

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DANIEL DA SILVA RODRIGUES

**SISTEMA PREDIAL HIDRÁULICO DE ÁGUA FRIA E ÁGUA QUENTE COM
TUBOS E CONEXÕES PEX: ANÁLISE CRÍTICA DE EXECUÇÃO EM ESTUDO DE
CASO**

São Paulo

2024

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DANIEL DA SILVA RODRIGUES

**SISTEMA PREDIAL HIDRÁULICO DE ÁGUA FRIA E ÁGUA QUENTE COM
TUBOS E CONEXÕES PEX: ANÁLISE CRÍTICA DE EXECUÇÃO EM ESTUDO DE
CASO**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, para obtenção do título
de Especialista em Tecnologia e Gestão na
Produção de Edifícios

Área de conhecimento: Sistema predial hidráulico
de água fria e água quente com tubos e conexões
PEX: análise crítica de execução em estudo de
caso.

Orientador: Prof. Msc. Carlos Eduardo Grazina

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-Publicação

RODRIGUES, DANIEL DA SILVA

SISTEMA PREDIAL HIDRÁULICO DE ÁGUA FRIA E ÁGUA QUENTE
COM TUBOS E CONEXÕES PEX: ANÁLISE CRÍTICA DE EXECUÇÃO EM
ESTUDO DE CASO / D. D. S. RODRIGUES - São Paulo, 2024.

118 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de
Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento
de Engenharia de Construção Civil.

1.Engenharia civil 2.Sistema predial hidráulico 3.Água fria e água
quente I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Construção Civil II.t.

Referência bibliográfica ao trabalho de monografia: Daniel da Silva Rodrigues. **Sistema predial hidráulico de água fria e água quente com sistema PEX: análise crítica de execução em estudo de caso.** 2024. Número de páginas 118.: il. Monografia (Especialidade em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Msc. Carlos Eduardo Grazina

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: _____

Examinador 1: Dr. Luiz Sérgio Franco

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: _____

Examinador 2: Prof. Msc. Mauricio Bernardes

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: _____

Examinador 3: Prof. Dr. Francisco Cardoso

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria e Adailton, a minha esposa Cibele, aos nossos filhos, aos professores da Universidade de São Paulo, ressaltando Profa. Dra. Mércia Maria Semensato Bottura Barros e Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso que tiveram grande empenho e contribuição ao longo do curso para construção desta monografia.

Um agradecimento especial ao Prof. Msc. Carlos Eduardo Grazina, orientador, e por toda a troca de experiência e ensinamentos para o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e ao Universo pela vida e oportunidades até aqui. Agradeço aos meus pais, Maria e Adailton por todo seu empenho e dedicação em proporcionar tudo o que construíram e tivemos, sempre com muito amor, cuidado e capricho. Eles são a base da minha evolução como ser humano e profissional. Agradeço a minha esposa Cibele, que além de tudo que faz por nossa família, cuida do nosso 2º filho, ainda pequeno, enquanto me concede mais tempo para produzir este trabalho.

Gostaria de usar este espaço para uma reflexão de que em 2024, aos 39 anos, os conhecimentos e habilidades que carrego, são como uma foto da minha trajetória ao longo do tempo. Todos, sem exceção, que cruzaram meu caminho, foram capazes de contribuir para a construção de quem sou hoje, pessoal e profissionalmente. Os professores, amigos e colegas de escola desde a infância, todos os profissionais com os quais trabalhei desde o primeiro trabalho e todos aqueles que compartilharam comigo suas experiências até hoje. Alguns, experiências profissionais, outros, experiências da vida. Não caberiam aqui, todos estes nomes.

Além de agradecer, parabenizar os professores da Universidade de São Paulo, que ministraram suas aulas com um novo desafio em tempos de pandemia e meus amigos de classe, cada um em sua casa em grande parte das aulas. Tenho orgulho da nossa decisão de termos levado esta turma adiante durante a pandemia, não desistimos!

Para finalizar, professores Francisco, Mércia e especialmente Grazina pela orientação, que foram os mentores para colocar esta monografia no papel, para além do meu e do nosso tempo.

RESUMO

Os sistemas prediais hidráulicos de água potável possuem amplas soluções de materiais e componentes, tendo ainda grande participação, os sistemas rígidos com tubos e conexões em PVC, por exemplo. Seja por uma prática conservadora ou falta de conhecimento e pesquisa por novas possibilidades de construção, percebe-se que falhas ou dificuldades de construção são admitidas ano após ano, como se fosse comum e aceitável conviver com baixa produtividade na construção e manifestações patológicas ao longo da vida da edificação.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um método construtivo de sistemas prediais de água fria e água quente com sistema PEX em edifícios multipavimentos, e apresentar recomendações para execução através de um estudo de caso. Este sistema tem impacto positivo com aumento de produtividade e redução de falhas na etapa de construção, além de permitir maior manutenibilidade do sistema após conclusão. Tudo isto, sem perda de durabilidade do sistema hidráulico, desde que atendidos os critérios de instalação conforme cada fabricante, comparado com outras opções de execução com sistema rígido, por exemplo.

O estudo de caso foi realizado em uma construtora com 27 anos de história e 26 obras realizadas com sistemas hidráulicos rígidos, e realizou seu primeiro empreendimento com sistema PEX definido em projeto, evidenciando desafios das adaptações culturais de processo interno e produto, desde a etapa de projeto e em cada fase da construção até a conclusão da obra.

Palavras chaves: PVC, CPVC, PPR, PEX, sistema predial, distribuição de água fria e quente, hidráulica.

ABSTRACT

Hydraulic drinking water building systems have wide solutions of materials and components, with rigid systems with PVC pipes and connections, for example, also having a large share. Whether due to conservative practice or lack of knowledge and research into new construction possibilities, it is clear that failures or construction difficulties are admitted year after year, as if it were common and acceptable to live with low productivity in construction and pathological manifestations throughout the process. life of the building.

The present work aims to present a construction method for cold water and hot water systems with PEX systems in multi-floor buildings, and present recommendations for implementation through a case study. This system has a positive impact by increasing productivity and reducing failures in the construction stage, in addition to allowing greater system maintainability after completion. All this, without loss of durability of the hydraulic system, as long as the installation criteria according to each manufacturer are met, compared to other execution options with a rigid system, for example.

The case study was carried out in a construction company with 27 years of history and 26 works carried out with rigid hydraulic systems, and carried out its first project with a PEX system defined in the project, highlighting challenges of cultural adaptations of internal process and product, from the design stage. project and in each phase of construction until completion of the work.

Key words: PVC, CPVC, PPR, PEX, building system, cold and hot water distribution, hydraulics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cortes em alvenaria de vedação.	20
Figura 2: Ramal e sub-ramal de instalação em <i>shaft</i>	20
Figura 3: Conexão CPVC sem cola.	21
Figura 4: Partes constituintes de uma instalação de água fria.	26
Figura 5: Elementos do sistema de medição individualizada.	27
Figura 6: Forro de apartamento com molhado.	28
Figura 7: Vazamento sobre forro de entrada social.	28
Figura 8: Corte e lixamento de PVC soldável.	29
Figura 9: Limpeza das peças.	30
Figura 10: Aplicação de cola.	30
Figura 11: Encaixe e giro da conexão.	31
Figura 12: Corte, remoção de rebarbas e aplicação de cola.	32
Figura 13: Encaixe, giro e estabilização por 30 segundos entre as peças.	32
Figura 14: Tabela para Tempo de Termofusão.	33
Figura 15: Fixação termofusão e limpeza do bocal de aquecimento.	34
Figura 16: Corte do tubo com tesoura.	34
Figura 17: Limpeza do tubo e bolsa da conexão.	35
Figura 18: Marcação da profundidade da bolsa na extremidade do tubo.	35
Figura 19: Profundidade da bolsa por bitola de tubo.	36
Figura 20: Introdução simultânea do tubo e conexão no termofusor.	36
Figura 21: Introdução do tubo na bolsa da conexão, após aquecimento.	37
Figura 22: Rolo de tubo PEX.	39
Figura 23: Corte perpendicular com tesoura específica.	39
Figura 24: Introdução do anel deslizante.	40
Figura 25: Ajuste da extremidade do tubo com alargador.	40
Figura 26: Conexão metálica posicionada no tubo PEX.	41
Figura 27: Detalhe de posicionamento entre tubo e conexão.	41
Figura 28: Acionamento da prensa para montagem da conexão.	41
Figura 29: Tubo e conexão após montagem.	42
Figura 30: Diâmetros disponíveis.	42
Figura 31: Raio mínimo de curvatura.	43

Figura 32: Distância máxima para fixação.....	43
Figura 33: Disposição de fixação próximo aos cantos.	44
Figura 34: Distribuição PEX convencional com registro gaveta.	44
Figura 35: Modelo de distribuidor / Manifold.....	45
Figura 36: Distribuição PEX com manifold central.....	45
Figura 37: Distribuição PEX com manifold por ambiente.	46
Figura 38: Ramal em PEX aparente.	47
Figura 39: Ramal em PEX embutido.....	47
Figura 40: Tubo luva sem tubo PEX, visto por baixo da laje.....	48
Figura 41: Tubo luva com caixa de espera fixada na forma.....	48
Figura 42: Conexão de ramal em PEX com sub-ramal em CPVC.	49
Figura 43: Adaptador entre sistema rígido e tubo PEX.	50
Figura 44: Tubos aparentes sob bancada.	51
Figura 45: Flexível de acabamento para alimentação de bacia.	51
Figura 46: Carenagem simples de sobrepor.....	52
Figura 47: Kit chassi sob bancada.	52
Figura 48: Carenagem personalizada.....	53
Figura 49: Coifa de acabamento.....	53
Figura 50: Caixa de inspeção para registro manifold.	54
Figura 51: Chassi para lavatório com um ponto de esgoto (cuba).....	55
Figura 52: Chassi para cozinha com dois pontos de esgoto (cuba e MLL).	55
Figura 53: Kit chuveiro.	56
Figura 54: Pressão x temperatura de trabalho.	58
Figura 55: Tubo PEX embutido para interferência com viga de concreto.....	61
Figura 56: Tubo PEX embutido para ramais aéreos.	62
Figura 57: Pavimento tipo 1 com 10 unidades.....	64
Figura 58: Pavimento tipo 2 com 5 unidades.....	65
Figura 59: Tipologia com 2 dormitórios.....	66
Figura 60: Tipologia Studio.	67
Figura 61: Ramal aéreo e coluna hidráulica.	69
Figura 62: Ramal aéreo dentro da unidade privativa.....	70
Figura 63: Bitola tubo luva.	71
Figura 64: Vista do sub-ramal do banheiro e cozinha.	72

Figura 65: Projeto de marcação de 1ª fiada de alvenaria de vedação.....	73
Figura 66: Projeto de locação de pontos hidráulicos por eixo.....	74
Figura 67: Projeto de locação de pontos hidráulicos por parede.....	75
Figura 68: Passantes ou camisas e coifas para tubos de esgoto e PEX.....	76
Figura 69: Enchimento em graute sob bancada de cozinha.....	77
Figura 70: Passantes ou camisas e coifas para tubos de esgoto e PEX.....	77
Figura 71: Planta com indicação de detalhe para o <i>shaft</i> do box.....	78
Figura 72: Detalhe para o <i>shaft</i> do box.....	79
Figura 73: Tipologias para o <i>shaft</i> do box.....	79
Figura 74: Estoque de tubos rígidos.....	81
Figura 75: Estoque de tubo PEX.....	82
Figura 76: Identificação rolo tubo PEX.....	83
Figura 77: Geometria da estrutura, furos em lajes e vigas.....	84
Figura 78: Laje em montagem com forma, armação e instalações.....	85
Figura 79: Caixa de ligação.....	85
Figura 80: Caixa de ligação e fixação do tubo luva na armação positiva.....	86
Figura 81: Tubos de elétrica e tubos luva.....	87
Figura 82: Ramal aéreo principal em PEX instalado.....	87
Figura 83: Tubo preparado para furar passante em espuma.....	88
Figura 84: Furações sucessivas no passante em espuma.....	88
Figura 85: Tubos chumbados.....	89
Figura 86: Marcação de 1ª fiada executada.....	90
Figura 87: Elevação de alvenaria finalizada.....	91
Figura 88: Tubos passantes de ralos e camisas chumbados.....	92
Figura 89: Detalhe espessura de revestimento, tubo camisa e parede.....	92
Figura 90: Coluna principal com sistema rígido e transição para sistema PEX.....	93
Figura 91: Primeira conexão dentro da unidade privativa.....	94
Figura 92: Perfil superior para <i>drywall</i> recortado.....	94
Figura 93: Longo trecho de ramal principal sem conexões.....	95
Figura 94: Entrada do ramal principal por furo em viga e tubo luva.....	96
Figura 95: Detalhe layout unidades 1 e 3.....	96
Figura 96: <i>Shaft</i> protótipo banheiro.....	97
Figura 97: Detalhe de fixação do kit chuveiro no perfil.....	98

Figura 98: Perfil para ajuste e fixação do kit chuveiro.	99
Figura 99: 02 modelos de kit chuveiro para instalação.	100
Figura 100: Conectores para extensão do sub-ramal de água quente.	101
Figura 101: Tubos de alimentação e de esgoto da cozinha.	102
Figura 102: Fixação em teto dos tubos PEX.	102
Figura 103: Fixação tubos PEX no teto da circulação.	103
Figura 104: Tubo camisa visto por baixo da laje.	104
Figura 105: Sub-ramal em teto de banheiro.	104
Figura 106: Situação real da coifa de acabamento sob bancada.	105
Figura 107: Kit chassi para bancada de cozinha.	106
Figura 108: Kit chassi para lavatório.	106
Figura 109: Conector metálico para conexão da torneira de bancada.	107
Figura 110: Bloco de concreto para 1ª fiada do <i>shaft</i>	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Sistema Edifício.	23
Quadro 2: Sistemas Prediais.	23
Quadro 3: Comparativo entre sistemas.	57
Quadro 4: Macrofluxo atividades	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Água Fria
AQ	Água Quente
CPVC	Policloreto de Vinila Clorado
MLL	Máquina de Lavar Louça
PEX	Polietileno Reticulado
PPR	Polipropileno Copolímero Random
PVC	Cloreto de Polivinila
SPH	Sistema Predial Hidráulico

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	17
1.1.CONTEXTO.....	17
1.2.OBJETIVO	19
1.3.JUSTIFICATIVA	19
1.4.METODOLOGIA.....	22
2.SISTEMAS PREDIAIS	22
2.1.SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS.....	24
2.2.SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA E ÁGUA QUENTE.....	27
2.2.1.Instalação cloreto de polivinila (pvc)	29
2.2.2.Instalação policloreto de vinila clorado (cpvc).....	31
2.2.3.Instalação polipropileno copolímero random (ppr)	33
2.3.POLIETILENO RETICULADO (PEX).....	37
2.3.1.O QUE É SISTEMA PEX	37
2.3.2.INSTALAÇÃO POLIETILENO RETICULADO (PEX).....	38
2.3.3.PARTICULARIDADES DE DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA PEX	42
2.3.3.1.Derivador (manifold)	44
2.3.3.2.Tubo pex aparente ou embutido	46
2.3.3.3.Sistema misto.....	49
2.3.3.4.Acabamentos visíveis do sistema pex	50
2.3.3.5.Kit industrializado	54
2.3.3.6.Comparativo desempenho do sistema pex com sistemas rígidos	56
2.4.MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	58
3.ESTUDO DE CASO	60
3.1.INFORMAÇÕES SOBRE A CONSTRUTORA	60
3.2.O EMPREENDIMENTO	63
3.3.PROJETOS EXECUTIVOS ENVOLVIDOS	67
3.3.1.Projeto hidráulico	69
3.3.2.Projeto de vedações	73
3.4.EXECUÇÃO DA OBRA	80
3.4.1.Instaladora contratada.....	80
3.4.2.Estoque de materiais.....	80
3.4.3.Etapa de estrutura	84

3.4.4.Passagens em <i>shafts</i>	88
3.4.5.Marcação e elevação de alvenaria	89
3.4.6.Tubos passantes e tubo camisa	91
3.4.7.Protótipo	93
3.4.7.1.Estrutura em <i>drywall</i> para <i>shafts</i>	97
3.4.7.2.Kit chuveiro	99
3.4.7.3.Tubos pex sob laje	101
3.4.7.4.Apresentação tubos sob bancada	105
3.5.LIÇÕES APRENDIDAS	108
4.CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
5.REFERÊNCIAS	116

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

A busca pelo aumento da produtividade é tema de grande importância e relevância, seja qual for o segmento da empresa. A produtividade tem ligação direta entre a necessidade de recursos e a quantidade de produto ou serviço realizado.

Na construção civil isto não é diferente. Construtores enfrentam desafios diários para gerenciar recursos como quantidade de mão de obra, tempo, ferramentas, materiais e fornecedores.

Entretanto, a busca pela produtividade não pode resultar em falhas construtivas. A qualidade da mão de obra e do processo construtivo está diretamente relacionada com as boas práticas de execução das atividades, que geram impactos no desenvolvimento da obra até sua conclusão. Segundo dados do Instituto Reclame Aqui, em 2020 foram registradas 20.551 reclamações sobre problemas com construtoras. Deste montante, 10.224 registros referem-se a vícios construtivos. Praticamente metade das reclamações. Entre janeiro e julho de 2021, este número teve um aumento de 24,58%, comparado ao mesmo período no ano anterior (ROSA, 2021).

Segundo pesquisa do Sindicato de Habitação do Rio de Janeiro, feita em cinquenta e dois edifícios de 8 construtoras, as maiores queixas e reclamações dos ocupantes referem-se a manifestações patológicas do sistema predial hidráulico (SPH), correspondendo a 38% das reclamações (BOSCARRIOL, 2013).

Estas manifestações patológicas não envolvem sérios riscos diretos à vida ou à saúde dos ocupantes, mas causam transtornos, aborrecimentos e desconfortos como vazamentos, insuficiência de pressões e vazões, oscilações de temperatura de utilização de água quente, entre outros (BOSCARRIOL, 2013).

Além destes problemas imediatos como decorrência de manifestações patológicas, possíveis danos e prejuízos com móveis e eletrodomésticos devem ser observados.

Para proporcionar um avanço na etapa de construção e execução do SPH e permitir aumento da segurança do sistema predial hidráulico de água fria (AF) e água quente (AQ), uma alternativa é o sistema PEX. A solução é vista como uma das maiores inovações para sistemas prediais da construção civil (THÓRUS ENGENHARIA, 2021).

Com tubos flexíveis, o PEX tem como principal benefício a redução de conexões necessárias nos sistemas de AF e AQ (THÓRUS ENGENHARIA, 2021), e isto resulta em menor quantidade de pontos com possibilidade de vazamentos.

A instalação do tubo PEX é mais fácil e pode ser duas vezes mais rápida quando comparada com tubos de PVC rígidos, porém, apesar da facilidade e agilidade, requer a utilização de ferramentas específicas e mão de obra capacitada (THÓRUS ENGENHARIA, 2021), portanto, esta condição deve ser considerada e discutida com o possível fornecedor de mão de obra.

Como o ciclo de vida de empreendimentos, especialmente edifícios multipavimentos, podem ser longos com duração de dois a três anos apenas para a etapa de construção, os recursos como tempo de execução e quantidade de mão de obra trazem impactos diretos com os custos dos fornecedores de mão de obra, consequentemente custo da obra.

Voltando para o tema da manutenibilidade, o construtor e comprador assumem um compromisso de longa data e nenhum deles deseja ter prejuízos, transtornos e perda de tempo. O construtor não tem a intenção arcar com custos, tempo para manutenções, receber e justificar reclamações do seu cliente (em grande parte das vezes, com razão). O cliente, mesmo recebendo indenizações por eventuais prejuízos, não busca perder tempo solicitando reparos e recebendo equipes para verificar e corrigir estes problemas. Indenização não é uma palavra amigável desta relação. Quem precisa pagar algo, sempre pode achar que está pagando mais do que deveria, e quem recebe, que está recebendo menos do que precisaria.

Logo, diante dos cenários que preveem o prazo de garantia do imóvel, que se inicia no ato da entrega das chaves, o melhor cenário possível é que o único ponto de contato entre eles volte a ser dado numa próxima relação de compra e venda. Qualquer que seja a relação de atendimento em garantia ou manutenção, tem grandes chances de gerar desgastes e prejuízos para ambas as partes.

1.2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um método construtivo de sistemas prediais de água fria e água quente com sistema PEX em edifícios multipavimentos, e apresentar análise crítica para execução através de um estudo de caso.

1.3. JUSTIFICATIVA

Temas como industrialização e produtividade, menor quantidade de mão de obra, praticidade na execução, durabilidade e manutenibilidade são extremamente importantes para um construtor que oferece ao mercado unidades habitacionais. Além de construir, é importante controlar o custo e tempo de construção para garantir preço de venda e prazo de entrega, itens tão importantes para a existência da construtora.

Implementar um novo método construtivo para distribuição dos sistemas hidráulicos de água fria e água quente pode trazer insegurança para o construtor, tanto por desconhecimento da tecnologia ou pelos possíveis impactos negativos que esta alteração pode trazer para o empreendimento e para o negócio. Compreende-se que alterações nos processos construtivos conhecidos e estabelecidos na cultura da empresa geram desconforto antes, durante e após a conclusão da obra, pois certamente haverá impactos no resultado do produto e isto está diretamente ligado com atendimento em garantia e assistência técnica, se e quando houver.

Portanto, apresentar um caminho de evolução que traga segurança, desempenho e durabilidade no processo construtivo dos sistemas prediais hidráulicos com sistema PEX, pode ser uma das alternativas em relação ao método tradicional em tubos e conexões rígidas.

Importante também associar ao novo método construtivo soluções que permitem dispensar uma etapa de destruir para construir, gera economia de tempo, material e mão de obra, como na figura 1. Um trecho de parede, neste caso um *shaft* de box de banheiro que após conclusão da elevação, necessita de cortes e demolição para posicionamento e chumbamento de tubos hidráulicos e conexões em CPVC.

Figura 1: Cortes em alvenaria de vedação.



Fonte: Acervo do autor, 2014.

