

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**VERIFICAÇÃO DE ROMPIMENTOS EM**  
**INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE –**  
**UM ESTUDO DE CASO**

**Raquel Cristina Teixeira de Oliveira**

**Belo Horizonte**  
**2014**

**VERIFICAÇÃO DE ROMPIMENTOS EM  
INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE –  
UM ESTUDO DE CASO**

**Raquel Cristina Teixeira de Oliveira**

**Raquel Cristina Teixeira de Oliveira**

**VERIFICAÇÃO DE ROMPIMENTOS EM  
INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE – UM  
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Modelagem Física e Matemática em Hidráulica

Orientador: Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez

Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Edna Maria de Faria Viana

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2014

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, luz inspiradora e meu guia.

Agradeço pela oportunidade de trabalhar junto com pessoas maravilhosas neste projeto, em especial à Professora Doutora Edna de Faria Viana e ao Professor Doutor Carlos Barreira Martinez: professores de excelência, grandes mestres para a vida e também amigos.

Agradeço aos meus pais, por me apoiarem sempre e, como pilares sólidos, me oferecerem segurança, estrutura e amor infinito.

Ao meu irmão Carlos, por sempre acreditar no meu trabalho e pelas ricas trocas de experiência.

Ao Fabrício, por continuar me fazendo acreditar nos sonhos, vivendo-os junto comigo, com leveza e alegria, meu eterno amor.

Agradeço a todos que me acompanharam neste período, familiares e amigos, que me incentivaram e contribuíram para a concretização deste projeto.

*“If I have seen further than others, it is by standing upon the shoulders of giants.” - Isaac Newton*

## RESUMO

Um dos problemas frequentemente encontrados nas instalações hidráulicas prediais está relacionado à manutenção da rede de tubos e conexões. Não é incomum que esses sistemas apresentem eventos de ruptura, que podem se agravar com o avanço da idade dos seus componentes. Esses eventos podem ser causados por desgaste, erosão, fadiga e até mesmo por fenômenos relacionados à dilatação térmica. Como resultados disso pode-se ter patologias dos mais diversos tipos, e até problemas estruturais nas edificações. A experiência tem mostrado que diversas instalações residenciais apresentam problemas de rupturas nas suas redes e que esses fenômenos são recursivos, tornando-se um ponto de desconforto e de atrito entre construtores, instaladores, fabricantes e o consumidor final. Para reduzir os esforços devido à dilatação térmica é comum que algumas instalações sejam equipadas com arranjos “tipo lira”. Essa pesquisa apresenta um estudo de caso de uma instalação predial que adota o material PPR, largamente utilizado atualmente, que apresentou rupturas e, em pesquisa de extensão, foram monitorados os parâmetros pressão e temperatura e calculados os esforços segundo as equações fornecidas pelo fabricante. A presente pesquisa visou complementar tal pesquisa de extensão e calcular os esforços segundo equações encontradas na literatura. Os resultados foram comparados entre si e foi verificada a validade dos cálculos efetuados. Dessa forma, nesta pesquisa objetivou-se analisar as relações entre parâmetros de temperatura e pressão da água com a ocorrência de falhas em instalações prediais, com ênfase em sistemas de água quente. Para o alcance dos cálculos segundo a literatura, foram calculados o Momento de Inércia, Módulo de Resistência Elástica, Módulo de Elasticidade, Deflexão Máxima na viga, Momento Fletor Máximo, Tensão Máxima de Compressão e Tensão Máxima de Tração.

Os resultados foram comparados com os cálculos realizados com dados fornecidos pelo fabricante e as conclusões demonstraram que: quanto maior a temperatura, maiores os esforços na tubulação; que os esforços calculados com os dados do fabricante apresentam diferenças com relação aos calculados com dados ensaiados; que as distâncias entre os apoios são inversamente proporcionais às forças/momentos/tensões as quais as conexões estão submetidas.

Ao final faz-se um conjunto de recomendações de forma a auxiliar os projetistas na escolha da topologia do sistema e das alternativas utilizadas para a fixação dos pontos de ancoragem e de apoio.

