão apresentados, nas Figuras 2, 3 e 4 a seguir.

Figura 2: Traçado do sistema S1 (PVC e CPVC convencional).



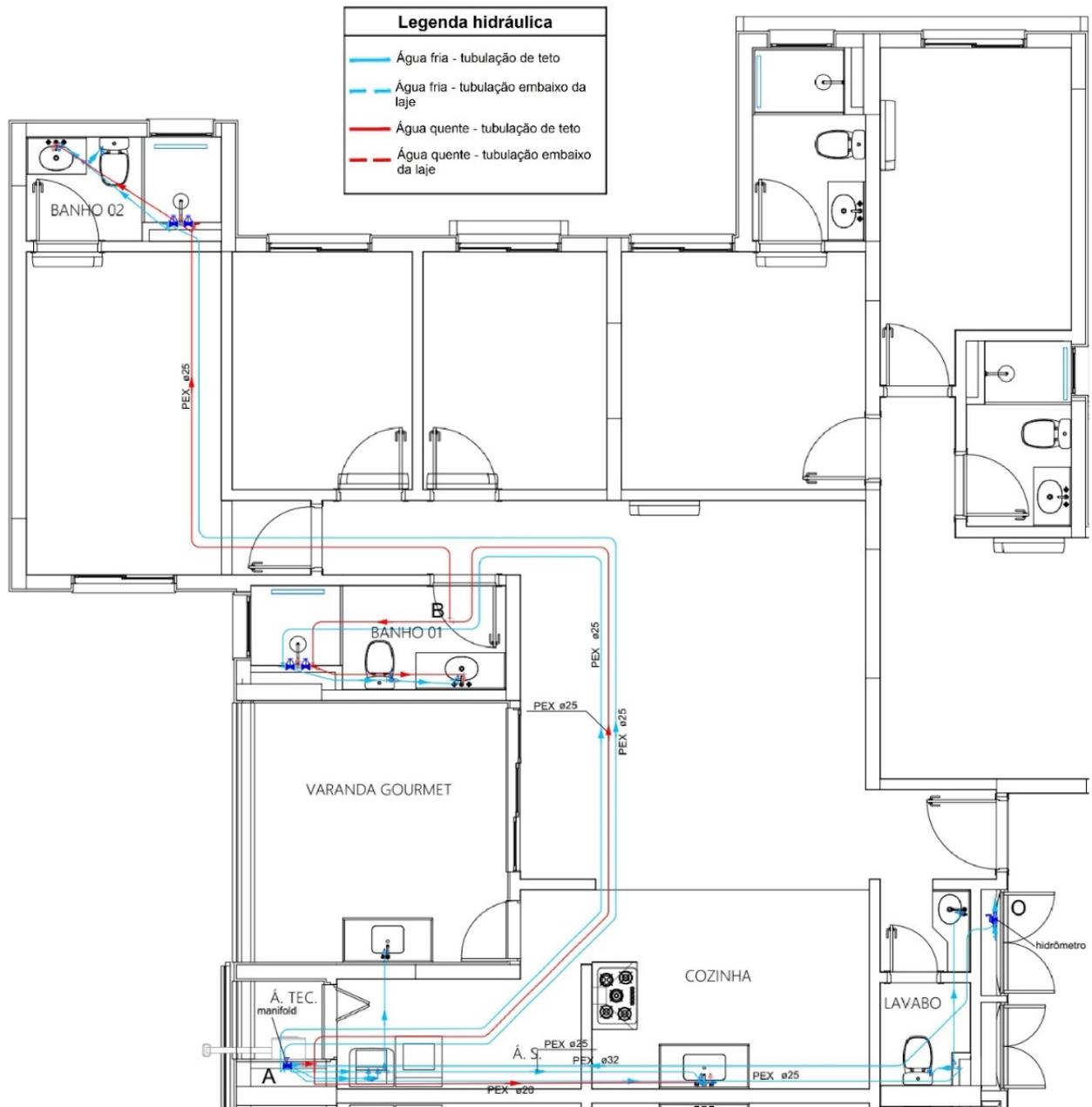
Fonte: Empresa especializada em engenharia e arquitetura (2024), adaptada pelos autores (2024).