Outra necessidade do sistema convencional com tubos e conexões rígidas, são emendas por luvas em trechos longos (maior que o comprimento da barra de tubo) e conexões para desvios e alterações de direção. Além do tempo necessário para executar este trabalho, cria-se diversos pontos de potencial vazamento em conexões, como demonstrado na figura 2.

Figura 2: Ramal e sub-ramal de instalação em *shaft*.



Fonte: Acervo do autor, 2013.

Existe procedimento definido para executar estas emendas, sejam de tubos em sequência para atingir trechos mais longos ou conexões para mudanças de direção, mas esta atividade gera uma possível falha de execução que é a falta de aplicação de cola total ou parcial, como

demonstra a figura 3, ocasionando vazamentos na tubulação. Apesar da ausência de cola, a tubulação embutida e chumbada resistiu por 18 meses sem vazamentos apenas pela pressão gerada no encaixe das peças, segundo informações obtidas através da Construtora do estudo de caso.

Figura 3: Conexão CPVC sem cola.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

Situações deste tipo confirmam que uma melhora no processo de execução dos sistemas prediais de água fria (AF) e água quente (AQ) trariam benefícios não só para o construtor, mas também para o cliente.

Além destes avanços do processo construtivo, o sistema PEX permite um planejamento de manutenibilidade mais simplificado. Primeiro pela quantidade reduzida de conexões necessárias, segundo, por tubos flexíveis não chumbados em alvenarias sob revestimentos. Alguns trechos das instalações ficam aparentes sobre revestimentos, isto implica em menor dano ao imóvel e facilidade para detectar e solucionar eventuais manutenções corretivas ou preventivas.

O desfecho da aplicação desta solução, desde que cumpridas todas as etapas de desenvolvimento e execução do empreendimento, tende a ser uma relação mais saudável entre construtor e comprador. Um comprador que recebe uma unidade segura, funcional de manutenibilidade simplificada do sistema predial hidráulico, e uma oportunidade de assistência

técnica simplificada por parte do construtor, se necessário durante sua responsabilidade com garantia, mas que também gera impactos positivos institucionais para sua marca.

1.4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada a este estudo se baseia em fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema, onde são apresentados e organizados os itens pesquisados em arquivos digitais, sites da internet, monografias, dissertações, catálogos e normas de sistemas e instalações prediais hidráulicas.

Através desta pesquisa serão reunidas informações sobre os critérios de instalação e desempenho dos sistemas prediais de água fria e água quente em Cloreto de Polivinila (PVC), Policloreto de Vinila Clorado (CPVC), Polipropileno Copolímero Random (PPR) e Polietileno Reticulado (PEX).

Posteriormente, através de um estudo de caso, será apresentada a vivência em canteiro de obra, no que diz respeito a identificação das informações em projeto e execução em obra com a implantação de um novo sistema construtivo predial hidráulico. Diante de toda coleta de dados e informações obtidas no estudo de caso, apresentam-se as lições aprendidas, permitindo disseminar as boas práticas e correções devidas para um melhor desempenho em aplicação semelhante ao estudo de caso.

As considerações finais serão expostas no último capítulo, constituídas através de informações dos capítulos anteriores apresentados.

2. SISTEMAS PREDIAIS

Uma das formas de entender o funcionamento do edifício é subdividi-lo em temas. O sistema edifício é dividido em 5 partes principais, como apresentado no quadro 1:

Quadro 1: Sistema Edifício.

TEMA	ELEMENTOS
Estrutura	Fundações
	Superestruturas
Envoltória Externa	Sob o nível do solo e sobre o nível do solo
Divisores espaços externos	Verticais, horizontais e inclinados
Divisores espaços internos	Verticais, horizontais e inclinados
Serviços	Sistemas prediais

Fonte: Aula 01 Sistemas Prediais, Projeto de edifícios, USP, 2020.

O tema serviços, conta com os seguintes sistemas prediais, quadro 2:

Quadro 2: Sistemas Prediais.

SISTEMA PREDIAL	ELEMENTOS
Energia	Elétrica
	Gás
Água	Água fria
	Água quente
	Esgoto sanitário
	Águas pluviais
Segurança	Contra incêndio ou patrimonial
Conforto	Ar-condicionado
Transporte	Elevadores
Comunicações	Telefone, interfone, internet
Automação	Controle de acesso

Fonte: Aula 01 Sistemas Prediais, Projeto de edifícios, USP, 2020.

2.1. SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS

As instalações dos sistemas prediais projetadas e executadas atualmente, tiveram sua história iniciada a partir da segunda metade do século XIX, com os engenheiros Hellyer e Teale na Inglaterra, que foram os primeiros a sistematizar todo o conhecimento referente às instalações. Enquanto isto na Alemanha, o engenheiro Herr Uma, responsável pelas primeiras pesquisas laboratoriais, construiu o que pode ser considerada a primeira torre hidráulica simulando um edifício de três pavimentos, onde as partes das instalações foram executadas em vidro com o intuito de se estudar o escoamento e os efeitos das pressões através da transparência das tubulações e equipamentos sanitários (LANDI, 1993).

Ainda, segundo Landi (1993), a partir da segunda metade dos anos 70, são estabelecidos modelos matemáticos de escoamento, e a partir dos anos 80, o auxílio da computação digital nos estudos das instalações prediais através do emprego do AutoCAD (Computer Aided Design), Design Assistido por Computador, ferramenta que foi importante para a evolução da digitalização dos projetos, e que conta hoje com novos recursos, tais como o BIM (Building Information Modeling).

O sistema predial hidrossanitário tem a função de garantir e atender as necessidades específicas de abastecimento e gerenciamento de água potável, águas pluviais, esgoto e outras substâncias líquidas de uma edificação.

Segundo a NBR 15575-6 (ABNT, 2013), as instalações hidrossanitárias são responsáveis pelas condições de saúde e higiene requeridas para uma habitação, além de apoiarem todas as funções humanas nela desenvolvidas, como cocção de alimentos, higiene pessoal, condução de esgotos e águas servidas, e devem ser incorporadas à edificação de forma a garantir a segurança dos usuários e uniformizar-se com a deformidade das estruturas, interações com o solo e características físico-químicas dos demais materiais de construção.

O sistema predial hidráulico de água fria e água quente, trata da coleta, armazenamento e abastecimento de água potável, conforme a NBR 5626 (ABNT, 2020).

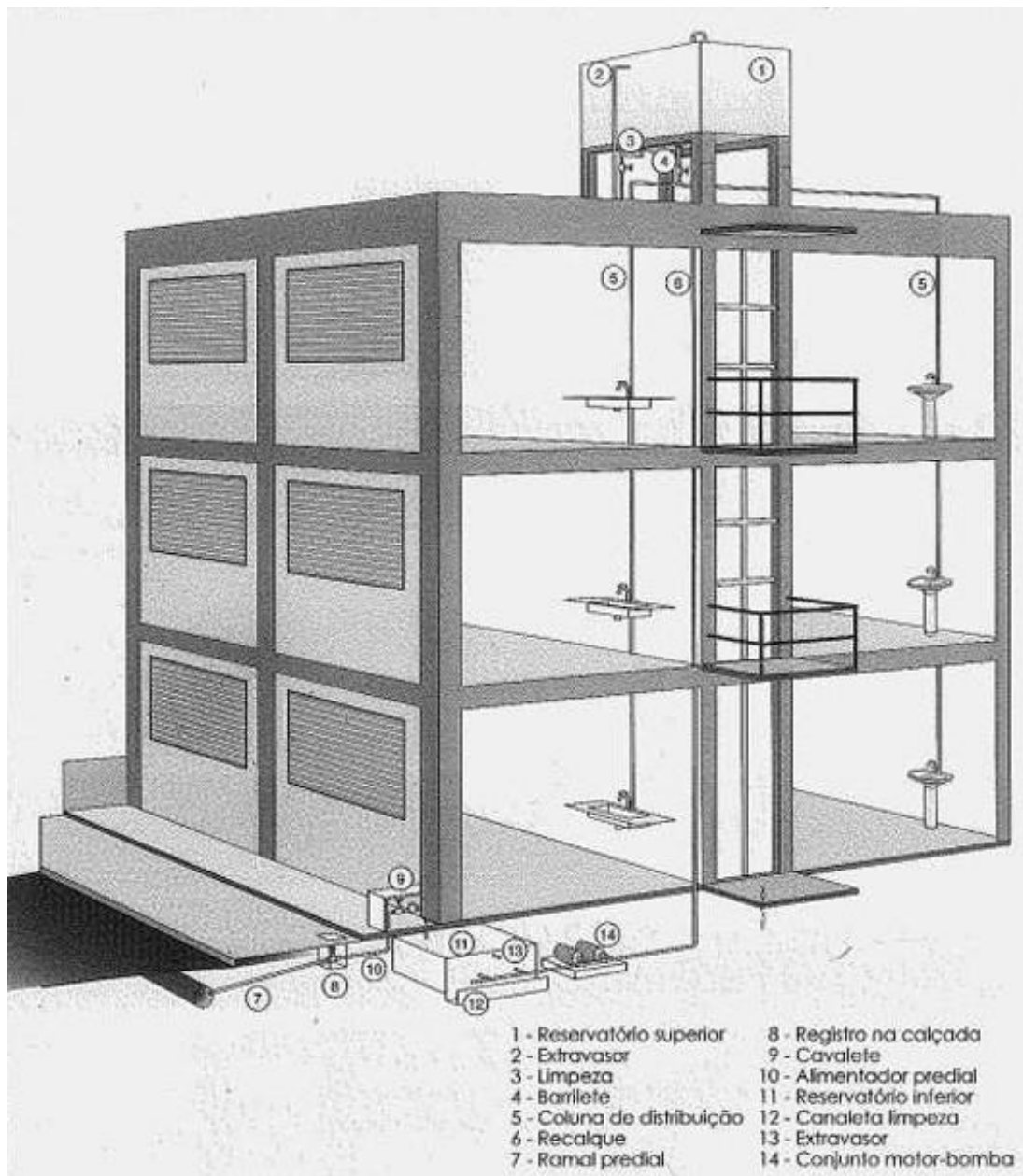
Conforme a NBR 5626 (ABNT, 2020) o sistema predial de água corresponde a um conjunto de tubos, reservatórios, peças de utilização, equipamentos e outros componentes destinados a conduzir água fria da fonte de abastecimento aos pontos de utilização, e conduzir água quente da fonte geradora aos pontos de utilização, ambos mantendo o padrão de potabilidade.

Segundo Carvalho Junior (2013), as instalações hidráulicas podem ser definidas da seguinte forma:

1. Barrilete do reservatório superior: trecho das instalações contíguas ao reservatório, composto de registros e tubos direcionados até as colunas;
2. Coluna: é a canalização que carrega a água verticalmente até os ramais de cada pavimento do edifício;
3. Ramal: transporta a água da coluna até os sub-ramais nos ambientes de utilização;
4. Sub-ramal: tubulação que conduz a água dos ramais, até os pontos de utilização como torneiras, chuveiros e bacias sanitárias.

Além destes, outros elementos fazem parte do sistema de água fria, como demonstrado na figura 4:

Figura 4: Partes constituintes de uma instalação de água fria.



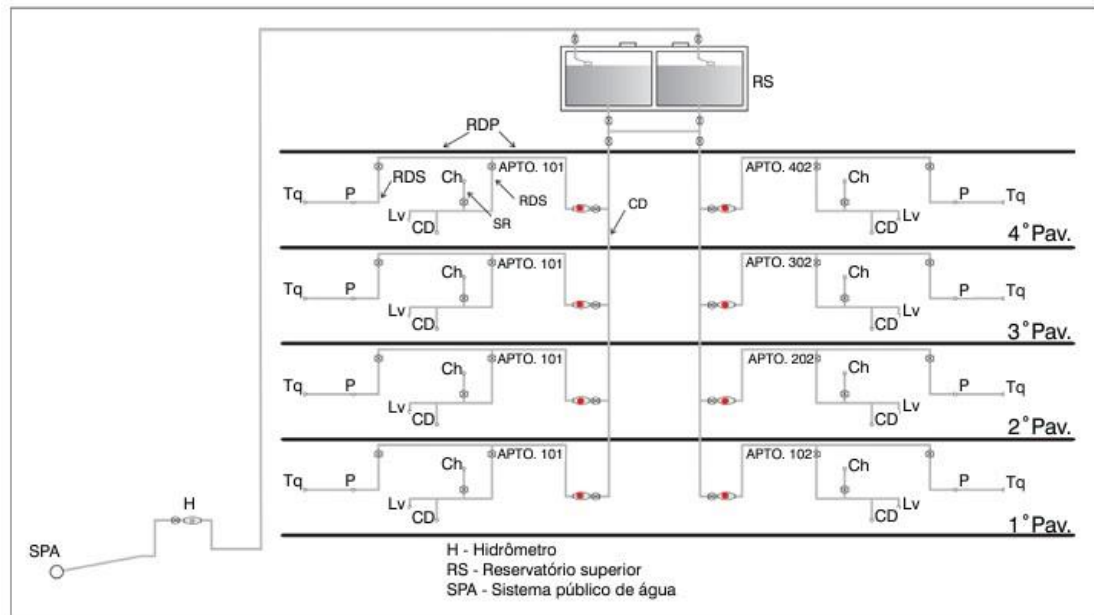
Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

Quando a edificação conta apenas com o hidrômetro da concessionária no cavalete, a medição de água é coletiva.

Segundo Peres (2006), existe a modalidade de medição individualizada, quando além do hidrômetro da concessionária, entre a coluna e o ramal de distribuição principal que abastece a unidade privativa, existe outro hidrômetro, como na figura 5. No pavimento, o sistema predial conta com as instalações conforme indicado, Coluna de Distribuição (CD), Ramal de

Distribuição Principal (RDP), Ramal de Distribuição Secundário (RDS) e pontos de consumo como chuveiro (CH), caixa de descarga (CD), lavatório (LV), pia (P) e tanque (TQ).

Figura 5: Elementos do sistema de medição individualizada.



Fonte: Peres, 2006.

2.2. SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA E ÁGUA QUENTE

Existem algumas soluções disponíveis para executar a instalação do sistema predial de água fria (AF) e água quente (AQ) de um edifício. Apesar da variedade de materiais, as maiores diferenças entre eles estão relacionadas a critérios de instalação, procedimento de execução e complexidade em sua manutenção.

Algumas premissas de preparação e montagem devem seguidas para garantir a durabilidade prevista pelo fornecedor. Falhas no processo de execução, serão responsáveis por falhas prematuras que muitas vezes, estendem o problema para além do tubo ou conexão danificada, como por exemplo em infiltrações entre unidades visto na figura 6, e com forro de banheiro molhado devido vazamento na unidade superior, e vazamentos em ambientes de uso comum como halls, na figura 7.

Figura 6: Forro de apartamento com molhado.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

Figura 7: Vazamento sobre forro de entrada social.



Fonte: Acervo do autor, 2020.

Dentre as soluções disponíveis, podem se destacar as alternativas mais utilizados em:

- Cloreto de Polivinila (PVC);
- Policloreto de Vinila Clorado (CPVC);
- Polipropileno Copolímero Random (PPR);
- Polietileno Reticulado (PEX) que está detalhado mais adiante no capítulo 2.3.

Para exemplificar os critérios de instalação destes materiais, um descritivo da preparação e instalação de cada tipo de solução é apresentado, conforme indicação pelo fabricante, desde o preparo inicial até o momento de liberação para teste da rede hidráulica.

2.2.1. INSTALAÇÃO CLORETO DE POLIVINILA (PVC)

A linha de tubos rígidos e conexões em PVC, são fabricados em Cloreto de Polivinila na cor marrom e junta soldável a frio, que pode ser aplicado apenas em instalações de água fria. Possuem classificação PN12, PN15 e PN20, com variação de pressão de trabalho de 6,0, 7,5 e 10 kgf/cm² respectivamente para temperatura de trabalho máxima em 20°C. O procedimento a seguir, é sugerido por um dos fabricantes de tubos e conexões, no Manual Técnico de produtos para água fria (TIGRE BRASIL, 2016):

Após verificação da medida necessária, corte e lixamento do tubo no trecho de contato com a conexão e lixamento da conexão, conforme figura 8;

Figura 8: Corte e lixamento de PVC soldável.



Fonte: Catálogo Água Fria Predial, Tigre, 2016.

Recomendado providenciar a limpeza com solução preparadora, para remoção de sujeira e poeira da etapa de lixamento, de acordo com a figura 9;

Figura 9: Limpeza das peças.



Fonte: Catálogo Água Fria Predial, Tigre, 2016.

Aplicação de cola específica para linha PVC no tubo e conexão, conforme figura 10;

Figura 10: Aplicação de cola.



Fonte: Catálogo Água Fria Predial, Tigre, 2016.

Após encaixe das peças, é necessário promover 1/4 de volta até atingir a posição definitiva, de acordo com a figura 11;

Figura 11: Encaixe e giro da conexão.



Fonte: Catálogo Água Fria Predial, Tigre, 2016.

Remover o excesso de adesivo e aguardar 1 hora para encher a tubulação com água. Para teste de pressão, recomendado aguardar 12 horas.

Este procedimento recomendado pelo fabricante, proporciona uma união soldável que busca atender a durabilidade prevista no desenvolvimento deste sistema, portanto, o não cumprimento de parte do processo, pode ocasionar em falhas e vazamentos prematuros.

2.2.2. INSTALAÇÃO POLICLORETO DE VINILA CLORADO (CPVC)

A linha de tubos rígidos e conexões em CPVC, são fabricados em Policloreto de Vinila Clorado na cor bege e junta soldável a frio, que pode ser aplicado em instalações de água fria e água quente, com temperatura de trabalho máxima de 80°C (TIGRE BRASIL, 2016). O procedimento a seguir, é sugerido por um dos fabricantes de tubos e conexões, no Manual Técnico de produtos para água quente, sistema Aquatherm® (2023):

Promover o corte do tubo e limpeza das rebarbas (não é necessário o lixamento do tubo e conexão). Posteriormente, aplicação de cola específica para CPVC no tubo e conexão, conforme figura 12;

Figura 12: Corte, remoção de rebarbas e aplicação de cola.



Fonte: Catálogo de água quente, Tigre, 2023.

Encaixar as peças promovendo 1/4 de volta até atingir a posição definitiva e manter a junta sob pressão por 30 segundos, até que o adesivo adquira resistência, de acordo com a figura 13.

Figura 13: Encaixe, giro e estabilização por 30 segundos entre as peças.



Fonte: Catálogo de água quente, Tigre, 2023.

Remover o excesso de adesivo e aguardar 1 hora para encher a tubulação com água. Para teste de pressão, aguardar 24 horas.

Este procedimento é sugerido para que a instalação possa atingir a durabilidade do sistema prevista pelo fabricante. O processo de manter a emenda sob pressão por 30 segundos, é necessário para permitir a cura inicial do adesivo, suficiente para que as peças não soltem entre si. Após 24 horas, pode-se executar um teste de estanqueidade sob pressão e aguardar este

tempo pode ser uma tarefa bastante difícil de ser cumprida, especialmente em situações de manutenções corretivas.

2.2.3. INSTALAÇÃO POLIPROPILENO COPOLÍMERO RANDOM (PPR)

A linha de tubos rígidos e conexões em PPR, são fabricados em Polipropileno Copolímero Random – tipo 3 na cor verde e junta soldável por termofusão. Na linha PN 20 (que possui identificação no tubo com faixa amarela) pode ser aplicado em instalações de água fria e quente, com temperatura de trabalho de 70°C e pressão de trabalho de 6 kgf/cm². Na linha PN 25 (que possui identificação no tubo com faixa vermelha) pode ser aplicado em instalações de água fria e quente, com temperatura de trabalho de 70°C e pressão de trabalho de 8 kgf/cm². O PPR de linha PN 12 (que possui identificação no tubo com faixa azul) pode ser aplicado somente em instalações de água fria, com temperatura de trabalho de 20°C e pressão de trabalho de 12 kgf/cm², mas admite temperatura máxima em 40°C (AMANCO WAVIN, 2023). Na figura 14, a tabela para tempo de termofusão que deve ser seguida, com o tempo de aquecimento do tubo e conexão, tempo para acoplamento e encaixe das peças em segundos e o tempo necessário para resfriamento do conjunto em minutos:

Figura 14: Tabela para Tempo de Termofusão.

Tubo (DN)	Tempo de Aquecimento	Intervalo para acoplamento	Tempo de Resfriamento
20	5 s	4 s	2 min
25	7 s	4 s	2 min
32	8 s	6 s	4 min
40	12 s	6 s	4 min
50	18 s	6 s	4 min
63	24 s	8 s	6 min
75	30 s	8 s	6 min
90	40 s	8 s	6 min
110	50 s	10 s	8 min

Fonte: Ficha técnica PPR, Amanco Wavin, 2023.

O procedimento a seguir, é sugerido por um dos fabricantes de tubos e conexões na Ficha Técnica linha PPR, para água fria e água quente (AMANCO WAVIN, 2023):

Inicia-se pela preparação do termofusor, com o posicionamento e fixação em uma bancada e limpeza do bocal de aquecimento com álcool, conforme figura 15.

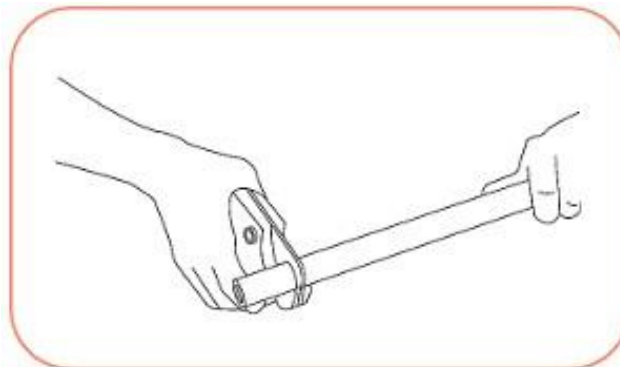
Figura 15: Fixação termofusão e limpeza do bocal de aquecimento.



Fonte: Ficha técnica PPR, Amanco Wavin, 2023.