## ABSTRACT

A problem that usually is found on hydraulic installations is related to maintenance of pipes and connections. Normally, these systems present rupture events, which can increase over the years. Those events may turn into various pathologies, till structural problems of buildings. Generally they are linked to leakage, but they can also be caused by thermal expansion. Experience demonstrates that many building installations present rupture problems on their water networks and that those occurrences are recurrent, becoming an uncomfortable thing between the constructor, the installers, manufacturers and final consumer. To reduce the efforts due to thermal expansion is very usual to adopt a "lire kind" arrangement. This paper gives a case of a building installation, which the efforts were calculated by the manufacturer's equations and by literature equations. The results were compared with each other and the calculations validity checked. On the end were proposed a set of recommendations to help designers on the system's topology choice, and also the alternatives used to set the ties.

This research presents on a case study of a building installation adopting PPR material, widely used today, which showed ruptures, and in an extension research, efforts parameters pressure and temperature were monitored and calculated according to the equations provided by the manufacturer. The present study aimed to complement such an extent research efforts and calculating second parameters found in the literature. The results were compared and it was verified the validity of the calculations. Thus, this study aimed to analyze the relationship between temperature parameters and water pressure with the occurrence of failures in building installations, with emphasis on hot water systems. To achieve the calculations according to the literature, were calculated the Moment of Inertia, Elastic Resistance Modulus, Elastic Modulus, Maximum Deflection on the beam, Maximum Flexion Momentum, Maximum Compression Stress and Maximum Traction Stress. The results were compared with calculations based on data provided by the manufacturer and results showed that the higher the temperature, the greater effort on the pipe; that efforts calculated on the manufacturer's data differ with respect to the calculated tested data; that the distances between the supports are inversely proportional to the forces / moments / tensions which connections are submitted.

At the end are made up a set of recommendations to aid designers in the choice of system topology and alternatives used for fixing and anchoring points of support.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	14
2.1. Objetivo Geral .....	14
2.2. Objetivos Específicos .....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1. Instalações prediais.....	16
3.2. Materiais utilizados .....	23
3.3. Falhas mais comuns.....	25
3.4. Relevância do tema .....	27
3.5. Instalações prediais de água fria .....	29
3.6. Instalações prediais de água quente .....	33
3.6.1. Sistema Individual .....	34
3.6.2. Sistema Central Privado .....	36
3.6.3. Sistema Central Coletivo .....	38
3.7. Descrição dos materiais e sistemas atualmente existentes .....	40
3.7.1. Materiais Tradicionais .....	40
a. Ferro fundido.....	40
b. Cobre.....	43
c. PVC.....	44
3.7.2. Materiais Novos .....	45
a. PPR .....	45
b. PEX.....	47
c. CPVC.....	49
3.8. Descrição dos principais esforços:.....	50
3.8.1. Pressão .....	50
3.8.2. Temperatura .....	52
3.8.3. Tensões.....	53
3.9. Levantamento das principais falhas .....	57
3.10. Ensaios e metodologias para testes de tubos e conexões .....	63
3.11. Testes de laboratório em tubos e conexões .....	65
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	69
4.1 Estudo teórico sobre os esforços nas tubulações.....	69