Figura 3: Traçado do sistema S2 (PEX convencional).



Fonte: Empresa especializada em engenharia e arquitetura (2024), adaptada pelos autores (2024).

Figura 4: Traçado do sistema S3 (PEX ponto a ponto parcial).



Fonte: Empresa especializada em engenharia e arquitetura (2024), adaptada pelos autores (2024).

Na Figura 2, é possível observar o traçado retilíneo das tubulações rígidas (S1) percorrendo pelo teto, com mudança de direção por meio de joelhos de 90°. Na referida figura, os ramais dos ambientes sanitários foram traçados por baixo da laje, conforme pode-se observar pelas linhas tracejadas.

Na Figura 3, foi apresentado o mesmo traçado retilíneo utilizado em S1; porém, as mudanças de direção ocorreram pela curvatura da tubulação PEX, e não pelo uso de conexões.

Na Figura 4, o sistema S3 é apresentado, cuja configuração de traçado é totalmente distinta de S1 e S2, pois uma tubulação PEX de 32 mm segue do hidrômetro diretamente para a área técnica, onde existe um shaft específico contendo registros e um “manifold” que distribui a tubulação PEX para cada ambiente sanitário.

Cabe informar que os diâmetros contidos nos projetos das Figuras 2, 3 e 4 foram obtidos por meio de cálculo mediante o uso do software QiBuilder, sendo estes aproximados para valores de diâmetro comercial mais próximo.

Na Tabela 1 está apresentado o resumo quantitativo das tubulações e conexões dos diferentes sistemas estudados. Os resultados correspondem aos materiais de um apartamento padrão do pavimento tipo, contendo a quantidade de tubos, comprimentos, peças e acessórios utilizados nos ambientes da cozinha, área de serviço, banheiros e lavabo.

Tabela 1: Resumo quantitativo dos sistemas S1, S2 e S3

Quantidade/Comprimento	Sistema S1		Total S1	Sistema S2		Total S2	Sistema S3		Total S3
	AF	AQ		AF	AQ		AF	AQ	
Conexões e registros (unidades)	81	50	131	44	34	78	30	15	45
Tubulação (m)	65,6	49,38	115,0	66,67	50,07	116,8	95,55	48,87	144,3

Percebe-se que a quantidade de conexões utilizadas diminui quando comparados os sistemas S1, S2 e S3, respectivamente, visto que cada sistema em PEX reduziu a quantidade de peças de curvatura como joelhos e curvas (**S2** e **S3**) e de peças para derivação tais como “tês” (**S3**). Contudo, o sistema **S3** tem maior comprimento total da tubulação por ter que percorrer distâncias maiores visto que todos os trechos abastecendo os ambientes partem do *manifold* na área de serviço. Os sistemas **S1** e **S2** têm comprimentos praticamente iguais de tubulação devido possuírem o mesmo traçado.

3.2 Comparativo da perda de carga dos sistemas

Os valores das perdas de carga desde o hidrômetro e das pressões disponíveis nos pontos dos sistemas **S1, S2 e S3** são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2: Perda de carga da saída do hidrômetro (H) até os pontos abastecidos - Sistema S1.