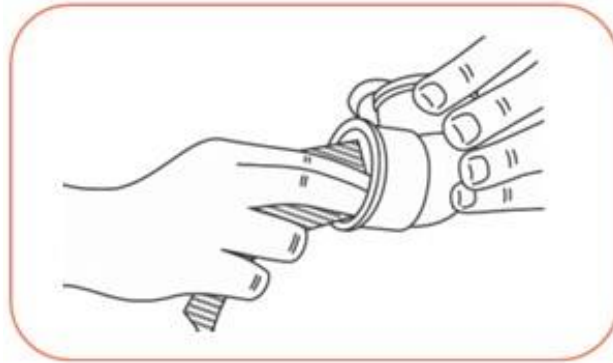
Com uma tesoura específica para corte do tubo PPR, cortar o tubo e eliminar as possíveis rebarbas que ficam após o corte e em seguida, limpar a pontado tubo e bolsa da conexão que será usada para união, visto nas figuras 16 e 17. A tesoura tem variação de tamanho para atender a bitola do tubo, de DN 20 a 32 e DN 40 a 63 (AMANCO WAVIN, 2023).

Figura 16: Corte do tubo com tesoura.



Fonte: Ficha técnica PPR, Amanco Wavin, 2023.

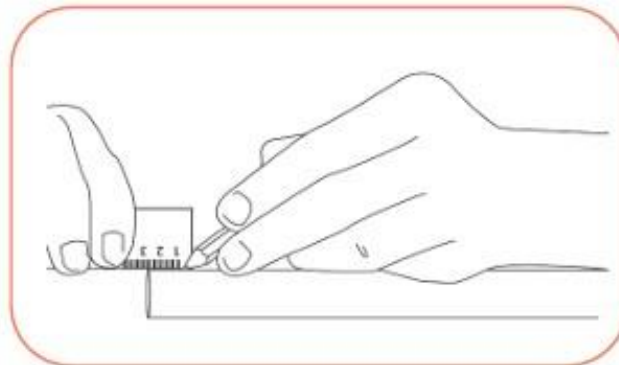
Figura 17: Limpeza do tubo e bolsa da conexão.



Fonte: Ficha técnica PPR, Amanco Wavin, 2023.

Para uma maior precisão e qualidade na união das peças, sugere-se marcar a profundidade da bolsa na extremidade do tubo, de acordo com a figura 18.

Figura 18: Marcação da profundidade da bolsa na extremidade do tubo.



Fonte: Ficha técnica PPR, Amanco Wavin, 2023.

A profundidade da bolsa nas conexões é indicada na figura 19.

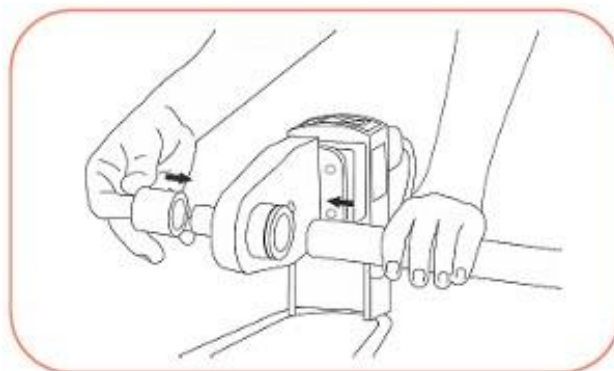
Figura 19: Profundidade da bolsa por bitola de tubo.

Tubo (DN)	Profundidade da Bolsa (mm)
20	15,0
25	16,5
32	18,5
40	21,0
50	24,0
63	28,0
75	31,5
90	36,0
110	42,0

Fonte: Ficha técnica PPR, Amanco Wavin, 2023.

O termofusor deve ser aquecido até atingir 260°C, o que demora entre 5 e 7 minutos, para introdução do tubo e da conexão simultaneamente nos respectivos bocais. A conexão deve cobrir totalmente a face do bocal macho e o tubo não deve ultrapassar a marcação feita, no bocal fêmea, visto na figura 20.

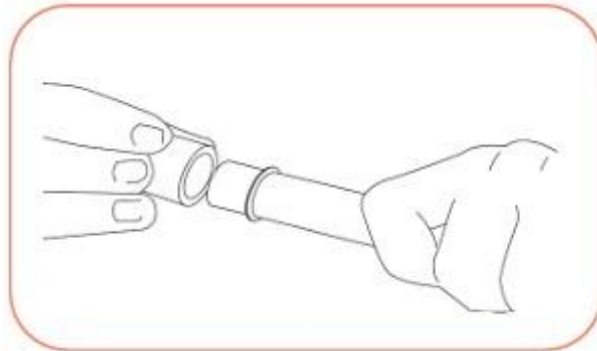
Figura 20: Introdução simultânea do tubo e conexão no termofusor.



Fonte: Ficha técnica PPR, Amanco Wavin, 2023.

Após introdução das peças no termofusor, aguardar o tempo de aquecimento conforme indicado para cada bitola e após retirada do termofusor, respeitando também o tempo de acoplamento, introduzir o tubo na bolsa da conexão, até encostar no anel formado pelo aquecimento, conforme figura 21.

Figura 21: Introdução do tubo na bolsa da conexão, após aquecimento.



Fonte: Ficha técnica PPR, Amanco Wavin, 2023.

Superado o tempo de resfriamento por bitola, a tubulação pode ser preenchida com água e iniciar os devidos testes de estanqueidade (AMANCO WAVIN, 2023).

Baseado nas experiências do autor, este sistema permite uma liberação para teste com menor tempo de intervalo, mas o atendimento aos quesitos de tempo de aquecimento, acoplamento e controle da profundidade de introdução das peças, podem trazer dificuldades ao processo e controle de execução, e a manutenção corretiva necessita de espaço físico para o uso do termofusor, quando necessário cortes e emendas de tubos e conexões.

2.3. POLIETILENO RETICULADO (PEX)

2.3.1. O QUE É SISTEMA PEX

PEX é a sigla para o nome Polietileno Reticulado. É um tubo de polímero flexível e de alta temperatura. Criado na década de 70, esta tecnologia foi desenvolvida na Europa, tem um histórico de uso bem-sucedido e tem sido utilizado para diversas aplicações ao redor do mundo (DESIGN GUIDE, 2006).

Em 1984 foi introduzido na América do Norte para aquecimento de piso radiante. Posteriormente, passou a ser utilizado em sistemas de distribuição de água residencial, fria e quente (DESIGN GUIDE, 2006).

Este sistema proporciona diversas aplicações, que podem ser exploradas em aquecimento de pisos, redes subterrâneas municipais, irrigação de grandes campos esportivos e até sistemas de Sprinklers residenciais (DESIGN GUIDE, 2006).

Alguns benefícios do sistema PEX (DESIGN GUIDE, 2006). que merecem destaque são:

- Facilidade de instalação: flexível, utiliza fixação mecânica para conexões, o que dispensa cola, soldas e produtos químicos.
- Menor perda: tubos em rolo, podem ser cortados na medida exata necessária, diminuindo o desperdício como em tubos rígidos;
- Economia de mão de obra: requer menos mão de obra comparado com sistemas rígidos, devido menor número de conexões;
- Segurança: devido redução do número de conexões, minimiza os riscos de vazamentos na rede.

Este sistema tem grande compatibilidade com vedações em *drywall*, steel frame e é bastante difundido em edifícios em alvenaria estrutural, segundo pesquisas e consultas feitas pelo autor em outras obras em andamento. Porém, seus benefícios merecem atenção para implantação também em um edifício de estrutura de concreto armado com alvenaria de vedação. Alguns cuidados são importantes, e serão abordados ao longo deste trabalho para um melhor aproveitamento do sistema e compatibilização das disciplinas que envolvem os sistemas prediais de AF e AQ.

2.3.2. INSTALAÇÃO POLIETILENO RETICULADO (PEX)

O PEX pode ser aplicado em instalações de água fria e água quente, com temperatura de trabalho máxima em 80°C. O procedimento a seguir, é sugerido por um dos fabricantes de mangueiras e conexões em PEX, Barbi do Brasil, no Catálogo da linha PEX Barbi, para água fria e água quente (2016):

Por ser fornecido em rolo, conforme figura 22, pode-se instalar longos trechos de tubo sem cortes, diminuindo a perda e aumentando a velocidade de instalação de um ramal ou sub-ramal.

Figura 22: Rolo de tubo PEX.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Após verificado o comprimento necessário do tubo, recomenda-se efetuar um corte perpendicular com a tesoura aprovada pelo fabricante, visto na figura 23.

Figura 23: Corte perpendicular com tesoura específica.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Na sequência, deve-se introduzir o anel deslizante no tubo, vide figura 24, para posteriormente alargar a extremidade do tubo.

Figura 24: Introdução do anel deslizante.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

O alargamento deve ser realizado gradualmente, girando o alargador para expandir progressivamente a ponta do tubo, de acordo com a figura 25.

Figura 25: Ajuste da extremidade do tubo com alargador.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Após esta etapa, introduzir a conexão necessária na ponta do tubo, conforme figura 26, até a última nervura da conexão metálica, conforme detalhado na figura 27.

Figura 26: Conexão metálica posicionada no tubo PEX.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

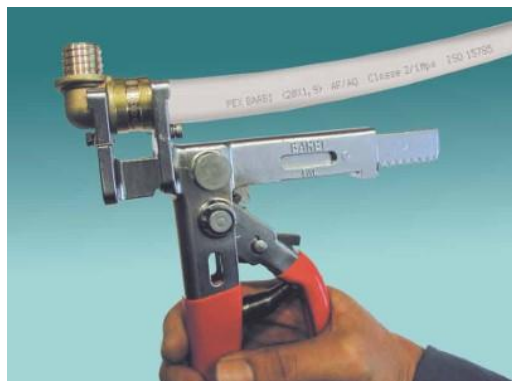
Figura 27: Detalhe de posicionamento entre tubo e conexão.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Este posicionamento da conexão na última nervura, permite que o anel deslizante faça o ajuste do tubo na posição correta durante o acionamento da prensa por pressões sucessivas, vide figura 28. Após montagem, o tubo estará encostado totalmente na conexão metálica, conforme figura 29.

Figura 28: Acionamento da prensa para montagem da conexão.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Figura 29: Tubo e conexão após montagem.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Esta opção de uso do anel deslizante é a mais prática e por isto bastante adotada em obras residenciais, mas a união também pode ocorrer por prensagem de anel, rosca bicônica ou eletrofusão, citadas na NBR 15939-2 (ABNT, 2011).

2.3.3. PARTICULARIDADES DE DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA PEX

Além da disponibilidade em rolo, o PEX pode ser fornecido em barras também, para o caso de alguma instalação não viabilizar uma quantidade grande de material. Entretanto, o material em rolo é comumente aplicado em edifícios multipavimentos. Os diâmetros do tubo PEX são mais restritos, de 12 a 40 mm, conforme figura 30.

Figura 30: Diâmetros disponíveis.

Diâmetro Externo (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Tipo	
			Barras (m)	Rolos (m)
12	1,1	9,8	-	200
16	1,5	13,0	5,8	200
16	1,8	12,4	5,8	200
20	1,9	16,2	5,8	120
25	2,3	20,4	5,8	50
32	2,9	26,2	5,8	50
40	3,7	32,6	5,8	50

Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Embora o tubo PEX seja flexível, deve-se seguir critérios de cada fabricante para curvas necessárias ao longo da instalação. Os raios mínimos de curvatura do fabricante BARBI são

indicados na figura 31, que podem ser feitas manualmente ou com uso de mola de reforço e estabilização das curvas.

Figura 31: Raio mínimo de curvatura.

Tubo PEX (DE)	Manual	Com mola dobra tubo
12	12cm	6cm
16	16cm	8cm
20	20cm	10cm
25	25cm	13cm
32	32cm	16cm

Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Os pontos de fixação dos tubos aparentes, devem ser dispostos com as distâncias determinadas na figura 32.

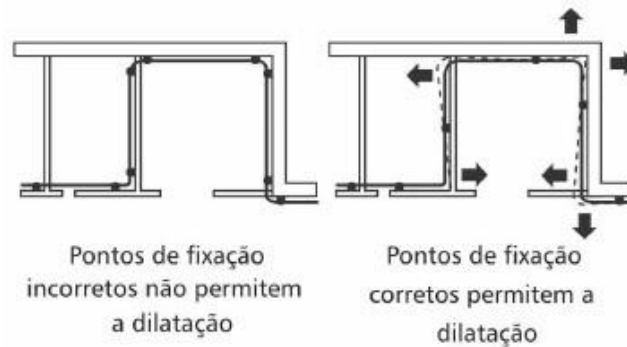
Figura 32: Distância máxima para fixação.

DN (mm)	Espaçamento entre suportes horizontais (cm)		Espaçamento entre suportes verticais (cm)	
	20°C	80°C	20°C	80°C
12	51	40	66	52
16	58	45	75	59
20	65	50	84	65
25	74	58	97	75
32	87	68	113	88
40	102	79	132	103

Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Em instalações aparentes (não embutidas em tubos luva), devido à variação de temperatura, pode ocorrer dilatação longitudinal dos tubos. Portanto, além das distâncias entre fixação, deve ser observado os pontos de fixação próximos aos cantos, conforme figura 33.

Figura 33: Disposição de fixação próximo aos cantos.



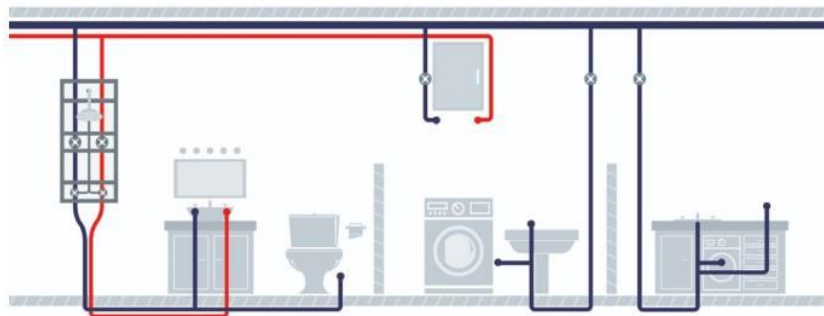
Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

2.3.3.1. DERIVADOR (MANIFOLD)

De acordo com a NBR 15939-3 (ABNT, 2011), existem dois conceitos básicos de distribuição do sistema PEX para alimentação de água:

- **Sistema convencional**, que utiliza ramal principal e sub-ramais para abastecimento de cada ambiente, com registro gaveta em kits hidráulicos industrializados. A derivação para cada ponto de alimentação ocorre por emenda, dentro de cada ambiente, vide figura 34.

Figura 34: Distribuição PEX convencional com registro gaveta.



Fonte: Site MERC Kits, 2017.

- **Sistema ponto a ponto**, que utiliza distribuidores, também chamados manifold, um conjunto com vários registros individuais por ponto de alimentação, conforme figura 35, que pode ser central para atender todo o imóvel ou instalado em cada ambiente.

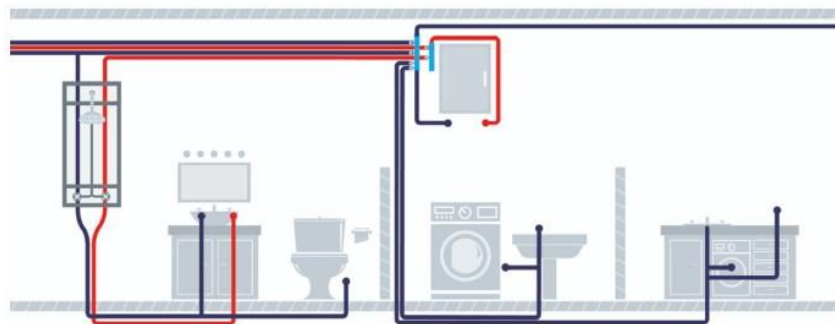
Figura 35: Modelo de distribuidor / Manifold.



Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Quando a derivação é central, o derivador tem um registro que abastece com um tubo, cada ambiente independentemente, e a divisão da alimentação para os demais pontos de alimentação de cada ambiente, ocorre dentro deste local no sub-ramal, como cozinha, banheiro ou área de serviço por exemplo, sob bancada ou dentro de um *shaft*, como demonstrado na figura 36.

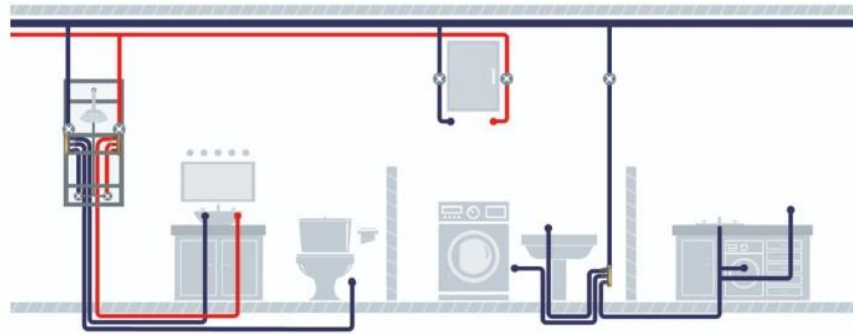
Figura 36: Distribuição PEX com manifold central.



Fonte: Site MERC Kits, 2017.

Quando o manifold está no próprio ambiente, cada ponto de alimentação tem um registro (no derivador) e um tubo independente, de acordo com a figura 37. Neste caso não há um derivador central.

Figura 37: Distribuição PEX com manifold por ambiente.



Fonte: Site MERC Kits, 2017.

Uma peculiaridade para o uso de manifold em sistema PEX é a previsão de caixas de inspeção ou passagem em locais específicos para acesso, uma vez que os registros gaveta expostos nas paredes são eliminados. Isto traz um grande benefício para a manutenibilidade das instalações hidráulicas do imóvel, pois em caso de manutenção, pode-se optar por interromper a alimentação de água não só de ambientes, mas de pontos específicos de alimentação. É possível, por exemplo, interromper a alimentação de um chuveiro, mas deixar a bacia e lavatório em pleno funcionamento, segundo o autor.

O sistema ponto a ponto oferece ao empreendimento, as melhores condições de instalação e manutenibilidade do sistema PEX. Devido maior consumo de tubos luva e tubos PEX, um aumento no custo de execução, mas também um acréscimo de valor na operação e manutenção do imóvel.

2.3.3.2. TUBO PEX APARENTE OU EMBUTIDO

A instalação do ramal principal em tubo PEX, pode ocorrer de duas formas:

Aparente, passando por furos em vigas e alvenarias previstos em projeto para posterior cobertura com sancas ou forros em gesso, conforme figura 38, ou embutido em estrutura dentro de tubo luva, vide figura 39.

Figura 38: Ramal em PEX aparente.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Figura 39: Ramal em PEX embutido.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

O tubo luva tem a função de permitir a passagem do tubo PEX após estrutura de concreto executada, proporcionando também sua proteção mecânica. Com uma caixa conectada na ponta

do tubo (caixa de ligação ou caixa de espera), ele fica embutido na laje de concreto (teto) e sua função é permitir a interligação entre ambientes dentro da unidade em situações em que no seu caminhamento, não há previsão de forro ou sancas de gesso, conforme figura 40. A depender do projeto, o tubo luva pode atender também o piso, com passagens para dentro de *shafts* ou dentro de paredes.

Figura 40: Tubo luva sem tubo PEX, visto por baixo da laje.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Por cima da laje, é possível visualizar o tubo luva com a caixa de espera na forma somente até executar a concretagem da laje, pois fica dentro da espessura da laje concretada, vide figura 41.

Figura 41: Tubo luva com caixa de espera fixada na forma.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

2.3.3.3. SISTEMA MISTO

Uma opção para incrementar a instalação do ramal aéreo com redução de conexões, mantendo o sub-ramal rígido embutido (caso não seja possível executar o sub-ramal em tubo PEX), é adotar o sistema misto.

Este conceito consiste em fazer parte da instalação em tubo PEX, seja embutido ou aparente, e com um adaptador para outro sistema, conectar estes tubos flexíveis em tubos rígidos de PVC ou CPVC, por exemplo. Perde-se alguns benefícios da tubulação flexível, mas fica como uma opção de instalação. Além do benefício de ramais aéreos com expressiva redução de conexões entre o *shaft* e o apartamento, ou em ramais aéreos dentro dele, pode ser uma alternativa para avaliar o sistema PEX parcialmente ou principalmente, alterar um projeto em andamento, já que as condições de instalação de um ramal principal em tubos rígidos, possibilita a instalação de tubos PEX sem nenhuma outra necessidade. Devido à falta de previsão de tubos luva em estrutura, não seria possível transpassar ambientes com tubos PEX embutidos, somente aparentes para posterior acabamento em sancas ou forros de gesso por exemplo. Na figura 42 uma situação de sistema misto, com ramal aéreo em tubo PEX embutido em tubo luva e sub-ramal rígido em CPVC embutido em alvenaria de vedação.

Figura 42: Conexão de ramal em PEX com sub-ramal em CPVC.



Fonte: Acervo do autor, 2020.

Esta transição entre tubo rígido e tubo PEX já ocorre na coluna principal (de alimentação) em *shafts* hidráulicos dos pavimentos, pois estas colunas são executadas em tubos rígidos, tanto pela inexistência de tubo PEX acima de 40 mm quanto necessidades e

características físicas de instalações em prumadas, como alinhamento vertical, vedações, reduções etc. Portanto, é necessário um adaptador entre a coluna e o tubo do ramal que segue para as unidades privativas, conforme figura 43.

Figura 43: Adaptador entre sistema rígido e tubo PEX.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

2.3.3.4. ACABAMENTOS VISÍVEIS DO SISTEMA PEX

Em uma unidade construída com sistema PEX, exceto se a unidade tiver todas as suas distribuições aparentes, serão poucos os elementos a indicar visualmente seu uso.

Os pontos de alimentação, metais superiores (torneiras e misturadores) e registros, podem ficar exatamente como em uma instalação convencional de tubos rígidos embutidos.

As maiores diferenças visuais seriam o tipo de distribuição pelos registros em caso de derivadores (manifold), ou pelo tipo acabamento sob as bancadas e lavatórios. Os tubos de alimentação e esgoto podem ficar aparentes, apenas com uma coifa de acabamento no tubo camisa junto ao piso, como na figura 44, ou alimentação de bacias com um flexível que reveste o tubo PEX, como na figura 45.

Figura 44: Tubos aparentes sob bancada.



Fonte: Acervo do autor, 2017.

Figura 45: Flexível de acabamento para alimentação de bacia.