4.2	Cálculo de esforços mecânicos .....	70
5.	INSTALAÇÃO HIDRÁULICA DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL – ESTUDO DE CASO....	79
5.1	- Descrição do estudo de caso.....	79
5.2	- Coleta de dados .....	81
6.	RESULTADOS DA PESQUISA .....	85
6.1	Comparação entre dados teóricos e resultado .....	85
6.2	Principais fatores que causam falhas no sistema.....	104
7.	CONCLUSÕES.....	106
8.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	110
9.	REFERÊNCIAS .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Bacias sanitárias do Império Romano Ref. Wikipédia.org acessado em 15 Nov. 2014 às 22h31minhs.....	16
Figura 2 – Casa de banho de uma vila próximo a Roma. Ref. COLUMBU, S., <i>ET al.</i> , 2014.....	17
Figura 3 – Chuveiro Elétrico fabricado por Vicente Busatto & Filhos Ltda., em Jundiaí, em 1927. Ref. Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo, apud Zoellner (2005). ....	22
Figura 4–Imagens de Cristais de Ferro Ref. CAETANO, 2014.....	24
Figura 5 – Estação redutora de pressão. Ref. ILHA e GONÇALVES, 2008. ....	33
Figura 6 – Aquecedor elétrico – sistema individual de aquecimento. Ref. ILHA <i>ET al.</i> , 2009. ....	34
Figura 7 - Aquecedor a gás combustível – sistema individual de aquecimento de consumo de ar interno. Ref. ILHA <i>ET al.</i> , 2009.....	35
Figura 8 - Aquecedor a gás combustível – sistema individual de aquecimento de consumo de ar externo Ref. ILHA <i>ET al.</i> , 2009.....	36
Figura 9 – Sistema Central Privado: aquecedor de passagem a gás combustível. Ref. ILHA <i>ET al.</i> , 2009. (adaptado).....	37
Figura 10 - Sistema Central Privado: aquecedor de acumulação a gás combustível. Ref. ILHA <i>ET al.</i> , 2009. (adaptado).....	37
Figura 11 – Sistema central coletivo – caldeira a gás combustível. Ref. ILHA <i>ET al.</i> , 2009.....	38
Figura 12 – Sistema central coletivo ascendente Ref. ILHA <i>ET al.</i> , 2009.....	39
Figura 13 - Sistema central coletivo descendente. Ref. ILHA <i>ET al.</i> , 2009. ....	39
Figura 14 - Sistema central coletivo misto. Ref.: ILHA <i>ET al.</i> , 2009.....	40
Figura 15 - Junta elástica. Ref. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE, 2004. ....	41
Figura 16 – Junta mecânica. Ref. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE, 2004. ..	42
Figura 17 – Junta com flange. Ref. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE, 2004.	42
Figura 18 - Junta elástica travada. Ref. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE, 2004. ....	43
Figura 19 – PVC Soldável (marrom) e PVC Roscável (branco) Ref.: TIGRE, 2008.....	45
Figura 20 – Tubo, conexão e aparelho termofusor de PPR (AMANCO, 2010).....	46
Figura 21 – Material do PEX Ref.: PEX do Brasil. Disponível em: <a href="http://www.pexdobrasil.com.br/">http://www.pexdobrasil.com.br/</a> . Acesso em 09 Set. 2014 .....	47
Figura 22- Sistema de PEX (TIGRE, 2009) .....	48
Figura 23 – Tubos e conexões de CPVC (TIGRE, 2011). ....	49
Figura 24 – Danos causados por cavitação em uma turbina Francis. Ref, Wikipédia.org. Acesso em: 21 Nov. 2014.....	51
Figura 25 – Ciclo de tensão e deformação Nayyar (2000) adaptado. ....	55
Figura 26 - Localização da ‘virilha de uma conexão “Tê” ou joelho. (SOLKEN, 2008). ....	56
Figura 27 - Vetor de representação da tensão no interior de joelhos 90° e “Tês”, (WORKMAN, 2011). ....	56
Figura 28 - Representação de bolsas de ar na tubulação. (WORKMAN, 2011) .....	57
Figura 29 - Origem das falhas em edificações em porcentagem. Adaptado de Ramos (2010). ....	60
Figura 30 – Bancada de testes de ruptura das conexões de PPR (FCO, 2010).....	67
Figura 31-Apoio Ponto Fixo, (AMANCO, 2010).....	73
Figura 32-Apoio ponto deslizante, (AMANCO, 2010). ....	73
Figura 33 – Configuração estrutural adotada para cálculo de conexões “Tê”. (AMANCO, 2010). ....	73
Figura 34 – Configuração estrutural tipo “cotovelo”. (AMANCO, 2010). ....	74

Figura 35 – Instalação predial do tipo descendente. Adaptado de (BAPTISTA, 2006) E CREDER (2006) apud Martinez <i>et al.</i> 2012 .....	80
Figura 36 – Planta de localização dos sensores de pressão e temperatura instalados no edifício. (FCO, 2010).....	80
Figura 37 - Detalhe dos pontos de tomada de pressão visto de uma janela de instalação. (FCO, 2010) .....	81
Figura 38 – Vista dos sensores de pressão (P) e de temperatura (T) já instalados em uma coluna de água quente do edifício. (FCO, 2010) .....	81