Ambiente	Trecho	Pressões (m.c.a.)				
		Ponto inicial	Desnível	Estática inicial	Perda de carga total	Pressão disponível
LAVABO	H ao LV	15,00	0,60	15,60	2,19	13,41
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	2,13	14,07
BANHO 01	H ao LV-AF	15,00	0,60	15,60	2,95	12,65
	H ao LV-AQ	15,00	0,60	15,60	10,79	4,81
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	2,93	13,27
	H ao CH	15,00	-0,95	14,05	11,24	2,81
	H ao LV-AF	15,00	0,60	15,60	3,06	12,54
BANHO 02	H ao LV-AQ	15,00	0,60	15,60	10,88	4,72
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	3,05	13,15
	H ao CH	15,00	-0,95	14,05	11,30	2,75
	H ao TLR	15,00	0,60	15,60	7,26	8,34
ÁREA DE SERVIÇO e COZINHA	H ao MLR	15,00	0,60	15,60	7,41	8,19
	H ao MLL	15,00	0,80	15,80	7,67	8,13
	H ao PIA-AF	15,00	0,60	15,60	7,64	7,96
	H ao PIA-AQ	15,00	0,60	15,60	7,75	7,85
	H ao PIA-VAR	15,00	0,60	15,60	7,30	8,30

H: Hidrômetro; LV: lavabo; BS: Bacia Sanitária; CH: chuveiro; TLR: Tanque de lavar roupas; MLR: Máquina de Lavar Roupas; MLL: Máquina de Lavar Louças; VAR: Pia da varanda.

Tabela 3: Perda de carga da saída do hidrômetro (H) até os pontos abastecidos - Sistema S2.

Ambiente	Trecho	Pressões (m.c.a.)				
		Entrada	Desnível	Estática inicial	Perda de carga total	Pressão disponível
LAVABO	H ao LV	15,00	0,60	15,60	1,75	13,85
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	1,60	14,60
BANHO 01	H ao LV-AF	15,00	0,60	15,60	2,44	13,16
	H ao LV-AQ	15,00	0,60	15,60	5,17	10,43
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	2,36	13,84
	H ao CH	15,00	-0,95	14,05	5,02	9,03
	H ao LV-AF	15,00	0,60	15,60	2,62	12,98
BANHO 02	H ao LV-AQ	15,00	0,60	15,60	5,31	10,29
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	2,55	13,65
	H ao CH	15,00	-0,95	14,05	5,11	8,94
	H ao TLR	15,00	0,60	15,60	4,69	10,91
ÁREA DE SERVIÇO e COZINHA	H ao MLR	15,00	0,60	15,60	4,78	10,82
	H ao MLL	15,00	0,80	15,80	5,06	10,74
	H ao PIA-AF	15,00	0,60	15,60	5,07	10,53
	H ao PIA-AQ	15,00	0,60	15,60	4,45	11,15
	H ao PIA-VAR	15,00	0,60	15,60	4,95	10,65

H: Hidrômetro; LV: lavabo; BS: Bacia Sanitária; CH: chuveiro; TLR: Tanque de lavar roupas; MLR: Máquina de Lavar Roupas; MLL: Máquina de Lavar Louças; VAR: Pia da varanda.

Tabela 4: Perda de carga da saída do hidrômetro (H) até os pontos abastecidos - Sistema S3.

Ambiente	Trecho	Pressões (m.c.a.)				
		Entrada	Desnível	Estática inicial	Perda de carga total	Pressão disponível
LAVABO	H ao LV	15,00	0,60	15,60	3,52	12,08
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	3,38	12,82
BANHO 01	H ao LV-AF	15,00	0,60	15,60	3,58	12,02
	H ao LV-AQ	15,00	0,60	15,60	3,92	11,68
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	3,49	12,71
	H ao CH	15,00	-1,00	14,00	3,78	10,22
	H ao LV-AF	15,00	0,60	15,60	3,84	11,76
BANHO 02	H ao LV-AQ	15,00	0,60	15,60	4,09	11,51
	H ao BS	15,00	1,20	16,20	3,80	12,40
	H ao CH	15,00	-1,00	14,00	3,94	10,06
	H ao TLR	15,00	0,60	15,60	3,22	12,38
ÁREA DE SERVIÇO e COZINHA	H ao MLR	15,00	0,60	15,60	3,27	12,33
	H ao MLL	15,00	0,80	15,80	3,74	12,06
	H ao PIA-AF	15,00	0,60	15,60	3,75	11,85
	H ao PIA-AQ	15,00	0,60	15,60	3,99	11,61
	H ao PIA-VAR	15,00	0,60	15,60	3,54	12,06

H: Hidrômetro; LV: lavabo; BS: Bacia Sanitária; CH: chuveiro; TLR: Tanque de lavar roupas; MLR: Máquina de Lavar Roupas; MLL: Máquina de Lavar Louças; VAR: Pia da varanda.