Fonte: Acervo do autor, 2017.

A forma de apresentação de acabamentos pode variar e os elementos sob bancada podem ser recobertos e protegidos por uma capa, chamada de carenagem, vide figura 46, ou com um chassi específico para cada ambiente, conforme figura 47, revestido com uma carenagem personalizada, vide figura 48, ou com revestimento em chapas de *drywall*, que pode receber acabamento cerâmico ou pintura.

Figura 46: Carenagem simples de sobrepor.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Figura 47: Kit chassi sob bancada.



Fonte: Acervo do autor, 2020

Figura 48: Carenagem personalizada.



Fonte: Site Barbi do Brasil, 2023

Percebe-se que a coifa de acabamento é instalada na situação de tubos aparentes e na situação de uso de chassi, pois além de acabamento no local de instalação, ela tem a função de posicionar e promover estanqueidade nesta passagem dos tubos pelo tubo camisa, de acordo com a figura 49.

Figura 49: Coifa de acabamento.



Fonte: Site Barbi do Brasil, 2023

As caixas de inspeção para acesso aos derivadores, são instaladas em locais de fácil acesso para promover a manobra dos registros com facilidade, conforme figura 50.

Figura 50: Caixa de inspeção para registro manifold.



Fonte: Acervo do autor, 2023

É importante verificar a profundidade do local de instalação da caixa de inspeção para manifold, observando a existência ou não de interferência com outros tubos como os de instalações sanitárias.

2.3.3.5. KIT INDUSTRIALIZADO

Uma característica presente no sistema PEX é de chassis e kits industrializados para lavatórios, bancadas e chuveiros.

O chassi é fabricado conforme a configuração do projeto hidráulico do ambiente, com alguns furos que possibilitam a instalação de ponto de alimentação de água fria e ponto de esgoto para uma bancada ou lavatório, por exemplo. Pode ter o acréscimo de um ponto de alimentação de água quente, ponto para geladeira, filtro, alimentação e esgoto para máquinas de lavar louça (MLL) etc., no mesmo chassi conforme figuras 51 e 52. Os furos no topo do chassi, permitem a passagem do tubo PEX de água fria ou água quente diretamente, até o misturador ou torneira de bancada.

Figura 51: Chassi para lavatório com um ponto de esgoto (cuba).



Fonte: Site Barbi do Brasil, 2023

Figura 52: Chassi para cozinha com dois pontos de esgoto (cuba e MLL).



Fonte: Site Barbi do Brasil, 2023

No caso de kit para chuveiro, é fabricado com os registros, misturadores e ponto de saída de água para chuveiro conforme configuração do projeto hidráulico do ambiente, vide figura 53.

Figura 53: Kit chuveiro.



Fonte: Site Barbi do Brasil, 2023

2.3.3.6. ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO DO SISTEMA PEX COM SISTEMAS RÍGIDOS

Para permitir uma breve análise comparativa das características e durabilidade prevista de cada sistema, o quadro 3 apresenta um comparativo entre os tubos utilizados por sistema hidráulico, as pressões de trabalho, as temperaturas suportadas e condições para início de uso e teste de pressão.

Quadro 3: Comparativo entre sistemas.

MATERIAL	FORNECEDOR CONSULTADO	PRESSÃO SERVIÇO		TEMPO LIBERAÇÃO USO	TEMPO PARA INICIAR TESTE DE PRESSÃO	VUP (Vida Útil de Projeto)
		20° C	70°C (*) e 80° C			
PVC MARROM	TIGRE (2016)	6 a 10 kgf/cm ² (*1)	-	1 HORA	12 HORAS	50 ANOS
CPVC	TIGRE (2023)	24 kgf/cm ²	6 kgf/cm ²	1 HORA	24 HORAS	
PPR	AMANCO (2023)	20 a 25 kgf/cm ²	6 a 8 kgf/cm ² (*2)	2 a 8 MINUTOS	APÓS LIBERAÇÃO PARA USO	
PEX	BARBI (2016)	12,5 kgf/cm ²	6,5 kgf/cm ² (*3)	IMEDIATA	IMEDIATA	

Fonte: Autor, vide catálogos dos fornecedores.

PVC, Tigre do Brasil, 2016. CPVC, Tigre do Brasil, 2023.

PPR, Amanco Wavin, 2023. PEX, Barbi do Brasil, 2016.

Importante observar que em *1 e *2, existem observações adicionais:

*1: pressões de trabalho variando conforme a classificação do tubo, entre PN12, PN15 ou PN20, para água fria com temperatura máxima de trabalho a 20°C.

*2: o sistema com tubo PPR tem temperatura máxima de trabalho a 70°C com as pressões indicadas mantendo a durabilidade de 50 anos para as linhas PN 20 e PN 25. Este sistema admite temperatura máxima de 80°C, entretanto a pressão de trabalho fica comprometida para garantir a resistência da instalação, bem como a durabilidade. A linha PN 12 é indicada apenas para água fria, permitindo temperaturas de até 40° C.

*3: com temperatura até 70°C o sistema PEX mantém a durabilidade de 50 anos com pressão de trabalho de até 6,5 kg/cm². Com o aumento de temperatura de trabalho para 80 e 95° C, a durabilidade cai para 25 anos com pressão de 6,5 e 5,0 kg/cm² respectivamente, conforme figura 54:

Figura 54: Pressão x temperatura de trabalho.

Pressões Máximas de Trabalho (Série 5.0)

Conforme normas UNE 53.381 / ISO 15.875: NBR 15.939

Coeficiente de segurança - 1,5 - unidade em kg/cm²

Temperatura (°C)	Anos de serviço	Pressão de trabalho
20	50	12,5
40	50	10,5
60	50	8,0
70	50	6,5
80	25	6,5
95	25	5,0

Fonte: Catálogo linha PEX, Barbi do Brasil, 2016.

2.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Pela experiência do autor, gerente de obras e projetos, na grande maioria dos sistemas construtivos, quando surgem manifestações patológicas mais comuns (e leves), logo são notáveis visualmente como uma fissura numa parede, um revestimento trincado ou manchado, por vezes infiltrações numa fachada quando chove ou uma mancha no teto se a impermeabilização de uma laje falhar.

Nos sistemas prediais hidráulicos de água, que atuam sob pressão positiva seja por gravidade ou por pressurização, a menor falha num tubo ou conexão traz grandes transtornos para o morador e eventualmente para a edificação.

Vazamentos podem alagar apartamentos, *halls*, afetar elevadores ou alguns andares através de tubulações em prumadas, além de móveis embutidos ou decorações por exemplo.

Baseado nas experiências do autor, as manifestações patológicas mais comuns em tubos e conexões de água fria e água quente são:

- Tubos, conexões e flexíveis danificados, seja por um defeito de fabricação, falha de armazenamento ou falhas de instalação.
- Inversão de instalação em ramais de água fria com água quente, especialmente em casos de uso de tubos de cores semelhantes para AF e AQ, mas com classificações diferentes, como CPVC por exemplo. Em um empreendimento de

132 unidades, realizado em 2014, 12 (doze) unidades receberam atendimento em assistência técnica durante os primeiro semestre pós-entrega para correção de ramais aéreos invertidos. São atendimentos em sua grande maioria, em unidades recém-reformadas (finalizadas) para identificação do local de falha, abertura de forro, correção hidráulica, fechamento de forro e pintura.

- Instalação de tubos e conexões com falha ou ausência de cola ou termofusão inadequada. Em um empreendimento de 38 unidades, realizado em 2020, 02 (duas) unidades necessitaram de atendimento para falhas em conexões, com ausência total de cola em sistema CPVC. Neste caso, detectados durante período de reforma, mas em paredes com revestimento cerâmico entregue pela construtora.
- Perfuração de tubos em instalações de móveis e outras decorações.

Não são exemplos de números absolutos expressivos, mas da ordem de 5 a 10% das unidades produzidas. Mais preocupante que isto, é o potencial de danos se estas falhas atingem móveis, decorações e equipamentos. Os pontos negativos impactam o resultado financeiro do empreendimento com retrabalhos, mas principalmente a relação e confiança com os clientes consumidores.

Os dados das falhas apontadas, indicam que um possível vício de execução da mão de obra passe despercebido pela fiscalização. Portanto, reciclagem de procedimentos, acompanhamento e verificação de testes realizados, podem resultar em melhorias.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. INFORMAÇÕES SOBRE A CONSTRUTORA

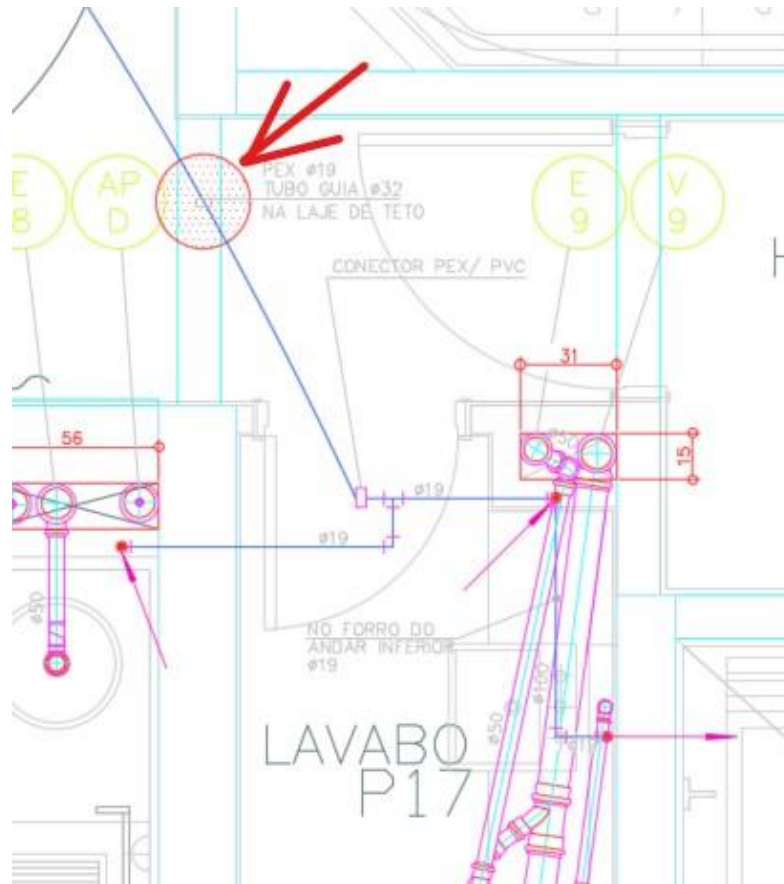
A construtora estudo de caso foi criada em 1996, com sociedade privada do tipo familiar com um pai e seus dois filhos, tendo como objetivo a incorporação e construção de unidades habitacionais em edifícios residenciais. Ao longo destes anos, empreendimentos de tamanhos variados foram criados, sempre buscando pelo compromisso e boa relação com seus clientes, vizinhos e fornecedores.

A tipologia predominante das obras, conta com estrutura em concreto armado e alvenarias de vedação em todas as paredes. As paredes externas, divisas entre unidades, banheiros e *shafts*, sempre em bloco de vedação cerâmico ou bloco de vedação em concreto.

Até o ano de 2024, consta o histórico de 26 empreendimentos concluídos. Destas 26 obras concluídas, apenas em 2 projetos tiveram um contato parcial com o sistema PEX para sistemas prediais de AF e AQ:

- Empreendimento A – realizado em 2012, cuja tipologia era composta por 01 torre com 34 unidades típicas de 125 m² e 2 unidades duplex de 202 m². As unidades tipo por exemplo, contavam com sistemas prediais hidráulicos nos seguintes ambientes: cozinha, área de serviço, lavabo, 3 banheiros e 1 terraço. Destes 7 ambientes, apenas 1 deles teve em seu projeto 1 ramal aéreo em tubo PEX, o lavabo, conforme a figura 55. Esta solução foi adotada para elucidar uma interferência do ramal principal do lavabo com uma viga de concreto, em uma situação que não tinha previsão de forro ou sanca e havia interesse em assim, permanecer. Neste empreendimento, a solução para sistema predial hidráulico é de tubo PVC para água fria e tubo PPR para água quente.

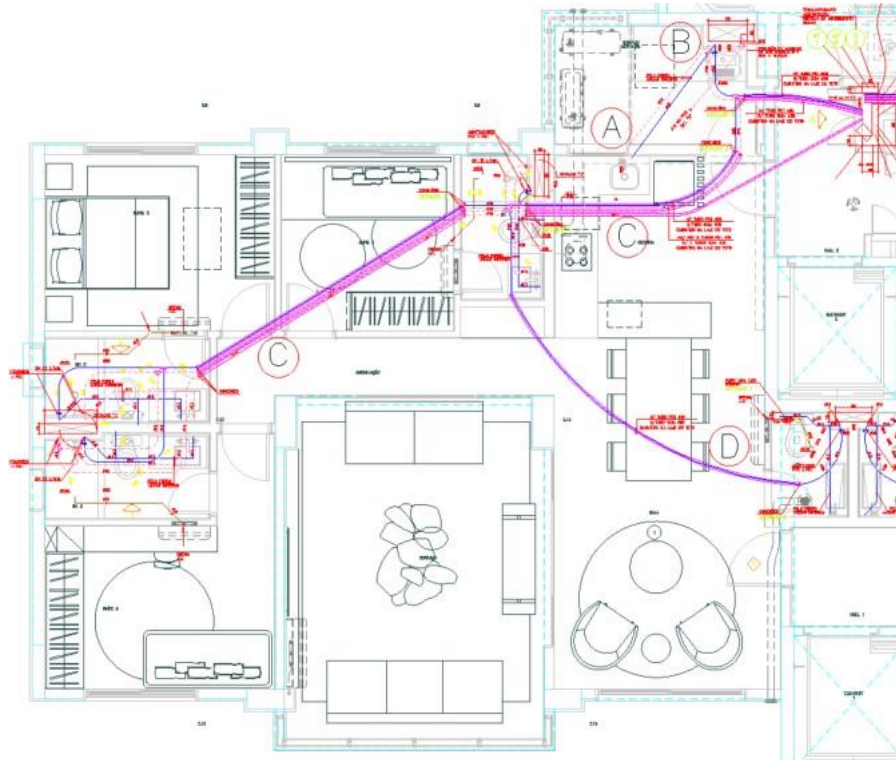
Figura 55: Tubo PEX embutido para interferência com viga de concreto.



Fonte: Projeto hidráulico empreendimento A, 2012

- Empreendimento B – Realizado em 2020, cuja tipologia era composta por 01 torre com 36 unidades típicas de 113 m² e 2 unidades duplex de 198 m². As unidades tipo contavam com sistemas prediais hidráulicos nos seguintes ambientes: cozinha, área de serviço, 03 banheiros e lavabo. Neste empreendimento os ramais aéreos eram em tubo PEX embutidos nas lajes, vide figura 56, exceto o ramal da cozinha (A), que era em CPVC a partir da área de serviço sobre o forro. Os tubos luva interligam a coluna de alimentação hidráulica com a área de serviço (B), e posteriormente banheiros (C) e lavabo (D). No entanto, todos os sub-ramais dos ambientes foram executados em CPVC embutidos nas alvenarias de vedação, fazendo uma conexão com adaptador ao tubo PEX acima do forro de cada ambiente.

Figura 56: Tubo PEX embutido para ramais aéreos.



Fonte: Projeto hidráulico empreendimento B, 2020.

No entanto, até o presente momento, não houve registros de assistência técnica dos sistemas PEX instalados nos respectivos empreendimentos, contudo há registros de assistência técnica nos demais sistemas, em PVC, CPVC e PPR. Na construtora estudo de caso, em média, 50% dos chamados para assistência técnica, referem-se a sistema predial hidráulico.

Este histórico foi um dos precursores da iniciativa em buscar inovação na execução do sistema predial hidráulico em busca de redução de assistência técnica, além de proporcionar uma execução mais industrializada. Em 2024, a construtora conta com 02 obras em andamento simultaneamente. Um edifício residencial de altíssimo padrão com 27 unidades e um edifício misto com 185 unidades privativas.

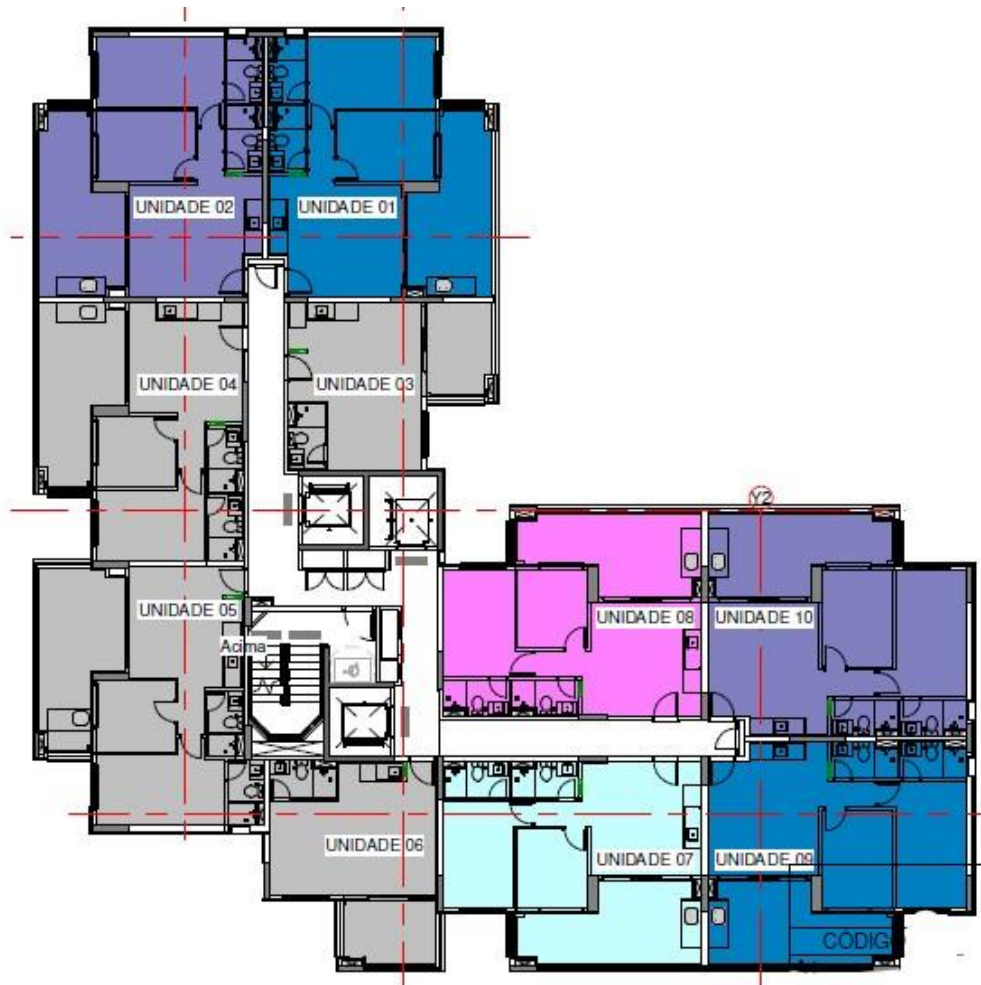
3.2. O EMPREENDIMENTO

O edifício misto citado anteriormente é o objeto estudo de caso deste trabalho. É o terceiro empreendimento da construtora que tem, em projeto, itens do sistema predial hidráulico em PEX, porém, neste caso uma solução mais completa, com ramal principal desde a coluna de alimentação do pavimento até os pontos de alimentação nos ambientes. Neste projeto também foi definido que os ramais não serão embutidos em alvenaria, mas sim através de *shafts* em paredes de *drywall*.

Os ramais aéreos são aparentes e/ou embutidos, conforme necessidades de cada ambiente nas unidades, e todos os sub-ramais são posicionados dentro de *shafts* em *drywall* ou aparentes frente às alvenarias, no caso de instalações sob bancadas nas cozinhas, terraços e banheiros.

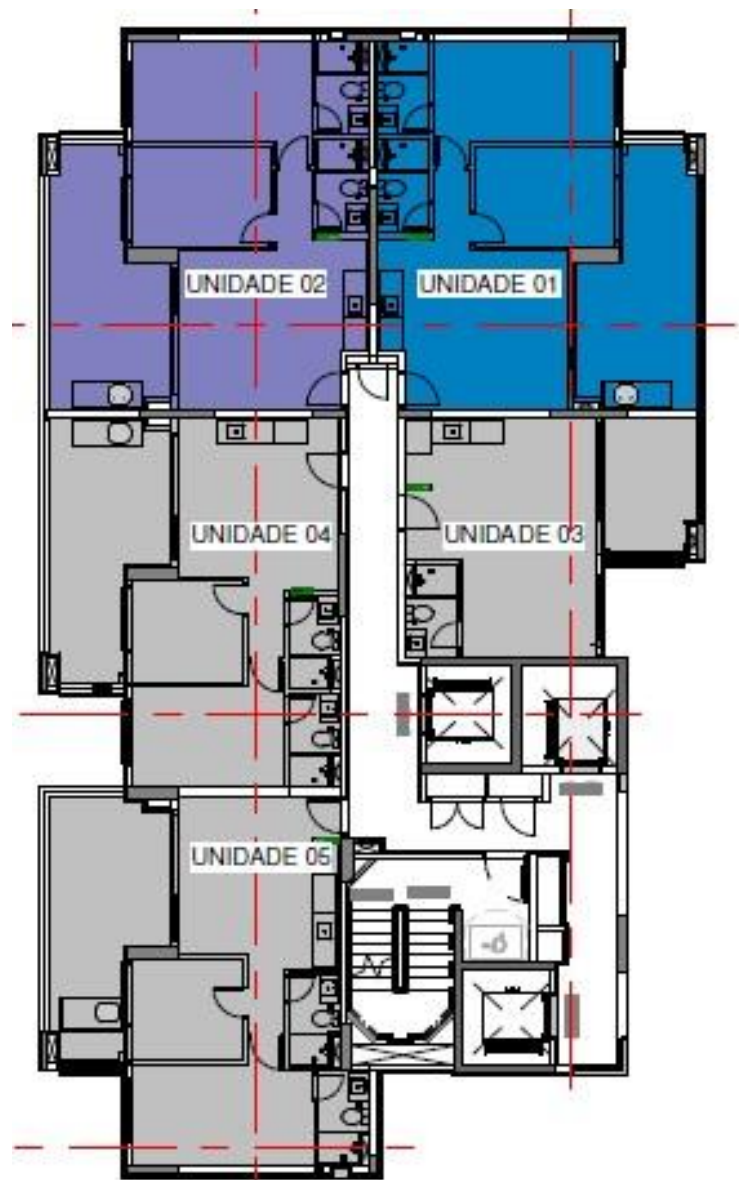
O empreendimento possui 37 unidades Studio de 37 m² e 148 unidades com 2 dormitórios (sendo 1 suíte) com áreas variando entre 61 e 66 m². O edifício dispõe de áreas técnicas e lazer, mas somente as unidades privativas contam com a implementação do sistema predial em PEX, do 3º ao 24º pavimento. Do 3º ao 17º pavimento, são 10 unidades por andar (2 Studio e 8 apartamentos), conforme figura 57 e do 18º ao 24º pavimento, são 5 unidades por andar (1 Studio e 4 apartamentos), conforme figura 58.