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre materiais (Valores e propriedades típicas) Ref.: Manual de Boas Práticas – ABPE 2013 (adaptado). .....	50
Tabela 2 - Patologias ou Inconformidades mais frequentes, adaptado de Gnipper (2007).....	62
Tabela 3 - Patologias ou Inconformidades recorrentes. (construção da autora) .....	62
Tabela 4 – Dimensões em milímetro de tubos de polipropileno copolímero random (PP-R). ABNT 15813-1 (2010).....	65
Tabela 5 - Força de ruptura para conexões “Tê” originais do prédio - 55°C, dois anos de uso (FCO, 2010). .....	66
Tabela 6 - Força de ruptura para conexões “Tê” novo - 55°C, três dias de soldagem (FCO, 2010).....	66
Tabela 7 - Força de ruptura para conexões “Tê” novo - 55°C, um dia de soldagem (FCO, 2010). .....	66
Tabela 8 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação calculados em ensaios e temperatura de 35°C. (FCO, 2010). .....	85
Tabela 9 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação AMANCO e temperatura de 35°C. (FCO, 2010) (adaptado).....	86
Tabela 10 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação calculados em ensaios e temperatura de 45°C. (FCO, 2010) (adaptado). .....	86
Tabela 11 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação AMANCO e temperatura de 45°C. (FCO, 2010) (adaptado).....	87
Tabela 12 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação calculados em ensaios e temperatura de 55°C. (FCO, 2010) (adaptado). .....	87
Tabela 13 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação AMANCO e temperatura de 55°C. (FCO, 2010) (adaptado).....	88
Tabela 14 - Tabela de cálculo do Momento de Inércia dos tubos .....	89
Tabela 15 - Tabela de cálculo do Módulo de elasticidade .....	89
Tabela 16 - Tabela de cálculo da distância da linha neutra à face comprimida / tracionada (y).....	89
Tabela 17 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis (Para 35°C).....	90
Tabela 18 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis AMANCO (Para 35°C).....	90
Tabela 19 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis (Para 45°C).....	91
Tabela 20 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis AMANCO (Para 45°C).....	91
Tabela 21 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis (Para 55°C).....	92
Tabela 22 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis AMANCO (Para 55°C).....	92
Tabela 23 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo (Para 35°C) .....	93
Tabela 24 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo AMANCO (Para 35°C).....	94
Tabela 25 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo (Para 45°C) .....	94
Tabela 26 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo AMANCO (Para 45°C).....	95
Tabela 27 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo (Para 55°C) .....	95
Tabela 28 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo AMANCO (Para 55°C).....	96
Tabela 29 - Tabela de cálculo de tensão de compressão/tração para a temperatura de 35°C .....	97
Tabela 30 - Tabela de cálculo de tensão de compressão/tração para a temperatura de 45°C .....	97

Tabela 31 - Tabela de cálculo de tensão de compressão/tração para a temperatura de 55°C .....	98
Tabela 32 - Tabela de cálculo de deflexão máxima calculada para a temperatura de 35°C .....	100
Tabela 33 - Tabela de cálculo de deflexão máxima calculada para a temperatura de 45°C .....	100
Tabela 34 - Tabela de cálculo de deflexão máxima calculada para a temperatura de 55°C .....	101

# 1. INTRODUÇÃO

A ruptura de tubulações de água quente, caso do edifício estudado nesta pesquisa e fato recorrente em obras prediais, gera transtornos dos mais diversos; desde gastos financeiros até perdas de bens, necessidade de reformas e disputas judiciais. Não bastasse o fato em si do problema gerado, e ainda, ocorre que esse tipo de problema de ruptura de tubulação de instalação de água pode acontecer nos mais recentes anos da vida de uma construção. Diversas são as possíveis origens das rupturas de tubulações de água quente, entretanto, curioso é a contradição referente à noção de que quanto mais fixada estiver a rede de tubulações, mais resistência ela terá, e é o que busca elucidar o trabalho.

Os sistemas prediais de água quente, que antes funcionavam basicamente com tubos de cobre, com a evolução tecnológica, hoje possuem uma gama de materiais disponíveis no mercado que podem trabalhar sobre altas pressões e temperaturas. Esses materiais, que serão apresentados ao avançar da pesquisa, possuem como base o PVC. São eles: o CPVC, o PPR, o PEX, dentre outros.