O sistema **S1** executado com PVC apresentou o pior desempenho quanto à perda de carga, principalmente nos pontos de água quente dos banheiros, onde a perda de carga desde o hidrômetro até o ponto atingiu valor superior a 11 m.c.a.

Os sistemas **S2 e S3** demonstraram melhor desempenho em relação ao **S1** - nos chuveiros, pontos mais críticos do sistema **S1**, o sistema **S2** obteve valores de perda de carga para os trechos em torno de 53,3% a 54,8% menores que o primeiro. Já o sistema **S3** obteve valores 73,7% a 75,0% menores que **S1** - devido à utilização de uma menor quantidade de conexões para execução de curvaturas - estas sendo realizadas pelo próprio tubo PEX.

O **S3** em particular apresenta resultados similares entre todas as conexões, com um desempenho um pouco pior no lavabo em relação ao **S2**, porém obtendo perdas menores nos trechos atendendo outros ambientes. O sistema S3, sendo um sistema ponto-a-ponto, cada tubulação que deriva do *manifold* abastece cada ambiente separadamente, reduzindo a perda de carga por ambiente.

Quanto à pressão disponível nos pontos, considerando uma pressão inicial de 15 m.c.a. logo após os hidrômetros, todos os pontos obtiveram carga disponível maior que a mínima necessária admitida por norma de 1 m.c.a. (ABNT, 2020). Os pontos mais críticos foram os chuveiros do sistema **S1**, com cargas disponíveis de 2,81 m.c.a. para o banho 01 e 2,75

m.c.a. para o banho 2; para os mesmos pontos, os outros dois sistemas obtiveram valores em torno de 9 m.c.a (S2) e 10 m.c.a (S3).

O sistema S2 teve valores da carga disponível em todos os pontos do sistema em média de 11,60 m.c.a. e o sistema S3 em torno de 11,85 m.c.a., enquanto o sistema S1 teve valor médio de 8,93 m.c.a., com maior variação entre seus pontos.

Pela análise pode-se observar que os sistemas em PEX (S2 e S3) apresentaram melhor desempenho em relação ao sistema com tubulação rígida PVC e CPVC (S1) quanto ao quesito perda de carga.

3.3 Análise de custos

Na Tabela 5 pode-se observar os valores dos custos obtidos para os materiais que compõem a água fria dos três sistemas, enquanto a Tabela 6 contém os valores dos materiais de água quente dos mesmos.

Tabela 5: Custos totais dos subsistemas de água fria (B.D.I. incluso).

Material	Sistema	Custo (R\$) ¹		
		Tubulação	Peças	Total
PVC e CPVC	S1	421,80	745,08	1.166,88
	S2	837,12	1.422,18	2.259,30
PEX	S3	1.165,52	997,95	2.163,47

¹ Base SINAPI 11/2023 (CEF, 2023).

Tabela 6: Custos totais dos subsistemas de água quente (B.D.I. incluso).

Material	Sistema	Custo (R\$) ¹		
		Tubulação	Peças	Total
PVC e CPVC	S1	949,46	915,72	1.865,18
	S2	537,97	993,86	1.531,83
PEX	S3	495,96	537,89	1.033,85

¹ Base SINAPI 11/2023 (CEF, 2023).

Para água fria, nota-se que os sistemas S2 (PEX convencional) e S3 (PEX ponto a ponto) apresentam custos significativamente maiores que o sistema S1 (PVC e CPVC), obtendo valores 93,6% e 85,4% maiores que S1, respectivamente. O sistema S2 teve o maior gasto relacionado às peças do sistema, enquanto o sistema S3 obteve maior gasto com tubulação, visto o maior comprimento percorrido nesse sistema. Para água quente, o sistema S1 apresentou maior gasto que os outros dois sistemas, com valor 21,8% maior que S2 e 80,4% maior que S3.