Figura 57: Pavimento tipo 1 com 10 unidades.



Fonte: Planta chave de unidades do projeto de arquitetura obra estudo de caso, 2023.

Figura 58: Pavimento tipo 2 com 5 unidades.



Fonte: Planta chave de unidades do projeto de arquitetura obra estudo de caso, 2023.

As unidades 01, 02, 04, 05, 07, 08, 09 e 10 possuem 2 dormitórios, cujas tipologias se apresentam com cozinha integrada, sala, terraço social, dormitório, banheiro social e suíte. Apresentam pequena variação de metragem quadrada devido pequenos ajustes no layout do pavimento, mas são representadas pela figura 59, para demonstrar os ambientes com sistemas prediais instalados (cozinha, terraço e banheiros).

Figura 60: Tipologia Studio.



Fonte: Planta de venda final 03 e 06 Studio, obra estudo de caso, 2023.

3.3. PROJETOS EXECUTIVOS ENVOLVIDOS

A obra estudo de caso é um edifício multipavimentos, portanto demanda muitas disciplinas de projetos para solucionar todas as necessidades e interfaces ao longo do seu desenvolvimento. Porém, foram identificadas junto ao construtor, 05 disciplinas que tem maior correlação entre si, para avaliar as questões de implantação do sistema PEX como sistema predial hidráulico:

1. **Arquitetura**: apresenta as definições de layout atendendo as necessidades do produto de forma funcional e permitindo que as infraestruturas de sistemas prediais tenham espaços e locações adequadas para uma boa execução da obra.

2. Vedação: indica no projeto os elementos em *drywall* nos *shafts*, que permitem a instalação do sub-ramal para posterior fechamento, sem necessidade de cortes e demolições de alvenarias concluídas para executar atividades da etapa de instalação hidráulica. Também faz parte do escopo desta disciplina, projetos de locação de pontos hidráulicos.
3. Hidráulica: define as necessidades de caminhamentos de ramais e sub-ramais, furos em vigas e lajes, com apontamentos das interações necessárias para inclusão nos projetos de estrutura e vedação, buscando entregar para a obra, projetos objetivos e claros para uma boa execução.
4. Elétrica: identificar as interferências com os tubos luva previstos para embutir em laje de concreto, frente aos eletrodutos de distribuição das futuras enfições das unidades habitacionais. Esta informação é importante para o correto dimensionamento da espessura da laje de concreto, especialmente.
5. Estrutura: indicar as furações em vigas, lajes e passagens dos tubos de elétrica e tubos luva para PEX. Segundo o projetista estrutural, foi possível reduzir a altura de algumas vigas para garantir um pé-direito mais uniforme, sem vigas aparecendo nos tetos e forros. Entretanto, esta condição dificultou alguns furos em vigas (devido baixa altura), o que ocasionou mais tubos PEX embutidos que o previsto inicialmente. Para atender o cobrimento adequado dos tubos e armações, foi necessário aumento de 2 cm de espessura em uma laje de 50 m², da circulação, com aumento de consumo de 1 m³ de concreto. Esta laje seria dimensionada com 12 cm de espessura, se não fosse esta interferência de tubos cruzados.

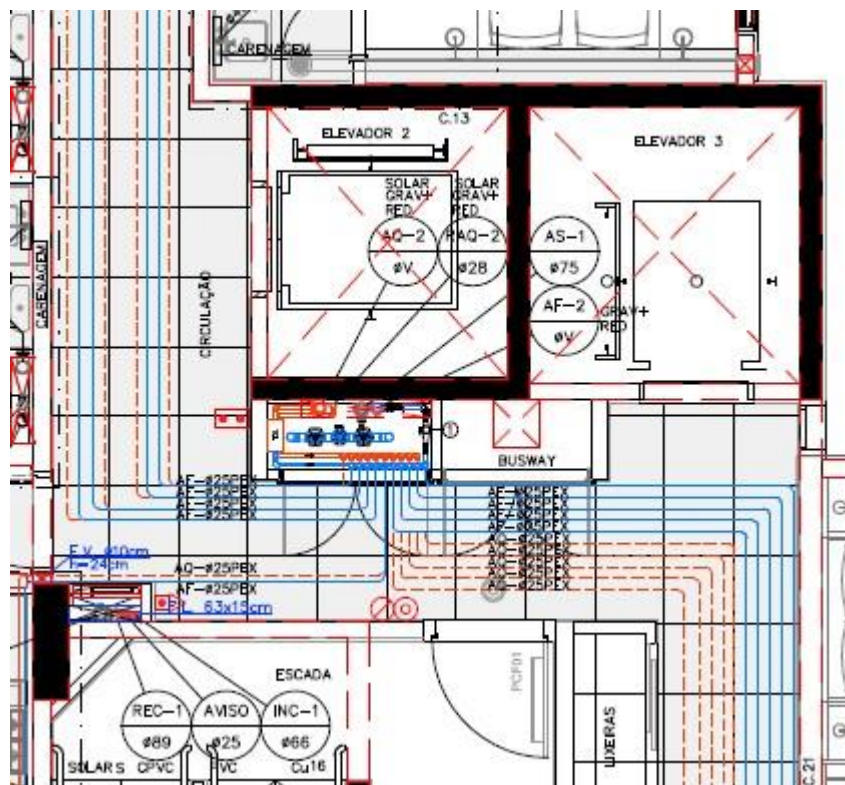
Embora nas considerações iniciais eram previstos uma quantidade maior de tubos PEX aparentes sob laje, a condição de instalação em tubo luva (embutido na estrutura) promoveu uma possibilidade de redução de forros rebaixados e sancas dentro dos apartamentos.

3.3.1. PROJETO HIDRÁULICO

Baseado nas experiências do autor, o projeto hidráulico pode ser subdividido em 3 setores, no desenvolvimento da instalação predial de um pavimento em sistema PEX:

1. Ramal aéreo externo: é o trecho que interliga a coluna hidráulica do pavimento e a unidade privativa, conforme a figura 61. Na obra estudo de caso, toda a circulação do pavimento que dá acesso aos apartamentos, escadaria, elevadores, tem previsto forro de gesso rebaixado, portanto, executar esta instalação aparente sob a laje é uma opção mais prática e econômica, segundo o construtor. No projeto, as linhas em cor azul representam o tubo PEX de água fria e as linhas em cor vermelha, representam o tubo PEX de água quente, do sistema de aquecimento solar previsto.

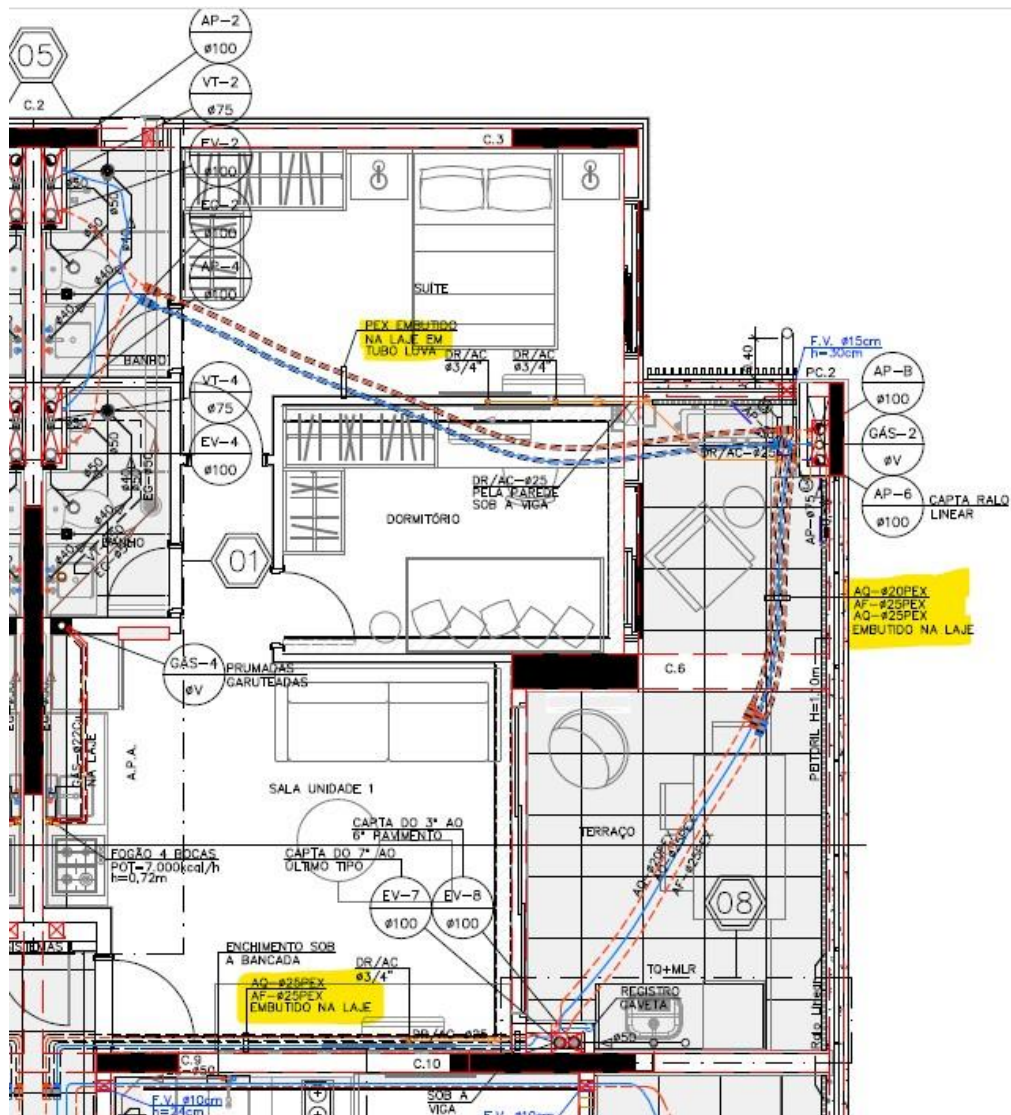
Figura 61: Ramal aéreo e coluna hidráulica.



Fonte: Projeto de hidráulica, obra estudo de caso, 2023.

2. Ramal aéreo interno: na entrada da unidade privativa, o ramal aéreo pode ser posicionado em tubo luva ou aparente e o mesmo ocorre para a interligação entre os ambientes, conforme figura 62 do estudo de caso. Neste caso, na unidade 01 a entrada dos ramais ocorre em tubo luva embutido até o terraço, para suprir uma interferência de uma viga de concreto, próximo da porta de entrada. Dentro da unidade, há trechos aparentes sob a laje, como no terraço próximo a bancada e sobre os banheiros, e há trechos embutidos em tubo luva, no terraço próximo ao *shaft* de aquecimento (gás, para instalação do aquecedor de passagem) para superar uma viga que não tem forro rebaixado, e entre o *shaft* de aquecimento e banheiro da suíte. A interligação entre os 2 banheiros, ocorre sobre o forro destes ambientes.

Figura 62: Ramal aéreo dentro da unidade privativa.



Fonte: Projeto de hidráulica, obra estudo de caso, 2023.

A bitola do tubo luva (ou tubo guia) varia conforme a bitola do tubo PEX a ser inserido, e é indicado em projeto conforme figura 63.

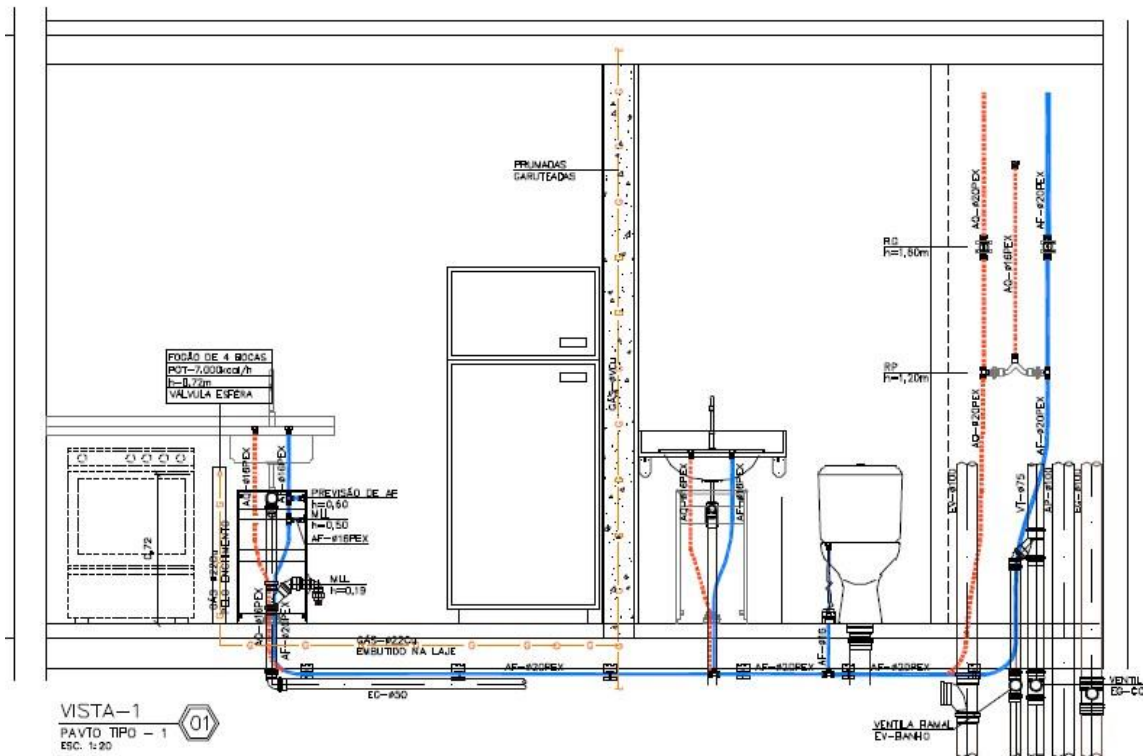
Figura 63: Bitola tubo luva.

DIÂMETRO EXTERNO (TUBO PEX)	DIÂMETRO EXTERNO (TUBO GUIA FLEXIVEL)
ø16	ø32mm
ø20	ø40mm
ø25	ø40mm

Fonte: Projeto de hidráulica, obra estudo de caso, 2023.

3. Sub-ramal: o sub-ramal é representado nas vistas e elevações do projeto de hidráulica. Estes detalhes indicam o caminho de instalação, tubos passantes e camisa em lajes, pontos de conexão nos ambientes e pontos de alimentação. Na figura 64, é indicado a interligação do ramal misturador da ducha aos pontos da bacia, lavatório e cozinha, todos por baixo da laje. O trecho do chuveiro será coberto por uma estrutura de *drywall* (previsto no projeto de vedações). Já o trecho abaixo da laje, cobertos pelo forro do andar inferior. Os tubos ficam aparentes abaixo da laje. Neste detalhe, é importante a confirmação dos aparelhos previstos, com ou sem misturador de água fria e água quente, como lavatório e bancada da cozinha. É indicado também, a forma de ligação dos metais superiores, que no caso do edifício estudo de caso, o tubo PEX vai interligado diretamente aos misturadores, eliminando o dispositivo flexível de ligação entre o ponto de alimentação e a entrada dos metais, comum em sistemas rígidos como PVC, por exemplo.

Figura 64: Vista do sub-ramal do banheiro e cozinha.



Fonte: Projeto de hidráulica, obra estudo de caso, 2023.

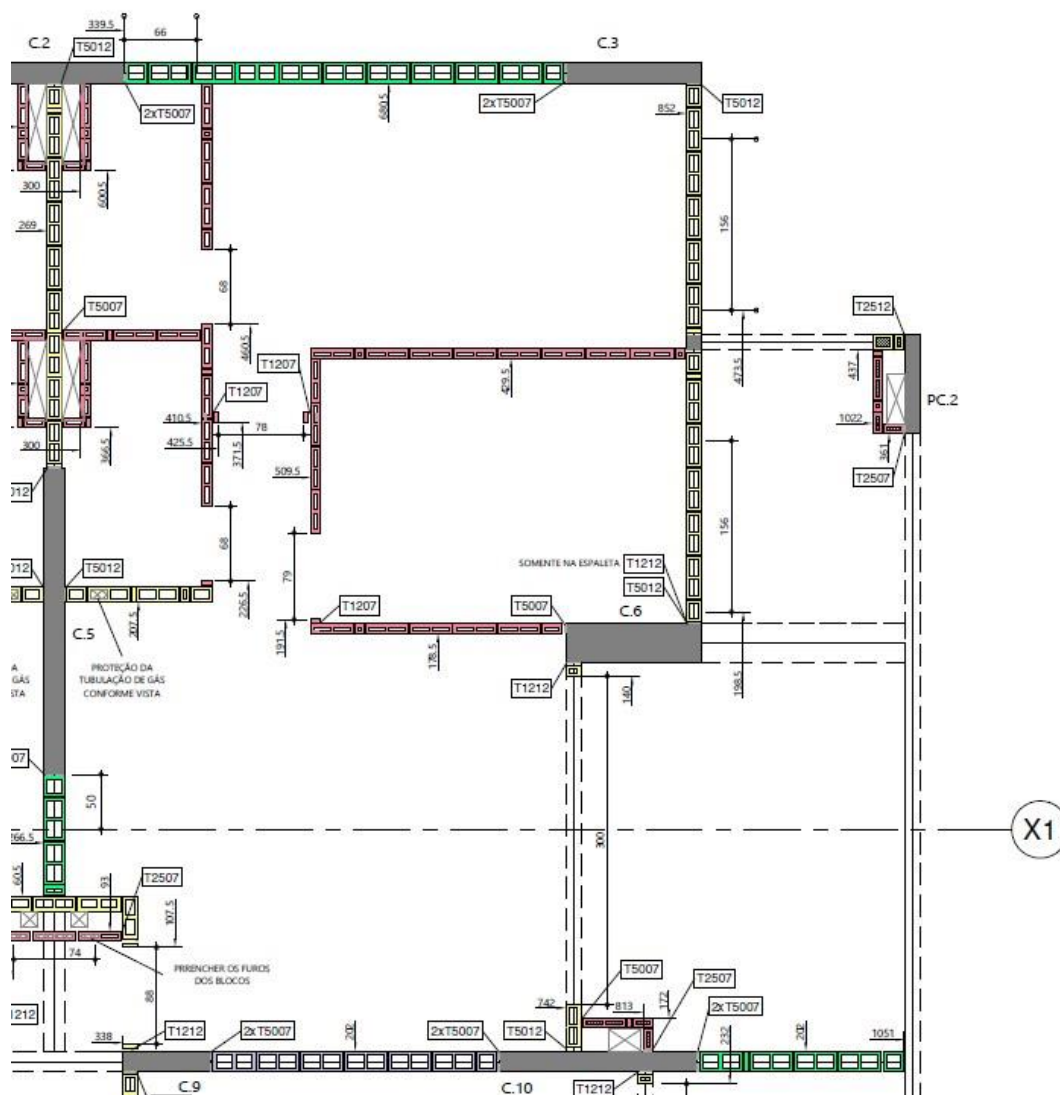
É previsto em norma brasileira, isolamento térmico para tubulações de água quente, a fim de minimizar perda de calor ao longo do sistema hidráulico. Entretanto, segundo informações do fabricante fornecedor na obra estudo de caso, Barbi do Brasil, somente trechos superiores a 15 metros entre a fonte de aquecimento e o ponto de consumo, necessitam deste isolamento, mas sempre cabe ao projetista avaliar as condições de instalações.

Na obra estudo de caso, nas unidades privativas esta distância não é superada, especialmente por ter aproximadamente metade da tubulação embutida em tubo luva, dispensando, segundo o fabricante, aplicação de isolamento. Somente no sistema de previsão de aquecimento solar, existem distâncias superiores a 15 metros. Porém, por se tratar de um sistema de pré-aquecimento na alimentação de água do aquecedor da unidade privativa, o isolamento não foi adotado.

3.3.2. PROJETO DE VEDAÇÕES

O projeto da disciplina de vedações contempla todas as informações necessárias para executar a marcação (posicionamento) das alvenarias com os tipos, medidas e quantidades de blocos, conforme figura 65, bem como as elevações das paredes.

Figura 65: Projeto de marcação de 1ª fiada de alvenaria de vedação.