Nesta pesquisa o material usado no estudo de caso é o PPR, que possui como principais vantagens: baixa rugosidade, baixo custo se comparado ao cobre, facilidade de instalação, isolamento térmico, quando comparado ao cobre. As desvantagens estão relacionadas à mão de obra de instalação que deve ser especializada, ao alto coeficiente de dilatação térmica, formas de armazenagem e cuidados com a manutenção da rede.

A pesquisa tem como foco principal aprofundar os estudos relativos aos esforços em conexões “Tê” causados por dilatações térmicas, que podem ser maiores ou menores dependendo do posicionamento das braçadeiras, ou sistema de ancoragem. A motivação para tal se deu através da necessidade de investigação sobre possíveis causas dos constantes rompimentos das tubulações da rede de água quente do edifício do estudo de caso desta pesquisa.

Anteriormente a esta pesquisa, foi iniciado um trabalho de extensão de monitoramento e análises no edifício do estudo de caso em questão, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, pois todos os dados de monitoramento de pressão e temperatura foram disponibilizados, bem como ensaios dos coeficientes de dilatação térmica, para que se pudesse calcular os esforços aos quais a tubulação está submetida e comparando-

se os resultados entre: aqueles cujos dados usados de coeficiente de dilatação foram fornecidos pelo fabricante e aqueles cujos dados usados de coeficiente de dilatação foram ensaiados em laboratório.

Ao longo deste trabalho será mencionada a palavra “fabricante”- trata-se dos dados que foram obtidos nos manuais de especificações técnicas do material PPR fornecidos pela empresa AMANCO. O material das tubulações originais do edifício do estudo de caso é PPR fornecido pela AMANCO.

Pretende-se com esta pesquisa avançar nos estudos dos esforços atuantes nas conexões “Tê”, podendo-se dar orientações ao final, para fabricantes, instaladores, projetistas, construtores, com relação às condições de ‘contorno’ que favorecem ou desfavorecem a operação das instalações prediais e, conseqüentemente, a vida útil das mesmas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Para se entender a importância desta pesquisa deve-se ressaltar que são frequentes as patologias e falhas em sistemas de instalações prediais decorrentes de problemas relacionados com a temperatura e pressão da água. E para se identificar as reais causas das patologias, altos recursos financeiros estão envolvidos, demanda-se longo tempo de estudos e observações e a realização de ensaios, simulações e testes destrutivos e não destrutivos. Diante de tais exigências, o usual é buscar uma solução imediatista e de menor custo, o que pode gerar problemas futuros, por ser apenas um paliativo. O alcance de soluções para essas patologias é ainda mais complexo, pois a realidade mostra que não existe uma padronização para a solução desses problemas.

Dessa forma, embora exista uma tendência à maior recorrência de determinadas patologias, não se deve considerar, a princípio, que um mesmo problema ocorra sistematicamente em dois locais distintos.

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar as relações entre parâmetros de temperatura e pressão da água com a ocorrência de falhas em instalações prediais, com ênfase em sistemas de água quente.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Para atingir o objetivo geral, foi necessária a realização de cálculos de uma série de parâmetros estruturais, como forças atuantes nas conexões “Tê”, momentos, tensões; e também de ensaios das características físicas, como coeficiente de dilatação térmica para diversos diâmetros.

Através dos cálculos e ensaios mencionados acima, foi possível realizar os objetivos específicos, quais sejam:

Calcular os esforços a serem aplicados nas conexões de acordo com o equacionamento preconizado pelo fabricante: adotando o coeficiente de dilatação fornecido pelo fabricante;

Calcular os esforços a serem aplicados nas conexões de acordo com o equacionamento preconizado pelo fabricante: adotando o coeficiente de dilatação térmica obtido em ensaios de laboratório (realizados em pesquisa de extensão);

Calcular os esforços aplicados na tubulação a partir de equações tradicionais encontradas na literatura e quais os esforços que a tubulação (conexão “Tê”) vai suportar mediante as forças que serão aplicadas em função da topologia da rede;

Análise e conclusões: foi feita a comparação entre os dados obtidos com as equações fornecidas pelo fabricante, com o calculado analiticamente. Os resultados foram confrontados com um banco de dados obtidos em laboratório que mostra a capacidade do sistema de suportar os esforços aos quais as tubulações estão submetidas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Instalações prediais

Por meio de investigações arqueológicas sabe-se que, na Antiguidade, as instalações prediais não eram precárias, pelo contrário. Segundo Landi (1993) existe registros de banheiras para banho e vasos sanitários com caixa acoplada além de tubulações de esgoto com conexões do tipo “T” e “Y” no Império Romano. Através de escavações foram encontradas ruínas de sistemas que tem uma idade entre 3.000 a 6.000 anos atrás.