O material CPVC tem custos unitários na base SINAPI 11/2023 (CEF, 2023) superiores ao PEX, resultando nesta inversão dos resultados em relação aos sistemas de água fria – A Tabela 7 contém a diferença nos valores unitários da tubulação dos três tipos de materiais. O sistema S1 teve maior gasto com tubulação, 76,5% maior que o segundo maior (S2), enquanto S2 teve gasto um pouco maior com peças e S3 obteve os menores custos para ambos e o menor custo total do subsistema. Quanto à mão de obra, na Tabela 8 pode-se verificar a relação de custos unitários dos profissionais.

Tabela 7: Custo unitário das tubulações dos materiais utilizados (B.D.I. incluso).

Material	D (mm)	Custo (R\$) ¹
PVC	25	5,17
CPVC	22	19,22
PEX	25	11,53

¹ Base SINAPI 11/2023 (CEF, 2023).

Tabela 8: Tempo e custo unitário para mão de obra.

Material	Sistema	Tempo de trabalho (h)		Custo (R\$) ¹			
		Encanador	Auxiliar	Unitário (R\$/h)		Total (R\$)	
				Encanador	Auxiliar	Sem B.D.I.	Com B.D.I.
PVC e CPVC	S1	12,00	12,00	34,68	28,97	763,80	954,75
	S2	8,00	8,00	34,68	28,97	509,20	636,50
PEX	S3	8,00	8,00	34,68	28,97	509,20	636,50

¹ Base SINAPI 11/2023 (CEF, 2023).

A redução no tempo de execução dos sistemas em PEX resulta em menores gastos com mão de obra, o que impacta no custo total do projeto, como observado na Tabela 9. Pode-se observar na Tabela 9, que considerado o valor da mão de obra, o sistema **S3** (PEX ponto a ponto parcial) obtém custo total um pouco menor que o sistema **S1** de tubulação rígida, com valor 3,8% menor.

Tabela 9: Custo total dos sistemas (B.D.I. incluso).

Material	Sistema	Custo (R\$) ¹				
		Materiais			Mão de obra	Total do sistema
		Água fria	Água quente	Total		
PVC e CPVC	S1	1.166,88	1.865,18	3.032,06	954,75	3.986,81
	S2	2.259,30	1.531,83	3.791,13	636,50	4.427,63
PEX	S3	2.163,47	1.033,85	3.197,32	636,50	3.833,82

¹ Base SINAPI 11/2023 (CEF, 2023).

Com relação aos custos de materiais, observa-se que ao comprar os materiais dos sistemas S1 e S3, os custos totais de 85% superior do PEX frente ao PVC e 44% inferior do PEX frente ao CPVC. Lourenço e Rodrigues (2020) também relataram que o PEX apresentou custo inferior da ordem de 58,9% inferior quando comparado o PEX com a tubulação rígida em CPVC.

Quando considerando apenas os materiais, o sistema **S3** apresentou custo 5% maior que **S1**. Em ambos os casos a diferença entre os valores obtidos é muito pequena, considerada dentro de uma margem de erro – uma diferença de R\$ 100,00 a R\$ 150,00 entre ambos - sendo que os custos para os dois sistemas podem ser considerados praticamente iguais. O sistema **S2** foi identificado como o mais custoso dos três sistemas avaliados, com valor total em torno de R\$ 440,00 a R\$ 590,00 maior que os outros dois, uma diferença de 11 a 15% nos custos.