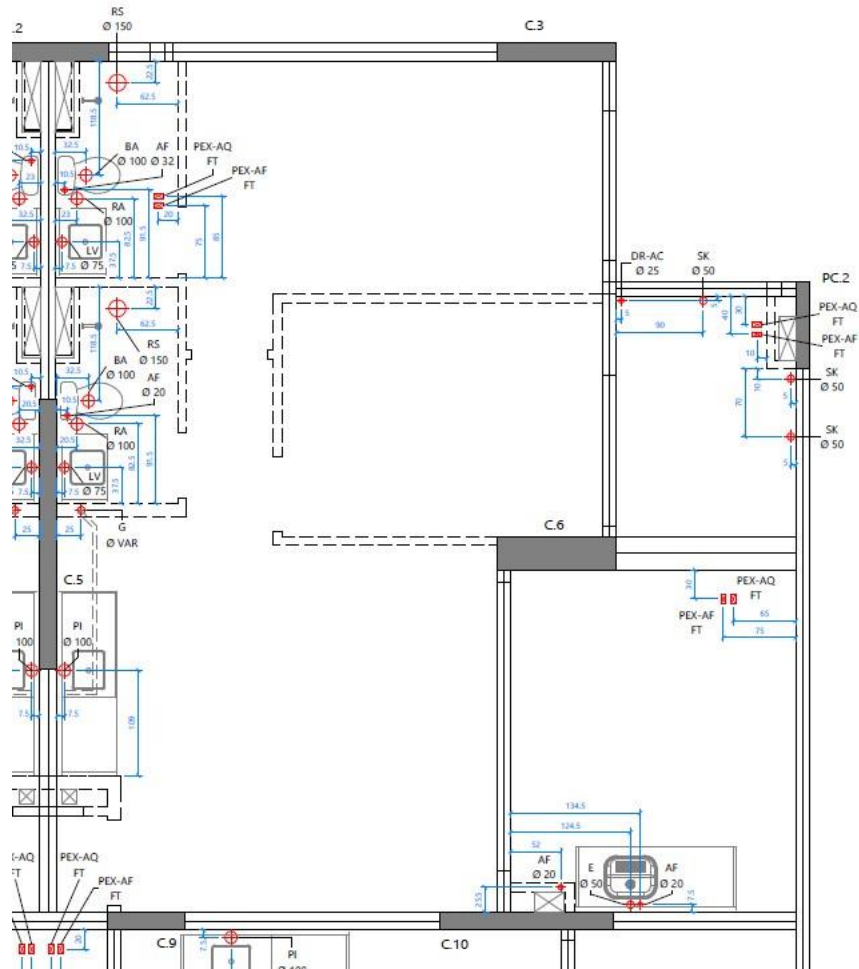
Fonte: Projeto de vedações, obra estudo de caso, 2023.

Esta disciplina apresenta também as informações de posicionamento de todos os pontos de instalação dos sistemas prediais, chamados locação de pontos elétricos e hidráulicos. Para o sistema hidráulico, vale destacar dois projetos relevantes deste estudo de caso:

b. Projeto de locação de pontos hidráulicos por parede.

Após execução da estrutura e elevação das alvenarias, o projeto de locação de pontos hidráulicos por parede passa a ser a referência para a instalação e chumbamento dos tubos passantes e camisas em lajes, de acordo com a figura 67.

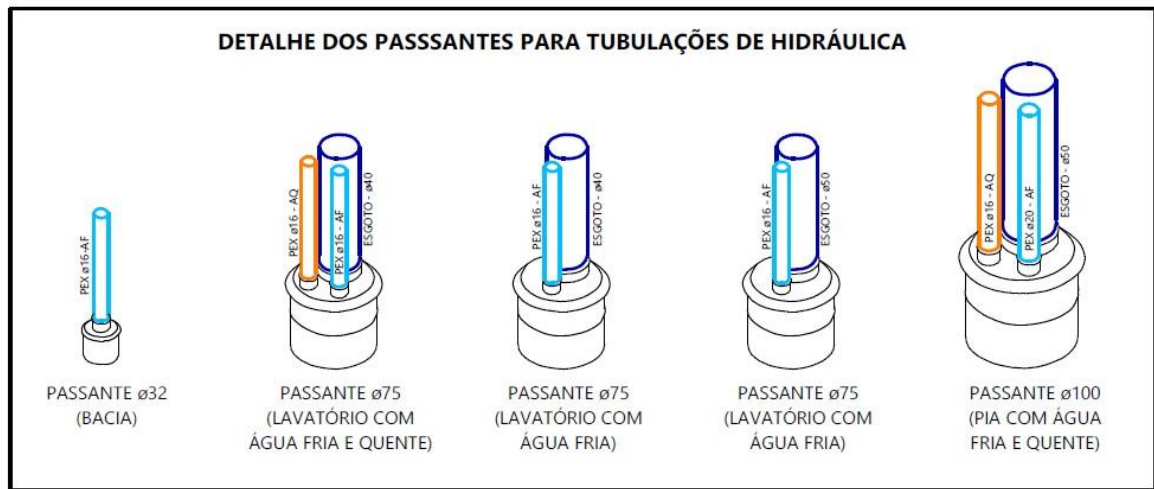
Figura 67: Projeto de locação de pontos hidráulicos por parede.



Fonte: Projeto de vedações, obra estudo de caso, 2023

Os tubos chumbados em lajes são para futura instalação de elementos de hidráulica como ralos, esgoto de bacias ou passagens de tubos de esgoto e tubos de alimentação sob bancadas, lavatórios e pontos de bacias. A vedação dos tubos passantes posicionados sob bancadas e tubos para alimentação de bacias com tubo PEX, tem previsto acabamento com uma coifa conforme a figura 68.

Figura 68: Passantes ou camisas e coifas para tubos de esgoto e PEX.



Fonte: Projeto de vedações, obra estudo de caso, 2023

Estes passantes permitem a passagem, instalação e fixação dos tubos sem a necessidade de chumbamento na laje com graute ou concreto. Proporciona uma margem de correção, especialmente no alinhamento vertical do tubo de esgoto com o furo da cuba e gera um ponto de atenção com o sistema de impermeabilização.

Antes da adoção do sistema PEX, os tubos de esgoto e alimentação destes ambientes eram embutidos em alvenaria ou, um graute ao redor de todos os tubos era executado em casos de impedimento de tubos embutidos, para posterior aplicação do sistema de impermeabilização, conforme figura 69. Com a adoção do sistema PEX, o sistema de impermeabilização é aplicado ao redor destes passantes, conforme a figura 70. O tubo passante deve ter altura suficiente para receber camada de contrapiso e coifa. Na obra estudo de caso, os passantes fora do *shaft* devem ter altura de 12 cm acima do nível da laje e dentro dos *shafts*, 20 cm acima do nível da laje. Após instalação do revestimento de piso cerâmico, o passante de alimentação da bacia tem ajuste na altura por corte, para instalação do acabamento de bacia PEX.

Figura 69: Enchimento em graute sob bancada de cozinha.



Fonte: Acervo do autor, 2011.

Figura 70: Passantes ou camisas e coifas para tubos de esgoto e PEX.



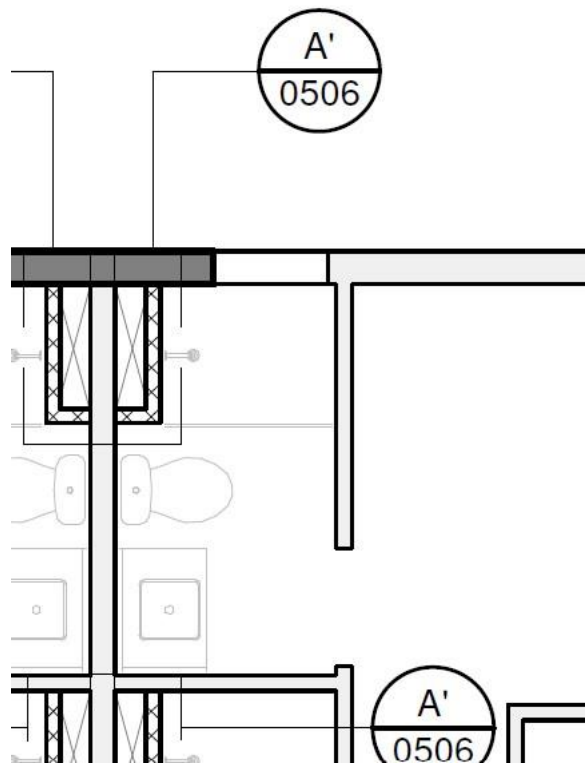
Fonte: Acervo do autor, 2023

Na etapa de impermeabilização do tubo passante, é necessário atenção do aplicador para garantir todo o perímetro do tubo tratado, bem como a parede atrás da região do tubo. O pequeno espaço que sobra, não pode ter falha de aplicação para garantir a estanqueidade do ambiente.

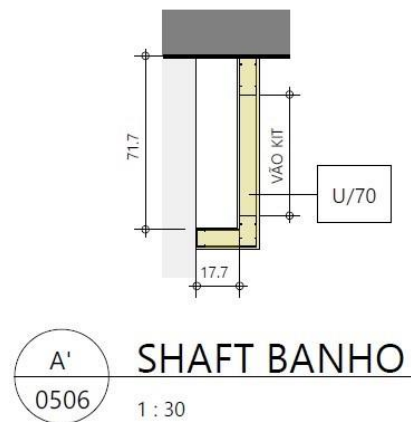
c. Vedação *shaft* hidráulico

O elemento de vedação do *shaft* hidráulico, no box do banheiro por exemplo, tem o detalhamento de montagem em *drywall* conforme as figuras 71 e 72.

Figura 71: Planta com indicação de detalhe para o *shaft* do box.



Fonte: Projeto de vedações, obra estudo de caso, 2023.

Figura 72: Detalhe para o *shaft* do box.

Fonte: Projeto de vedações, obra estudo de caso, 2023.

Com o sistema rígido executado anteriormente, os *shafts* eram totalmente executados em alvenaria com blocos de vedação, para posterior corte e embutimento dos tubos hidráulicos.

No detalhe consta a indicação da sigla U/70 para aplicação de chapa de *drywall* resistente à umidade e montante de 70 mm para a estrutura do sistema de vedação, conforme legenda em projeto, vide figura 73.

Figura 73: Tipologias para o *shaft* do box.

ESPECIFICAÇÃO DAS TIPOLOGIAS DO SISTEMA DE DRYWALL E QUANTIDADES POR PAV. TIPO

Tipologia	Área	Especificação
S/90/S	3.62 m ²	1 chapa standard / montante de 90mm / 1 chapa standard
S/90/U	1.88 m ²	1 chapa standard / montante de 90mm / 1 chapa resistente à umidade
U/70	14.38 m ²	1 chapa resistente à umidade / montante de 70mm

Fonte: Projeto de vedações, obra estudo de caso, 2023.

Deve-se atentar para o vão que receberá o kit pré-fabricado em PEX para o chuveiro, respeitando o espaçamento do fabricante. Esta informação deve ser compatibilizada com o fornecedor contratado para fornecimento dos kits chuveiro do sistema PEX e atualizada para o projeto de produção da vedação em *drywall*, bem como seguir as orientações de vedação para o sucesso do uso do sistema. O kit chuveiro é abordado no capítulo 3.4.7.2.

3.4. EXECUÇÃO DA OBRA

Neste capítulo será abordado informações e temas verificados durante e execução da obra, desde a modalidade de contratação de mão de obra de instalação hidráulica, até detalhes de execução do sistema PEX e interações com outros sistemas do edifício, como vedação, impermeabilização e revestimento.

Um protótipo em uma unidade privativa foi executado para sanar dúvidas e interações dos tubos PEX aparentes e embutidos em tubo luva, conexões dos pontos de alimentação, kit chuveiro e vedação do *shaft* em *drywall*.

Executar protótipos é uma excelente forma de validar o processo construtivo de uma obra. Uma unidade de apresentação em Stand de vendas, embora apresente uma unidade a ser vendida com uma possibilidade de decoração, nem sempre representa todas as dificuldades de execução e interação entre os sistemas construtivos. Uma clareza deste processo é bastante importante para reproduzir tantas outras unidades em um edifício.

3.4.1. INSTALADORA CONTRATADA

A modalidade de contratação de instalações hidráulicas é através de empresa terceirizada, fornecendo mão de obra e materiais, cuja empresa tem longa data de parceria e executado a maioria das obras da construtora. Este fato, segundo a construtora, trouxe grande colaboração com a experiência deste empreendimento, fornecendo informações e auxiliando em dúvidas para desenvolvimento dos projetos e adequações aos demais sistemas, devido conhecimento existente com este sistema predial hidráulico em PEX pela empresa contratada. Durante o desenvolvimento dos projetos e execução da obra, um fiscal de hidráulica da instaladora forneceu orientações ao gerente de projetos e gerente da obra estudo de caso.

3.4.2. ESTOQUE DE MATERIAIS

O estoque de materiais hidráulicos é gerenciado pela instaladora, ainda que em comum acordo com a gerência da obra discutindo cronograma, metas e rotinas do canteiro, mas a quantidade e momento de compra, é de responsabilidade da instaladora.

Os tubos PEX são fornecidos em rolos, portanto no canteiro é previsto uma área para armazenamento de tubos rígidos, usados em prumadas, esgotos, tubos passantes, camisa e

demais áreas da obra cujas instalações são em sistema rígido, conforme figura 74, e uma área reservada para armazenamento dos rolos de tubos PEX, vide figura 75.

Figura 74: Estoque de tubos rígidos.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Figura 75: Estoque de tubo PEX.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Na embalagem de cada rolo de tubo PEX, consta a informação da cor e bitola do material, conforme figura 76. Para a obra estudo de caso, os tubos PEX foram definidos em: cor branca para tubo de água fria e cor vermelha para tubo de água quente, com suas variações de bitolas conforme projeto hidráulico. Segundo informações de profissionais que acompanham o estoque destes materiais, é recomendado o controle de pragas. Há relatos de perdas significativas de materiais, devido danos causados por ratos, comumente presentes em obras.

Figura 76: Identificação rolo tubo PEX.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Para a instalação dos ramais embutidos em tubo luva, os encanadores empregam o rolo de tubo PEX no local de trabalho, para instalação e corte dos comprimentos adequados em cada situação do pavimento, com conexão nos registros dos kits a serem instalados em *shafts*.

Os ramais e sub-ramais dos ambientes, instalados sob a laje, foram preparados em bancada no almoxarifado da instaladora, uma vez que todos os furos passantes têm medidas conforme projeto. A instalação destes kits, ocorrem após término dos revestimentos cimentícios de parede e piso.

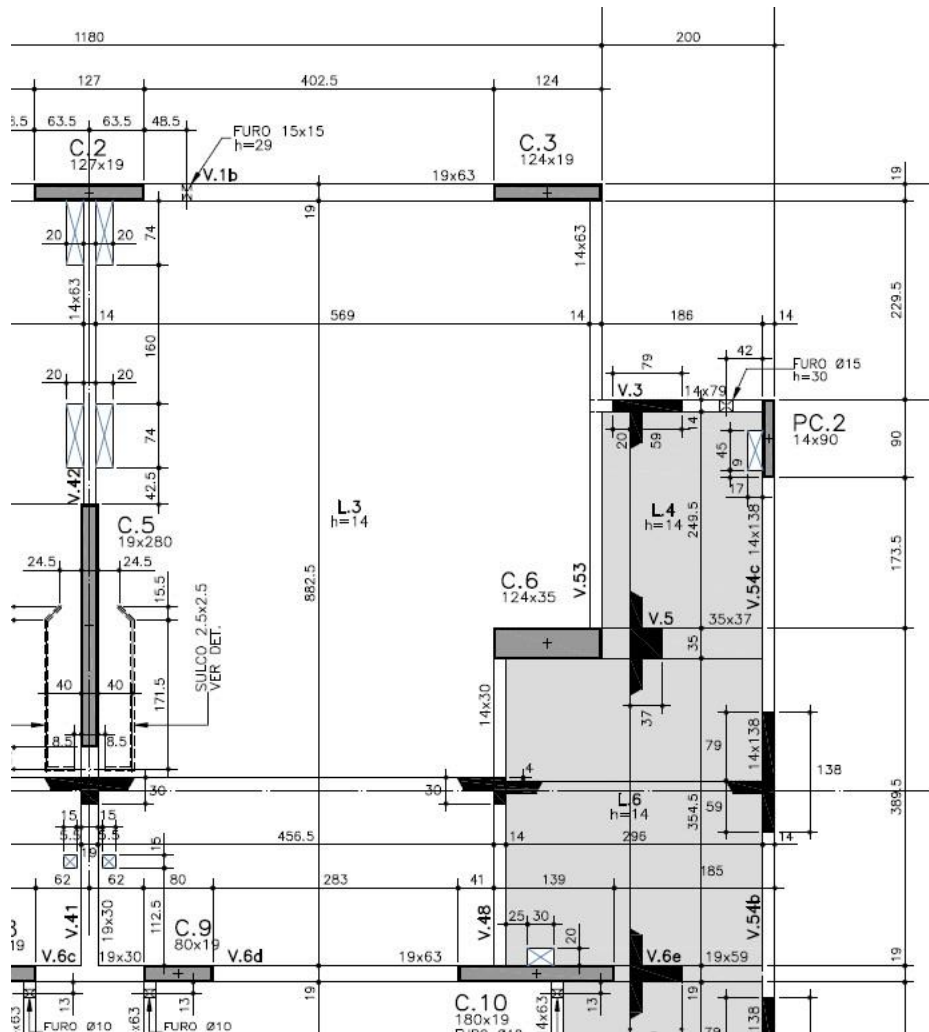
Visando a redução de falhas dos sistemas instalados, estes kits produzidos no almoxarifado podem ser testados antes mesmo de serem levados aos apartamentos para instalação. Caso ocorra alguma falha, a correção pode ser feita em bancada.

Neste empreendimento, todos os banheiros dos apartamentos têm as mesmas dimensões e disposições em relação a lavatório, bacia e box. Esta condição favorece bastante a adoção de montagem de kits em bancada.

3.4.3. ETAPA DE ESTRUTURA

As primeiras providências da obra para adoção do sistema PEX surgem na execução da estrutura de concreto. O projeto estrutural tem todas as indicações de furos em vigas, compatibilizado com as demais disciplinas de projeto. Em lajes, o projeto de estrutura indica os furos para *shafts*, conforme figura 77.

Figura 77: Geometria da estrutura, furos em lajes e vigas.



Fonte: Projeto estrutural, obra estudo de caso, 2023.

Outros elementos como tubo luva e marcações de furos passantes, devem ser verificados nos projetos de hidráulica e vedações, que indicam as posições e caminhamento dos tubos.

Na figura 78, a laje em preparação para concretagem, com forma, armação positiva, marcações das alvenarias pintadas em amarelo na chapa de madeira (para verificação em situação real de algumas informações de projeto, marcações dos pontos hidráulicos com

passantes em espuma, armação positiva, tubos para elétrica, tubo luva com caixa de ligação (pontilhado em amarelo) para PEX embutido para posterior instalação do ramal de entrada de água do apartamento, e armação negativa. É possível verificar o cruzamento de tubos, mas esta situação está prevista no projeto de estrutura, resultado em uma laje de concreto de 14 cm de espessura, garantindo a cobertura da armação positiva e negativa.

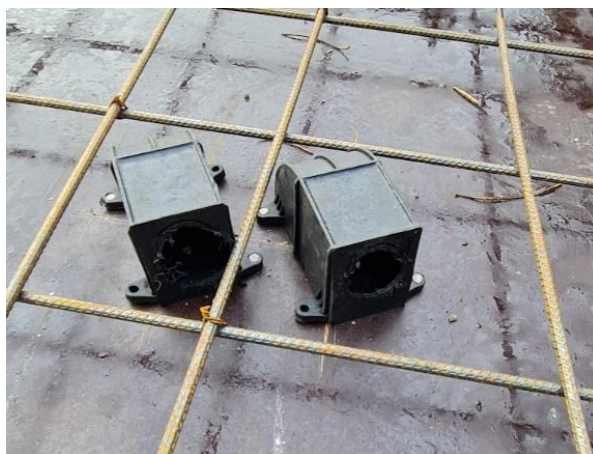
Figura 78: Laje em montagem com forma, armação e instalações.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Na figura 79, caixa de ligação para o tubo luva, pregada na chapa de madeira.

Figura 79: Caixa de ligação.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Apesar do projeto hidráulico indicar curvas acentuadas para o caminhamento do tubo luva, sua situação real de posicionamento resulta em uma curva de maior raio, mais suave, para permitir a posterior introdução do tubo PEX.

O tubo luva deve ser posicionado após armação positiva finalizada (destacado em verde). Esta etapa de posicionamento do tubo luva na laje necessita de verificação rigorosa, pois a ausência deste tubo impossibilita a introdução do tubo PEX embutido posteriormente, gerando retrabalhos ou adaptações não previstas em projeto. Esta armação permitirá também a fixação dos tubos luva com arame nas barras ao longo do seu caminhamento sobre a laje. É interessante que as marcações de furos para hidráulica e elétrica também estejam finalizadas, para evitar interferência no caminhamento do tubo, e ao término a montagem da armação negativa (destacado em vermelho), conforme figura 80.

Figura 80: Caixa de ligação e fixação do tubo luva na armação positiva.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Segundo informações da equipe da obra, importante verificar fixações previstas por baixo da laje (no teto inferior) ou por cima (na laje) com parafusos e buchas ou rebites durante a execução da obra para evitar perfurações em tubo luva. São cuidados que ocorrem apenas com eletrodutos em edifícios que não tem sistema PEX embutido em lajes, portanto é uma atividade que necessita de atenção durante o desenvolvimento da obra.

Não há necessidade de nenhuma medida adicional de execução da concretagem, o procedimento segue os mesmos cuidados de um empreendimento que não tenha o sistema PEX inserido em projeto.

Na figura 81, eletrodutos e tubos luva (pontilhado em amarelo) antes da concretagem.

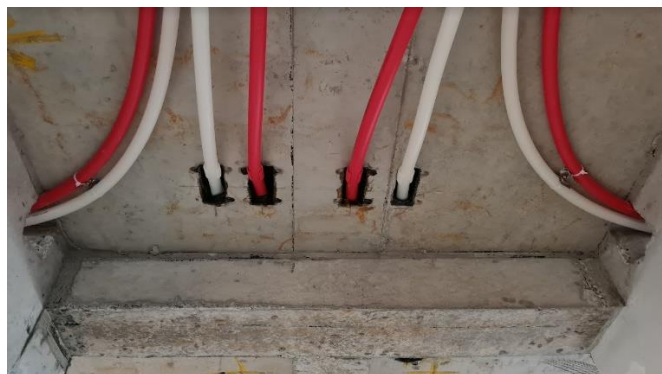
Figura 81: Tubos de elétrica e tubos luva.



Fonte: Acervo do autor, 2023

Após desenforma total da estrutura, a equipe de hidráulica retira a tampa de proteção da caixa de espera e verifica se esta caixa está livre de entupimento. Esta atividade verifica obstrução dos tubos luva por vazamento de concreto ou dobras acidentais na etapa de concretagem e já supera a etapa de ramais aéreos embutidos, conforme figura 82. Caso ocorra este vazamento, deve-se iniciar limpeza ou demolição do material dentro da caixa.