Desta forma, observa-se que o material em PEX tem valor significativamente maior que o material em PVC, sobretudo quando utilizado no mesmo traçado que a tubulação rígida, como ocorreu para **S2**. Também, pode se observar que o traçado de um sistema ponto a ponto parcial, resulta em menor quantidade de conexões, menor custo no sub-sistema de água quente em relação ao CPVC, e redução nos gastos com mão de obra. Esses atributos fazem com que o sistema PEX seja competitivo em relação ao sistema **S1** quanto aos custos.

3.4 Indicadores

O sistema **S2** teve o maior custo dos três sistemas, com valor 9,3% maior que o sistema **S1**; a diferença entre os comprimentos das tubulações dos dois sistemas é pequena, visto que compartilham o mesmo traçado geral, e o maior custo do material PEX resultou neste incremento no valor do indicador. A Tabela 10 apresenta um comparativo percentual entre os custos de cada sistema.

Tabela 10: Comparativo dos custos dos três sistemas (em R\$).

Comparativo dos custos ¹	PVC e CPVC		PEX		Relação PEX e PVC/CPVC	
	S1	S2	S3	S2-S1	S3-S1	
Materiais	3.032,06	3.791,13	3.197,32	25,03%	5,45%	
Mão de obra	954,75	636,50	636,50	-33,33%	-33,33%	
Total	3.986,81	4.427,63	3.833,82	11,06%	-3,84%	

¹Base SINAPI 11/2023 (CEF, 2023).

Em relação ao sistema em tubulação rígida S1, ambos os sistemas em PEX tiveram redução nos custos de mão de obra em torno de um terço ou 33,33%. Em concordância, Anselmo e Oneda (2023) também identificaram que o sistema PEX demonstrou ser mais econômico em 19,79% frente ao uso de PVC sendo um fator relevante foi o menor custo de mão de obra.

O sistema S2 (PEX convencional) apresentou um aumento nos gastos com materiais e no valor total, enquanto o sistema S3 (PEX ponto a ponto parcial) teve pequenas diferenças nos custos de materiais - 5,45% mais elevado - e no custo total - 3,84% menor, de forma que pode se considerar os custos totais dos dois sistemas praticamente iguais. De qualquer forma, o sistema PEX ponto a ponto (S3) demonstra-se competitivo em relação ao sistema convencional com tubulação rígida (S1).

Dispondo-se da quantidade de materiais utilizados, dos comprimentos das tubulações dos sistemas e dos custos dos orçamentos sintéticos do projeto, foram definidos alguns indicadores relacionados aos custos de cada sistema. A Tabela 11 fornece os valores obtidos para o custo por metro linear de tubulação de cada sistema.

Tabela 11: Custo por metro linear de tubulação dos sistemas.

Material	Sistema	Custo total ¹ (R\$)	Comprimento da tubulação (m)	Custo por metro linear (R\$/m)
PVC e CPVC	S1	3.986,81	115,00	34,67
	S2	4.427,63	116,80	37,91
PEX	S3	3.833,82	144,30	26,57

¹Base SINAPI 11/2023 (CEF, 2023).

Observa-se que o sistema **S3** (PEX ponto a ponto parcial), com menor custo total e maior comprimento de tubulação, obteve o menor valor do indicador com diferença de 23,4% em relação ao sistema S1 em PVC e CPVC e 29,9% em relação ao sistema **S2** em PEX convencional.

Para encerrar esta seção de análises, foram comparados os valores dos indicadores de custo definidos no presente trabalho com indicadores obtidos de outros estudos. Considerando a inflação, os valores dos custos destes foram corrigidos com base no índice IPCA do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), considerado como índice oficial de inflação do Brasil pelo Governo Federal. A Tabela 12 fornece o comparativo dos valores relacionados ao custo por metro linear de tubulação, entre este estudo e os estudos Nóbrega (2019) e Santos (2022).

Tabela 12: Comparação dos valores obtidos e valores em outros estudos quanto ao custo por metro linear.

Fonte	Material	Custo (R\$)		Comprimento de tubulação (m)	Custo por metro linear (R\$/m)
		Total	Atualizado pelo IPCA		
Nóbrega (09/2019)	PVC	279.440,10	320.314,29	5505,50	58,18
	PEX	320.352,10	367.210,56	6705,00	54,77
Santos (07/2022)	PVC E PEX	559,25	652,84	29,85	21,87
	PEX	622,69	726,89	31,22	23,28
Este trabalho (11/2023)	PVC E CPVC (S1)	3.986,81	3.986,81	115,00	34,67
	PEX (S2)	4.427,63	4.427,63	116,80	37,91
	PEX (S3)	3.833,82	3.833,82	144,30	26,57

Com base na comparação dos indicadores de custo por metro linear dos sistemas em PEX obtidos neste trabalho com os indicadores dos trabalhos de Nóbrega (2019) e Santos (2022), pode-se observar que o custo por metro linear varia de R\$ 54,77 a R\$ 23,28. Constatou-se uma grande variação entre os valores obtidos de cada estudo, fato esperado visto que há diferenças significativas entre os objetos de estudo de cada trabalho. O padrão dos apartamentos estudados e seus traçados variam entre casos, a quantidade de mão de obra e as cargas horárias dos mesmos são definidas por critérios diferentes e alguns dos sistemas avaliados por alguns dos autores tais como Nóbrega (2019) e Santos (2022) consistem em sistemas mistos com tubulação rígida e flexível.

Porém, verificando os valores obtidos em relação aos seus sistemas, é possível observar que, em geral, os sistemas executados somente em PEX tendem a apresentar maiores custos totais em relação aos sistemas com tubo rígido (mistos ou não); ao mesmo tempo, os sistemas flexíveis em PEX tendem a apresentar menor custo por metro linear de tubulação utilizado em relação aos sistemas com tubo rígido na maioria dos casos.

4 Conclusão

O estudo confirmou, especificamente para o estudo caso, que o sistema em PEX S3 obteve melhor desempenho quanto à perda de carga em seu traçado e também apresentou 23,4% menor custo em relação ao comprimento de tubulação utilizado em seu traçado. Esse sistema ainda não se apresentou muito mais complexo para seu desenho e modelagem em relação ao traçado convencional, apesar de necessitar da

arquitetura a realização de shafts para os *manifolds* e registros gerais, algo que está se tornando cada vez mais comum para apartamentos de médio e alto padrão.

Com relação a utilização de um traçado estilo ponto a ponto, mesmo parcial, executado em PEX, como foi realizado para o sistema S3, foi possível obter custos totais - considerando materiais e mão de obra - equivalentes em valor a um sistema projetado com tubulação rígida PVC e CPVC como o sistema S1.

Dos sistemas avaliados foi constatado que o sistema em PVC/CPVC apresentou menor custo quanto a materiais e os sistemas em PEX menor custo com mão de obra. O indicador de custo por metro do sistema rígido foi de R\$ 34,57, enquanto para o sistema PEX convencional e ponto a ponto foi de R\$37,91 R\$/m e R\$ 26,57 R\$, respectivamente.

De qualquer forma, considerando o escopo limitado deste estudo em uma única configuração de planta de apartamento e simulação em pavimentos com pressão inicial do ramal elevada com 15 m.c.a. foi possível comprovar a eficácia do PEX tipo ponto a ponto parcial como alternativa técnica e econômica frente ao sistema convencional em PVC e CPVC.

Ressalta-se que os resultados obtidos neste são válidos apenas para esse estudo de caso, e não são necessariamente aplicáveis a qualquer obra, tendo fins puramente acadêmicos.

Como trabalhos futuros sugere-se a comparação dos sistemas tradicionais mediante PVC e CPVC pelo uso de kits pré-fabricados; sobre as dificuldades de aquisição de tubulações e conexões PEX, comparação do uso de diferentes sistemas em apartamentos situados no último pavimento e áreas próximas ao limite de atendimento das válvulas redutoras de pressão, bem como métodos que padronizem a construção de indicadores de custo por metro linear de sistemas PEX.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15939-1**: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X). Parte 1 - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2023. 41 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15939-2**: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X). Parte 2 - Procedimentos para projeto. Rio de Janeiro, 2023. 10 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15939-3**: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno reticulado (PE-X). Parte 3 - Procedimentos para instalação. Rio de Janeiro, 2023. 10 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 2020. 64 p.