Figura 82: Ramal aéreo principal em PEX instalado.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

3.4.4. PASSAGENS EM *SHAFTS*

No empreendimento estudo de caso, os furos de lajes previstos para instalação e chumbamento de tubos hidráulicos foram executados com passante em espuma. O passante em espuma oferece dois benefícios:

1. Fácil furação com uma serra copo ou um pedaço de tubo (com o mesmo diâmetro do tubo a ser instalado) serrilhado, para o correto posicionamento dos tubos a serem chumbados na laje, conforme figuras 83 e 84.

Figura 83: Tubo preparado para furar passante em espuma.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Figura 84: Furações sucessivas no passante em espuma.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

2. A espuma excedente na camada inferior serve de forma passa posterior preenchimento em concreto ou graute, conforme figura 85. Após furação e posicionamento de todos os tubos passantes e camisa, o *shaft* recebe preenchimento

em concreto ou graute. Neste caso o *shaft* do banheiro já tem dois tubos em PVC que servirão de passagem para os tubos PEX de água fria e água quente, para a continuidade das instalações de bacia e lavatório por baixo da laje.

Figura 85: Tubos chumbados



Fonte: Acervo do autor, 2023

3.4.5. MARCAÇÃO E ELEVAÇÃO DE ALVENARIA

Para o sistema predial de água em PEX, a etapa de marcação e elevação de alvenaria necessitam dos mesmos cuidados de um projeto com sistema predial hidráulico em tubos rígidos. O que ocorre é uma diminuição de quantidade de paredes para elevação, devido alguns *shafts* previstos em *drywall*.

Como os *shafts* serão executados com uma vedação em *drywall*, na obra estudo de caso apenas a marcação da 1ª fiada é necessária, conforme figura 86. É possível executar a vedação em *drywall* partindo da laje de concreto, mas o construtor optou por manter a 1ª fiada em bloco, como previsto em projeto.

Figura 86: Marcação de 1ª fiada executada.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

A elevação da alvenaria restante completa, com 1ª fiada do *shaft* executada é representada pela figura 87. Os furos dos blocos da marcação do *shaft* precisam ser preenchidos em argamassa para possibilidade de fixação mecânica da estrutura em *drywall*. Esta informação foi uma solicitação da empresa executora da parede em *drywall*, para garantir a fixação do perfil inferior.

Figura 87: Elevação de alvenaria finalizada.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

3.4.6. TUBOS PASSANTES E TUBO CAMISA

Com a finalização da elevação das alvenarias, os demais tubos passantes e camisa dos ambientes podem ser posicionados e chumbados. As posições destes tubos são executadas conforme o projeto de furações hidráulicas por parede, da disciplina de vedações, conforme figura 88.

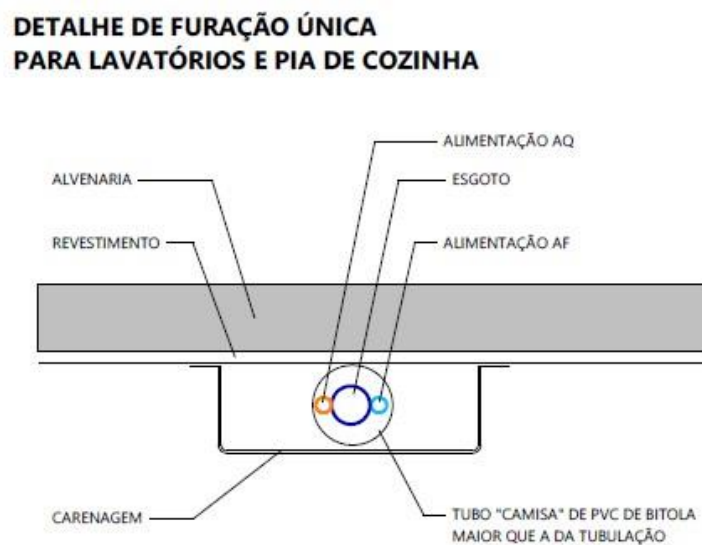
Figura 88: Tubos passantes de ralos e camisas chumbados.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

É importante verificar as espessuras de argamassa e revestimento, para garantir o afastamento adequado entre o tubo camisa e parede, para assim não impossibilitar o fechamento do tubo com a coifa de acabamento do sistema PEX, conforme figura 89. O tubo camisa permite a passagem de tubos de esgoto ou tubos PEX por furos em laje, para posterior vedação com coifa de borracha.

Figura 89: Detalhe espessura de revestimento, tubo camisa e parede.



Fonte: Projeto de vedações, obra estudo de caso, 2023.

3.4.7. PROTÓTIPO

Para esclarecimento de algumas dúvidas quanto a sequência de execução dos elementos do sistema PEX e interação com elementos de vedações, um pavimento e uma unidade protótipo foi executada.

As principais dúvidas apontadas pelo Construtor foram:

1. Estrutura do *shaft* de box em *drywall* com kit chuveiro;
2. Interligação dos pontos de alimentação de bancadas e bacia sob a laje;
3. Apresentação do tubo de esgoto e tubo de alimentação sob bancadas.

Inicialmente, executando o primeiro pavimento teste, uma grande diferença percebida e confirmada com a adoção do sistema PEX, foi a agilidade de instalação e expressiva redução do número de conexões entre a coluna principal de alimentação até a entrada do apartamento. Para cada apartamento, 01 conexão é feita no sistema rígido da coluna, conforme figura 90, e outra dentro da unidade, vide figura 91, para divisões com os demais sub-ramais do sistema hidráulico do apartamento.

Figura 90: Coluna principal com sistema rígido e transição para sistema PEX.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Figura 91: Primeira conexão dentro da unidade privativa.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Em todas as unidades, a primeira conexão interna do apartamento ocorre junto ao *shaft* do terraço social. Foi verificado nesta situação que a caixa de espera não estava prevista adequadamente e percebeu-se a necessidade uma locação adequada para não gerar interferência com o perfil superior da estrutura da parede em *drywall*. O perfil fixado no teto não deve tampar o local de saída do tubo PEX, conforme figura 92. Para corrigir esta falha, o perfil da estrutura para *drywall* necessitou de corte e reforço extra, portanto, é uma situação que deve ser evitada. Como solução, foi adotada a revisão do projeto e posicionamento adequado da caixa de espera, durante a execução da laje de concreto. Como o ambiente tem forro previsto, as duas caixas de espera foram afastadas para fora do *shaft*.

Figura 92: Perfil superior para *drywall* recortado.

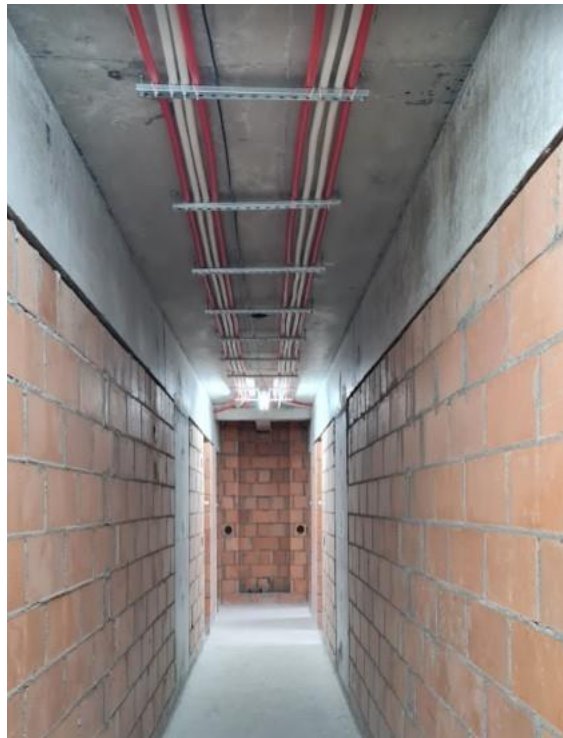


Fonte: Acervo do autor, 2023.

Esta é uma questão que em projeto, parece muito simples e de clara solução e aplicação, mas em situação real, as dimensões e exatas posições podem fazer diferença. Faz-se necessário verificar com atenção a locação das caixas de espera em estrutura.

O tubo PEX entre a distribuição da coluna principal e o primeiro ponto de cada unidade foi instalado abaixo da laje de concreto, no entre forro da circulação do pavimento, sem conexões para curvas ou para emendas devido longo trecho, de 20 metros aproximadamente no trecho mais longo, conforme figura 93. O projeto hidráulico não tem emenda prevista neste trecho e foi acordado entre o construtor e o instalador, garantir esta condição. Durante a execução da obra, este item pode ser incluso em uma ficha de verificação de serviços, para validar e aprovar as instalações.

Figura 93: Longo trecho de ramal principal sem conexões.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Passagem do ramal de alimentação da circulação para o apartamento, por furo em viga ou tubo luva embutido, conforme figura 94, segundo projeto hidráulico.

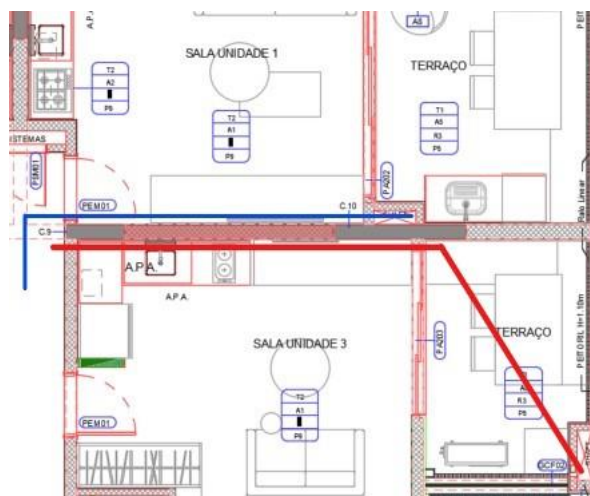
Figura 94: Entrada do ramal principal por furo em viga e tubo luva.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

A definição em projeto hidráulico para opção da entrada aparente sob a laje ou embutida em tubo luva, levou em consideração o layout do projeto de arquitetura com a posição das bancadas (que tem tubos de alimentação e esgoto sob bancada), e o caminhamento do ramal de entrada conforme cada tipologia de planta. Nas unidades que constam bancada no mesmo alinhamento do ramal de entrada de água, optou-se por tubo PEX aparente, pois já está previsto tubo de alimentação e esgoto aparente sob a laje e a solução de forro ou sanca adota o mesmo padrão. Em unidades que não contam com bancada no mesmo alinhamento do ramal, optou-se por tubo luva embutido em laje, como demonstrado na figura 95. A linha azul, representa entrada do ramal embutido em tubo luva e a linha vermelha, representa entrada do ramal aparente sob laje.

Figura 95: Detalhe layout unidades 1 e 3.



Fonte: Adaptado pelo autor, Projeto de Arquitetura estudo de caso, 2023.

Em locais com tubos aparentes, há previsão de sanca de gesso em projeto de arquitetura, para cobertura e acabamento junto ao teto. As medidas previstas para as sancas, devem ser validadas em obra após instalações dos tubos. No estudo de caso, as dimensões das sancas previstas em projeto para cobrimentos dos tubos de esgoto e tubos PEX atenderam medidas físicas necessárias.

3.4.7.1. ESTRUTURA EM DRYWALL PARA SHAFTS

A estrutura em *drywall* deve ser instalada após os revestimentos de argamassa em parede e contrapiso cimentício. Por se tratar de um elemento de construção seca, somente o revestimento cerâmico, forro e pintura entrarão como etapa posterior. Portanto, uma unidade recebeu revestimento em argamassa antecipado nos banheiros para instalação da estrutura metálica para *drywall*, validação das dimensões do *shaft* e interação com as posições de tubos de esgoto, tubos de prumada, kit chuveiro e interligação com os demais pontos de alimentação do banheiro e cozinha, vide figura 96, como consta no projeto hidráulico. De acordo com o construtor, não foi necessária nenhuma alteração no *shaft*, em relação ao que estava previsto em projeto.

Figura 96: Shaft protótipo banheiro.

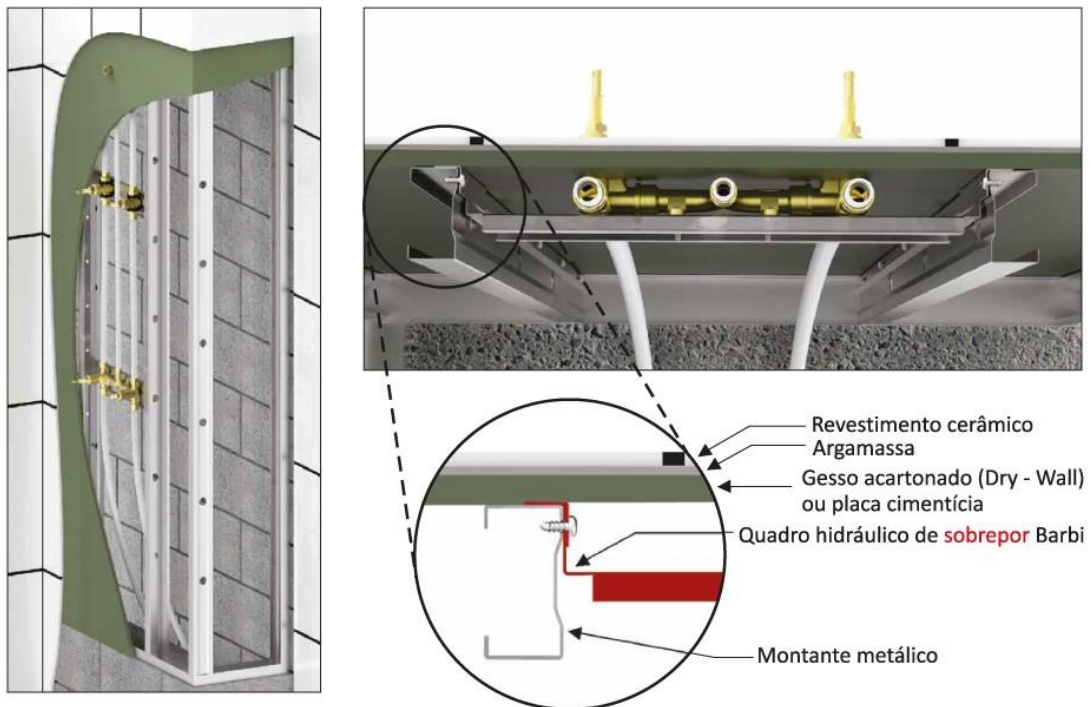


Fonte: Acervo do autor, 2023.

Foi constatado durante o estudo de caso que o projeto hidráulico não determina o fabricante fornecedor do kit chuveiro, portanto durante o desenvolvimento da obra foi necessário validar as dimensões para montagem da estrutura do *shaft* para fixação do kit. Após a montagem da estrutura, um encanador deve posicionar, verificar o nível de instalação do kit e finalizar sua fixação nos dois perfis adjacentes ao kit, conforme detalhe de um fornecedor do kit chuveiro visto na figura 97 e montagem na obra, conforme figura 98, com perfis destacados em amarelo.

Figura 97: Detalhe de fixação do kit chuveiro no perfil.

QUADRO HIDRÁULICO DE SOBREPOR



Fonte: BARBI, catálogo sistema kit Barbi, 2016.

A estrutura para o *shaft* protótipo, foi executada antes de executados os revestimentos em argamassa de contrapiso e rodapé. No entanto, na obra estudo de caso ficou definido que a estrutura deve ser executada e fixada, de modo a garantir que a chapa em gesso acartonado para executar a vedação em *drywall*, esteja alinhada com a argamassa de revestimento sobre o rodapé, acima da primeira fiada, pela face externa, para futura aplicação do revestimento cerâmico.

Figura 98: Perfil para ajuste e fixação do kit chuveiro.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Durante a execução, a obra seguiu o detalhe de fixação conforme sugerido pelo fabricante.

3.4.7.2. KIT CHUVEIRO

Conforme projeto executivo, todas as unidades possuem a mesma medida de box e *shaft* de banheiro. Esta especificação auxilia bastante não só na industrialização dos kits chuveiro, mas também nos serviços a serem executados ao longo do desenvolvimento da obra, como estrutura metálica para vedação em *drywall* e revestimentos de parede e piso, por exemplo.

Os kits chuveiro foram entregues pelo fabricante na obra, previamente testados e prontos para instalação. Todos os kits possuem a mesma aparência e construção, com dois registros de pressão, misturador, dois registros gaveta e um ponto de alimentação para chuveiro, de acordo com a figura 99, mas existe um pequeno detalhe que requer bastante atenção por parte do instalador para não cometer falhas durante sua instalação.

Figura 99: 02 modelos de kit chuveiro para instalação.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

A alimentação dos pontos hidráulicos da cozinha passa pelo kit chuveiro do banheiro social. O conector e tubo de água quente para o sub-ramal que atende o misturador do lavatório e misturador da cozinha neste caso tem DN 20, enquanto o conector e tubo de kits que atendem o sub-ramal do misturador de água quente apenas no lavatório, tem DN 16. Os kits são entregues pelo fornecedor com identificação para diferenciar esta situação como kit 01 e kit 02, mas é extremamente importante a atenção com esta questão na instalação do kit e fiscalização por parte da obra, a fim de evitar troca e futuros transtornos com pressão ou vazão de água quente nestes misturadores, inferiores ao previsto em projeto. Na figura 100, os dois conectores com uma diferença extremamente sutil. O conector e tubo superior tem DN 16, enquanto o conector e tubo inferior tem DN 20.

Figura 100: Conectores para extensão do sub-ramal de água quente.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

3.4.7.3. TUBOS PEX SOB LAJE

Conforme informações do projeto hidráulico, os tubos de alimentação da bancada dos banheiros e cozinhas passam por baixo da laje do pavimento. Os tubos do sistema de esgoto e alimentação de água fria e quente tem o mesmo caminhamento até o banheiro adjacente e nele são interligados, conforme figura 101, favorecendo o acabamento em forro ou sanca de gesso, em local único.

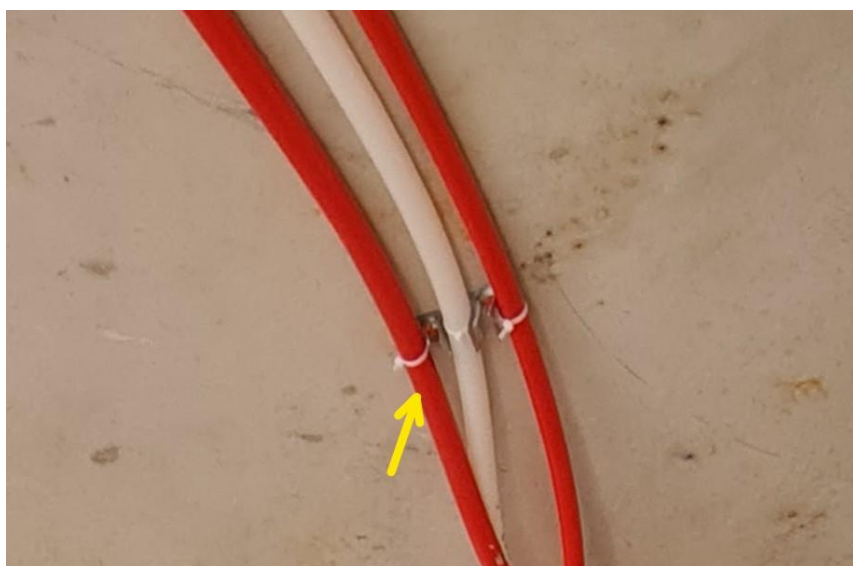
Figura 101: Tubos de alimentação e de esgoto da cozinha.



Fonte: Acervo do autor, 2023

As fixações foram feitas conforme indicações previstas do projeto hidráulico dentro das unidades, com um suporte metálico fixado na laje e abraçadeira de nylon para fixação do tubo PEX, de acordo com a figura 102.

Figura 102: Fixação em teto dos tubos PEX.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Na circulação, para minimizar a quantidade de fixação na laje e reduzir os riscos de perfuração dos eletrodutos embutidos no concreto, foi adotado um perfil metálico com dois chumbadores fixados na laje, para posterior fixação dos tubos PEX com abraçadeira de nylon no perfil metálico, conforme figura 103.

Figura 103: Fixação tubos PEX no teto da circulação.



Fonte: Acervo do autor, 2023

Na figura 104, o detalhe do tubo camisa, tubo PEX e tubo de esgoto da bancada da cozinha, visto por baixo da laje, antes da instalação da coifa de acabamento. Foi questionado ao Construtor sobre eventual comprometimento do desempenho acústico, mas até o presente momento, somente o acabamento com coifa de borracha estava previsto.

Figura 104: Tubo camisa visto por baixo da laje.



Fonte: Acervo do autor, 2023

A conexão dos tubos no teto do banheiro, vide figura 105, com as conexões metálicas e tubos identificados por cores, para atendimento do pavimento acima.

Figura 105: Sub-ramal em teto de banheiro.



Fonte: Acervo do autor, 2023

3.4.7.4. APRESENTAÇÃO TUBOS SOB BANCADA

O acabamento sob bancada para os tubos de esgoto e tubos PEX citado em projeto hidráulico, contém um chassi para acabamento, para posterior acabamento em carenagem ou *drywall*. Entretanto, para a vedação entre os tubos do sistema hidráulico e o tubo camisa, uma coifa de borracha será instalada. Esta coifa providencia o posicionamento dos tubos e por ser de borracha e flexível, oferece vedação entre os tubos e o tubo camisa, conforme figura 106.

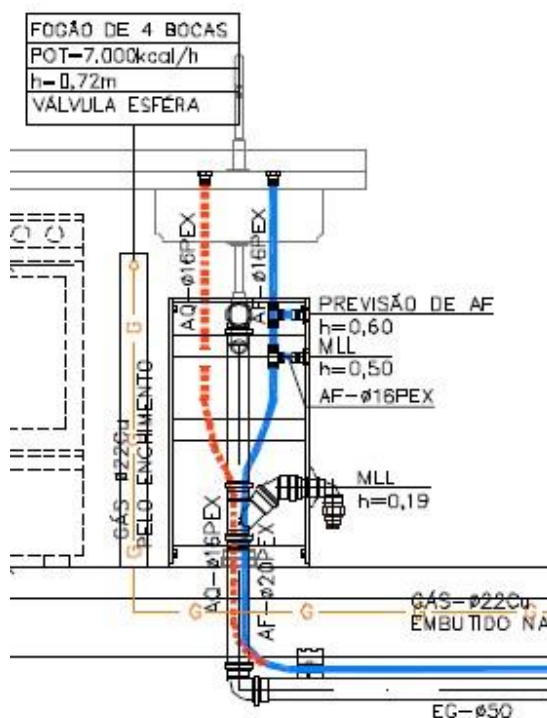
Figura 106: Situação real da coifa de acabamento sob bancada.