ALTOQI. **Como são calculadas as perdas de cargas em condutos PEX na disciplina Hidráulico do AltoQi Builder?**. 2022. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/8454925135639-Como-s%C3%A3o-calculadas-as-perdas-de-cargas-em-condutos-PEX-na-disciplina-Hidr%C3%A1ulico-do-AltoQi-Builder>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2024.

ALTOQI. **Software para projetos de instalações prediais**. Versão atualização 2023-11 [s.l.] 11 nov. 2023. Disponível em: <https://www.altoqi.com.br/builder>. Acesso em: 12 dez. 2023.

ANSELMO, Mariana Silva; ONEDA, Tânia Mara Sebben. In: **XV SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS (SISPRED 2023)**, nº XV, 2023, Joinville -SC. Aspectos técnicos e econômicos de diferentes tipos de materiais nos sistemas prediais hidráulicos: análise comparativa entre PEX E PVC. Joinville -SC 20/08/2023. 127-135. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sispred/article/view/2982/3674>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

BRANDÃO, Rosana Gouveia. **Estudo da viabilidade da utilização de PVC, PEX e PPR em empreendimentos familiares**. 2010. Projeto de graduação (Graduação em Estruturas e Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Referências de preços e custos**. In: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-sp/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_SP_202311_Desonerado.zip. Acessado em: novembro 2023

CAVALCANTE, Felipe Martins. **Aplicação de inovações tecnológicas e de novos sistemas construtivos nas instalações hidráulicas e sanitárias: um ganho na produtividade**. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6ª. Ed. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro: Guanabara, 2006. 423p

DOS SANTOS, Vitor Manuel; MODOLO, Marcelo Romano. **Sistema PEX e as inovações nas instalações prediais**. Revista Científica Semana Acadêmica, ed. 000183, v. 1, 2019. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/sistema-plex-e-inovacoes-nas-instalacoes-prediais>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2022.

FREITAS, Wallace; BRASIL, Luiz; PALÁCIO, Humberto. **Vantagens do uso do BIM para a modelagem de instalações prediais**. In: CONGRESSO DE CONSTRUÇÃO CIVIL – CONSTRUÇÃO 2020, 12., 2020, Brasília-DF. Anais [...] Brasília: Universidade de Brasília, 2020. p. 205-215.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. **Arquitetura e construção**. 2024. Disponível em: <https://pvc.org.br/arquitetura-e-construcao>. Acesso em: 03 de julho de 2024.

LOURENÇO Arthur, Ferreira; RODRIGUES, Rafael Felipe Teixeira. **Sistema de tubulações flexível como solução eficaz para instalações hidráulicas**. Revista Boletim de Gerenciamento, ed. 21, 2020. Disponível em: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento. Acesso em: 24 de fevereiro de 2022.

NÓBREGA, Karen Tayna Fernandes De Almeida Nóbrega. **Análise da viabilidade econômica da utilização do PEX como alternativa ao PVC em projeto hidráulico de uma edificação multifamiliar**. 2021. Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cajazeiras, Paraíba, 2021.

SANTOS, Adriano Lucas Luna dos. **Análise comparativa entre instalações prediais de água fria com utilização de PEX e PVC-estudos de caso: condomínios praia de Ponta Negra e praia de Pipa em Natal/RN.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2022.

SOUZA, Carolina Corrêa. **Aspectos econômicos e hidráulicos da utilização do PEX como alternativa em projetos de instalações hidráulicas prediais.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

TIGRE. **Orientações técnicas sobre instalações de água quente.** 2021 Disponível em: <https://www.tigre.com.br/catalogos-tecnicos>. Acesso em: 03 de março de 2022.