Fonte: Acervo do autor, 2023

O kit chassi sob bancada de cozinha conta com tubos de esgoto para a cuba e máquina de lavar louca (MLL), além de pontos de alimentação de água fria e água quente, conforme figura 107.

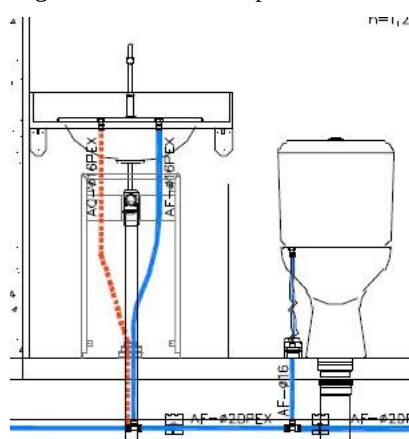
Figura 107: Kit chassi para bancada de cozinha.



Fonte: Detalhe de áreas molhadas, Projeto hidráulico, obra estudo de caso, 2023.

O kit chassi sob lavatório de banheiro conta com tubos de esgoto para a cuba e de pontos de alimentação de água fria e água quente, conforme figura 108. Para a bacia, é indicado o revestimento flexível para o tubo PEX, que é conectado na bacia diretamente a partir do ramal sob a laje.

Figura 108: Kit chassi para lavatório.



Fonte: Detalhe de áreas molhadas, Projeto Hidráulico, obra estudo de caso, 2023.

Os tubos PEX sob bancadas, devem ter comprimento compatível com a altura da bancada, para posteriormente receber o fechamento com conexões metálicas nas pontas, que

serão diretamente interligadas aos metais superiores de bancada, eliminando assim mais um elemento do sistema predial hidráulico, que é o engate flexível, de acordo com a figura 109. O projeto hidráulico não cita este comprimento, apenas indica o tubo PEX até a altura da bancada.

Figura 109: Conector metálico para conexão da torneira de bancada.



Fonte: Acervo do autor, 2023

Ao término das instalações, um teste de estanqueidade é executado em todo o sistema predial da unidade privativa pela instaladora, com fiscalização da equipe de engenharia da obra. O teste tem duração de uma hora com 150% da pressão de trabalho de projeto. Na obra estudo de caso, o teste é dividido em duas etapas, sendo uma na coluna principal de alimentação até o registro principal da unidade (que fica no *shaft* desta coluna) e outro teste do registro principal ao apartamento com todos os pontos de alimentação vedados com um plug de PVC roscável.

3.5. LIÇÕES APRENDIDAS

Baseado nas experiências adquiridas durante o desenvolvimento deste trabalho e principalmente estudo de caso, algumas medidas preventivas e de controle se mostraram importantes tanto para a etapa de projetos quanto execução da obra.

Para a etapa de projetos, as oportunidades de melhorias surgem desde uma definição em planta, com informações mais precisas em detalhes que parecem genéricos, para auxiliar numa decisão mais adequada para a situação da obra até a indicação equivocada de elementos importantes e cruciais para a aplicação correta do sistema previsto para a obra, ou até mesmo a ausência de indicação, que é mais grave.

O processo de construção convencional, com estrutura de concreto armado e alvenarias com blocos de vedação, pode até ser questionado em relação a produtividade se comparado com outros sistemas mais ágeis. Porém, na rotina de uma obra, uma série de passos e tarefas devem ser cumpridos todos os dias durante seu período de execução. A quantidade e capacidade da mão de obra tem sido suprimida ao longo dos últimos anos. Segundo o instalador de hidráulica contratado para a obra, tem tido dificuldade de manter equipe de qualidade e por longos períodos na empresa. Poucos são os profissionais que trabalham por anos seguidos desenvolvendo o aprendizado e execução, portanto, falhas de projeto podem não ser percebidas durante a execução e as reparações nem sempre são simples. Um exemplo, é a falta de indicação de um tubo luva entre ambientes distintos. Este é o tipo de falha que demandaria uma demolição intensa na estrutura executada, para continuar com o sistema previsto sem adição de forros ou sancas para solucionar mudanças na instalação de um trecho do sistema predial.

A obra estudo de caso contou com compatibilização de projetos, entre todas as disciplinas. Não foi identificado nenhuma falha grave como a ausência de elementos impossibilitando a passagem de tubos PEX entre ambientes ou falta de furos por exemplo, mas uma locação inadequada por falta de entendimento ou verificação das dimensões reais dos processos posteriores na região do *shaft* com uma caixa de espera, poderia resultar em trabalhos extras (e custos) para adequações, caso não fosse percebida em tempo pela equipe de obra.

Projetos em BIM (Building Information Modeling), muito provavelmente resolveriam questões deste tipo na etapa de projetos, mas assim como o sistema PEX pode ser uma inovação para uma construtora de pequeno ou médio porte, o processo de projetos em BIM pode estar ainda mais distante na lista de objetivos da empresa. Portanto, com o intuito de aprimorar o

processo de finalização de projetos para sua entrega e início da obra, uma lista de verificação pode ser uma opção bastante razoável:

- a. Lista de verificação dos tubos luva em todas as unidades, avaliando a quantidade de tubos de água fria e água quente que precisam estar conectadas entre os ambientes.
- b. Lista de verificação das posições de instalação das caixas de espera, considerando as dimensões reais de blocos, espessuras de revestimentos, espessuras de tubos, perfis para *drywall*, dimensões de conexões do sistema hidráulico, bem como os raios de curvatura dos tubos PEX.
- c. Detalhes específicos conforme o memorial descritivo do empreendimento. Na obra estudo de caso, algumas informações especialmente de acabamento sob as bancadas do sistema PEX, não estão registradas. Os detalhes em projeto hidráulico indicam chassis sob as bancadas, mas são detalhes genéricos sem medida. É importante que estas definições estejam especificadas em projeto, a fim de evitar futuros transtornos por incompatibilidade de medidas e posições. Esta tarefa nem sempre cabe somente ao projetista, o construtor também precisa fornecer algumas informações que permitam seu registro e inclusão.
- d. Caminhamento dos tubos luva e tubos PEX conforme situação real de execução. Os raios de curvatura do tubo luva e dos tubos PEX, parecem não ter sido observados na produção dos projetos. Pode ser que tenha sido uma representação genérica, mas que pode causar confusão na obra no momento de execução, seja por gerar a impressão de conduta negligente por não conseguir reproduzir o projeto em obra, ou induzir ao erro, para seguir exatamente a posição impressa em projeto.

Do ponto de vista da execução da obra, cuidados intensos com os elementos previstos durante a execução da estrutura. Mudar uma posição de furo em laje, abrir um pouco o diâmetro de um furo ou até fechá-lo, é uma tarefa relativamente simples de executar, mas passar um tubo luva ou abrir um furo numa viga, são itens na maioria das vezes, difíceis de reparar. Portanto, uma lista de verificação das instalações dos tubos luva e dos furos previstos em lajes e vigas, deve fazer parte do pacote de controle de execução da obra.

Na execução da laje, há uma etapa de marcação das posições de alvenarias com pintura nas chapas de madeira para auxiliar nas verificações das dimensões e posições de paredes e instalações futuras durante a obra. Após desenforma, esta pintura fica marcada no teto (face inferior do concreto). Adotar este procedimento para o processo de posicionamento de tubo luva na estrutura resultaria em garantia de padronização desta locação do tubo em laje, auxiliando a equipe de obra durante a execução de serviços como forro de gesso (fixações de teto), e uma indicação mais precisa no manual do proprietário é importante para evitar danos por furos durante reformas nas unidades.

A vedação da caixa de espera deve ser observada na etapa de concretagem, e tão logo quanto possível, verificar se o resultado está como esperado. Mais importante que corrigir uma situação de falha de execução em obra, é buscar garantir que ela não mais se repita. Um edifício de 24 pavimentos, necessitar de reparos em 1 pavimento, é uma tarefa complicada, mas em 24, torna-se uma missão que ninguém espera ter. Agir com prevenção, acompanhamento e controle, é uma meta a ser cumprida.

Na obra estudo de caso foi definido que os ramais aéreos entre a coluna principal e a entrada do apartamento, seriam executados sem emendas. É importante incluir este item de verificação em lista de verificação, para garantir que esta premissa seja atendida.

Para a etapa de marcação de alvenaria, verificar o preenchimento dos furos dos blocos para posterior fixação da estrutura para a vedação em *drywall*. Como o bloco utilizado foi o de vedação cerâmico, a quantidade e dimensão dos furos não favorece o total preenchimento em argamassa. Pode ser interessante avaliar o uso de um bloco de concreto, que proporcionaria um preenchimento facilitado, conforme figura 110. Como tem as mesmas dimensões do bloco cerâmico, não causaria nenhuma incompatibilidade na etapa de marcação e elevação de alvenaria.

Figura 110: Bloco de concreto para 1a fiada do *shaft*.



Fonte: Acervo do autor, 2011

Não houve indicação em projeto da altura dos tubos camisa a serem chumbados na laje. Esta informação foi uma definição dentro da obra. Sugerir medidas seguras, poderia otimizar os trabalhos da equipe, quanto a definição de processos.

Um ponto de atenção em relação aos tubos camisa, são quanto a impermeabilização ao seu redor e no rodapé. Por ser um local estreito, de dois a quatro centímetros afastado da parede, é um ponto de atenção para evitar falhas e retrabalhos com a etapa de impermeabilização.

Para a obra, ter todos os banheiros com as mesmas medidas, proporciona uma otimização na produção de kits de ramais em bancada para teste e posterior entrega no pavimento para instalação. Isto permite uma redução de perda de material, devido cortes incorretos, bem como velocidade de preparação, além de levar para o local de instalação, um kit testado previamente.

Adotar tubos PEX de cores específicas água fria e água quente, auxilia muito nas conexões adequadas em todos os ambientes.

Na obra estudo de caso foi observado que algumas fixações de tubos PEX tinham distanciamento superior ao indicado pelo fabricante. É importante verificar estas fixações, evitando movimentação irregular dos tubos durante o uso e operação das instalações.

Os kits chuveiro tem caixas e aparências extremamente semelhantes, com uma variação de 1 dos conectores. É importante que a obra inclua a verificação desta conexão na lista de controle, ou criar uma identificação mais simples nos kits. Esta identificação visual pode ser feita na obra, mas principalmente na fábrica do fornecedor, com um perfil colorido por exemplo, para fácil percepção pela equipe da obra.

Executar uma locação de tubos luva em lajes de maneira padronizada, auxilia na elaboração e credibilidade de informações em manual do proprietário, visando a redução de danos por falha de posicionamento previsto.

No quadro 04, um resumo das etapas que envolvem os processos de execução da estrutura até o término da instalação de acabamentos do sistema hidráulico em PEX.

Quadro 4: Macrofluxo atividades

Estrutura	Civil	Vedação e Hidráulica
• Escoramento • Forma • Marcações de instalações • Armação positiva • Tubos (Elétrica e Hidráulica) • Armação negativa • Concretagem • Desenforma • Verificação de obstruções em tubos embutidos em lajes	• Alvenarias • Protótipo • Validação • Tubos camisa em lajes • Impermeabilização • Contrapiso • Revestimento em argamassa paredes	• Estrutura <i>drywall</i> • Kit-chuveiro • Conexões e sub-ramais com coifas • Teste de estanqueidade • Chapas <i>drywall</i> • Revestimento cerâmico • Forro de gesso • Pintura • Chassis • Louças e metais • Acabamentos

Fonte: Autor, 2024

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o sistema PEX para sistemas prediais de água fria e água quente já se mostra conhecido e utilizado por grandes construtoras, ainda há espaço para implementação em muitas obras, especialmente parte das obras de construtoras de médio e pequeno porte.

O estudo de caso demonstrou que uma construtora com quase 30 anos e diversos empreendimentos realizados, iniciou esta implantação de sistema hidráulico depois de tantos anos com tecnologia disponível, e isto sugere que o conservadorismo e confiança somente nos processos já conhecidos são barreiras a serem superadas.

É compreensível que a busca por inovação para melhoria de processos não esteja na cultura de todas as empresas. Pela experiência do autor, algumas melhorias de produto em alguns projetos só foram adotadas por necessidade de atendimento a legislação e norma de desempenho, como por exemplo previsão de sistema de aquecimento solar e acessibilidade.

É necessário continuar a expansão da capacidade de projetar e construir, bem como de definição dos sistemas e características do empreendimento. Conhecer as possibilidades dos materiais e métodos disponíveis, proporciona ao projetista e construtor opções, de produto, processo, operação, manutenibilidade e durabilidade do empreendimento, itens que vão além de custo e prazo. Esta troca de informações entre as partes envolvidas em um projeto de empreendimento, são de extrema importância para a aplicação de tecnologias mais recentes.

A qualidade não pode se perder entre os pilares de um bom projeto, e a avaliação qualitativa deve abranger todas as etapas da concepção de produto e projeto de um empreendimento.

Como oportunidade de industrialização, agilidade no processo de instalação de tubos hidráulicos e redução de conexões, que tem forte vínculo com manifestações patológicas hidráulicas, o sistema PEX proporciona os seguintes benefícios, segundo o autor:

1. Versatilidade: a possibilidade de curvas do tubo PEX sem o uso de conexões, com possibilidade de instalações aparentes ou embutidas demonstrou ser uma solução adaptável às necessidades de projeto;
2. Segurança e agilidade na instalação: a utilização do sistema PEX com uma expressiva redução da quantidade de conexões, tem impacto positivo com produtividade e redução de possibilidade de falhas. Além da quantidade de conexões reduzidas, seu processo simples de conexão com anel deslizante proporciona uma vedação imediata atendendo

as pressões de trabalho deste tipo de projeto. De acordo com informações de um representante técnico comercial do fornecedor Barbi do Brasil, o sistema PEX oferece até 70% de redução na quantidade de conexões. Este dado foi obtido em um estudo de viabilidade de um empreendimento com 1.600 unidades em 2017, comparando com o sistema rígido em PVC + CPVC. Neste estudo, a redução no orçamento do item de hidráulica do empreendimento, foi de 11%.

3. Redução de mão de obra: segundo informações da empresa de instalações na obra estudo de caso em 2023, a adoção do sistema PEX permite uma redução de efetivo (e custo) entre 20% e 30% para o item de mão de obra de instalações hidráulicas.
4. Durabilidade: a durabilidade do sistema predial hidráulico previsto pelo fabricante adotado na obra estudo de caso para sistema PEX não apresenta nenhum prejuízo, se comparado aos demais sistemas rígidos disponíveis.
5. Desperdícios: o fornecimento do tubo PEX em rolo, permite uma redução do desperdício deste material, enquanto a inclusão do método de vedação em *drywall* em *shafts*, reduz a geração de resíduos com o corte e quebra de paredes para chumbamento de tubos hidráulicos.
6. Custos com materiais: os componentes do sistema PEX tem tido uma redução de custo nos últimos anos devido a nacionalização da sua fabricação. Segundo informações da empresa de instalações na obra estudo de caso, dependendo da configuração do empreendimento, a economia com materiais para o sistema predial de água fria e água quente em sistema PEX pode chegar a 15%.
7. Manutenibilidade: a solução de tubo PEX embutido em tubo luva, além de proporcionar proteção mecânica dos tubos hidráulicos, possibilita a troca de trechos de tubos PEX com grande redução de demolições, que ficam concentradas especialmente próximas aos pontos de consumo ou entre forro. A ausência de tubo hidráulico embutido e chumbado em parede, gera benefícios para a pesquisa e correção de manifestações patológicas hidráulicas.
8. Gerenciamento de mão de obra: com a possibilidade de redução de mão de obra, o treinamento e gerenciamento de equipe torna-se mais fácil, gerando benefícios para as rotinas de controle de execução.

Embora seja uma excelente solução para sistema predial hidráulico no empreendimento, o processo de execução e compatibilização de projetos e o processo de construção, demandam atenção e capacitação para um bom desempenho e durabilidade do empreendimento.

Projetos de produção detalhados, acompanhamento da execução, controle e verificação dos serviços realizados em obra e testes para liberação das instalações continuam necessários para garantir boas práticas de execução da obra. A retroalimentação dos resultados e dificuldades da etapa de execução da obra, devem ser observadas pelos projetistas e fornecedores de mão de obra, buscando o aprimoramento dos processos de projeto e construção.

Apesar de flexíveis, os tubos PEX não podem exceder sua capacidade de dobra para não gerar restrições hidráulicas de pressão ou vazão. A mão de obra precisa de capacitação e fiscalização para garantir as fixações das conexões e todas as interações com os sistemas de vedação ou impermeabilização por exemplo. É necessário garantir controle e fiscalização da execução para não gerar novos problemas com os novos elementos necessários para sua execução, como tubos passantes, tubo luva, coifas de acabamento, vedações em *drywall*, posicionamentos e fixação dos kits, por exemplo.

O estudo contribuiu, a partir das experiências demonstradas no estudo de caso do referido trabalho, tanto no acompanhamento da implantação e instalação do sistema PEX, como nas análises de projetos, para que construtores que tenham interesse em implantar esta solução utilizem esta fonte de pesquisa para auxílio em sua tomada de decisão.

5. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5626:2020, **Sistemas prediais de água fria e água quente** – Projeto, execução, operação e manutenção.

ABNT NBR 7198:2020, **Projeto e execução de instalações prediais de água quente** – Procedimento.

ABNT NBR 15939-1:2011, **Sistemas de tubulações plásticas para instalações de água quente e fria** – Polietileno Reticulado Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio.

ABNT NBR 15939-2:2011, **Sistemas de tubulações plásticas para instalações de água quente e fria** – Polietileno Reticulado Parte 2: Procedimentos para projeto.

ABNT NBR 15939-3:2011, **Sistemas de tubulações plásticas para instalações de água quente e fria** – Polietileno Reticulado Parte 3: Procedimentos para instalação.

AECWEB, c2023. **Construção Civil é líder em ações na Justiça do Trabalho**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/construcao-civil-e-lider-em-acoes-na-justica-do-trabalho/2922>. Acesso em 17 de dezembro de 2023.

AMANCO WAVIN, 2023. **Ficha técnica PPR**. Disponível em <https://eu-assets.contentstack.com/v3/assets/blt573fdbfcb1106c2a/blt76ad9317a8b44c28/651c67350156039c91e4d006/FTC000030_-_FT_PPR.pdf>. Acesso em 16 de dezembro de 2023.

BARBI DO BRASIL, 2016. **Catálogo Linha PEX**, 5ª edição, Disponível em: <<http://www.barbidobrasil.com.br/pdfs/linha-PEX-barbi.pdf>>. Acesso em 15 de abril de 2023.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 245 f. Dissertação (Mestrado de Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BOSCARRIOL, Roberto. **Patologias em sistemas prediais - Hidráulica**. Direcional. São Paulo, p. 1-1. 29 jun. 2013. Disponível em: <<https://www.direcionalcondominios.com.br/sindicos/roberto-boscarriol-jr/item/73patologias-em-sistemas-prediais-hidraulica.html>>. Acesso em 03 de dezembro de 2023.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. 6. Ed. São Paulo: Blucher, 2013.

COZZA, Eric. O que é PEX e como funciona para instalações hidráulicas? **AECweb**, 03 de março de 2022. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/academy/aec-responde/o-que-e-o-PEX-e-como-funciona-para-instalacoes-hidraulicas/23107>. Acesso em 28 de maio de 2023.

Design Guide – Residential PEX Water Supply Plumbing Systems, **Plastics Pipe Institute, Inc (PPI); Plastic Pipe and Fittings Association (PPFA); Partnership for Advancing Technology in Housing (PATH); NAHB Research Center**, 2006.

Disponível em: <https://www.huduser.gov/portal/publications/PEX_design_guide.pdf>. Acesso em 13 de agosto de 2023.

MERC KITS. **Projetos de instalações em PEX**, 2017. Disponível em <<https://www.merckits.com.br/br/produto/projetos-de-instalacoes-em-PEX/>>. Acesso em 15 de abril de 2023.

NAKAMURA, Juliana. Projeto de hidráulica deve facilitar manutenções posteriores. **AECweb**, 14 de outubro de 2022. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/projeto-de-hidraulica-deve-facilitar-manutencoes-posteriores/19530>. Acesso em 28 de maio de 2023.

PAULI, Dante Ragazzi. **O Saneamento no Brasil**, CETESB. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/11/1sabesp_saneamento_brasil_abes2011.pdf. Acesso em 29 de julho de 2023.

PERES, A.R.B. **Avaliação durante operação de sistemas de medição individualizada de água em edifícios residenciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

ROSA, Eduardo Garcia. **Obra à vista: do que os consumidores mais reclamam sobre construtoras?** Reclame Aqui, 10 de setembro de 2021. Disponível em: https://noticias.reclameaqui.com.br/noticias/obra-a-vista-do-que-os-consumidores-mais-reclamam-sobre-cons_4175/. Acesso em 16 de dezembro de 2023.

TIGRE, 2016. **Catálogo Água Fria Predial**. Disponível em: <https://tigresite.s3.amazonaws.com/2021/10/ct-agua-fria.pdf>. Acesso em 15 de abril de 2023.

TIGRE, 2023. **Catálogo Linha Água Quente**, Disponível em https://tigresite.s3.amazonaws.com/2021/12/tg-273-20_catagolo_agua_quente_20210622-baixa.pdf. Acesso em 15 de abril de 2023.

THÓRUS ENGENHARIA. **Quando vale a pena utilizar o tubo PEX no lugar do PVC**, Thorus Engenharia, 2021. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/quando-vale-a-pena-utilizar-o-tubo-PEX-no-lugar-do-pvc/>. Acesso em 02 de abril de 2023.