No Egito, por exemplo, foram encontrados tubos de cobre enterrados para a condução e retirada de água dos banheiros no palácio do Faraó, cada dormitório tinha associado o seu banheiro. Entretanto, apesar da grande capacidade de projeto e construção observados na antiguidade, deve-se ressaltar que ter banheiro e instalações hidráulicas era um privilégio, reservado aos reis, sacerdotes e corte.

Os Gregos e Romanos tinham os famosos banhos públicos, possuíam as termas, com banhos frios e quentes. As residências contavam com uma casa de banho com banheiras e a água quente era fornecida por tubos de chumbo ou bronze passando através de uma fornalha. Durante a antiguidade a bacia sanitária era essencialmente de pedra, com uma tina ou calha com água corrente embaixo. Os homens podiam exercer suas funções assentados devido a uma fenda, conforme figura 1.



Figura 1 – Bacias sanitárias do Império Romano Ref. Wikipédia.org acessado em 15 Nov. 2014 às 22h31minhs.

Ruínas localizadas nas redondezas de Roma, aproximadamente 25 km, mostram a existência de residências luxuosas, por volta do século II D.C., com casas de banho enormes e confortáveis, incluindo piscinas aquecidas. A casa de banho consistia em *hall* de entrada, quarto de se vestir, toaletes, piscinas e águas a diferentes temperaturas e alguns outros espaços projetados para necessidades específicas, conforme a casa de banho de uma vila próxima a Roma apresentada na figura 2 (COLUMBU *ET al.*, 2014).



Figura 2 – Casa de banho de uma vila próximo a Roma. Ref. COLUMBU, S., *ET al.*, 2014.

A prática de banhos como um luxo, para fins terapêuticos ou com propósito de higiene, provavelmente, teve origem nos países orientais, passando pela Grécia e por Roma, onde atingiram o máximo de ostentação no mais tarde império. Naquela época, muitas pessoas de posses tinham estabelecimentos completos de banho. (THE LANCET, 1912)

A prática de, ao tomar banho de sauna, passar óleo e fazer raspagem da pele após a prática de exercícios físicos, começou bem antes do período romano. Àquela época já se conheciam as saunas, com gases que aqueciam o ambiente. Pesquisas arqueológicas em um estabelecimento particular de uma vila sugerem que o número e a condição dos usuários de uma sauna de banho, com uma área aproximada de 6 m<sup>2</sup>, comportava o equivalente a um clube de *hugby* de 15 homens grandes, simultaneamente (ROOK, 1978).

Com o início da Idade Média houve um retrocesso cultural, inclusive dos conceitos de saúde e higiene. Os banhos públicos foram banidos, a higiene deixou de ser pública e passou a ser individual. Era comum se jogar os dejetos pela janela, com um grito de aviso. Os mais

abastados possuíam um penico ou artefato móvel onde faziam suas necessidades. Os problemas trazidos com a falta de higiene foram devastadores (LANDI, 1993).

No século XVIII, começaram a ser construídos edifícios de múltiplos andares, onde os apartamentos não possuíam vasos sanitários, e estes, localizavam-se no final dos corredores. Os dejetos eram recolhidos através de um tubo de queda e conduzia-os a um recipiente térreo. Com a expansão do sistema público de distribuição de água, novos vasos sanitários passaram a ser inventados, pois, com a “água corrente” foi possível pensar em um vaso que o fundo se abrisse para lançar a água com os dejetos em uma tubulação de esgoto e fechasse em seguida para receber mais água e voltar à condição de uso (LANDI, 1993).

A saúde era vista como uma responsabilidade individual, e, não de responsabilidade pública. A higiene e o cuidado pessoal foram pouco desenvolvidos no século XIX (GELLS, 2005).

Com a Revolução Industrial, um intenso processo de urbanização e evolução tecnológica trouxe mudanças nas instalações. Os sistemas de abastecimento público de água começaram a se estabelecer e os conceitos sobre a qualidade da água surgiram.

O século XIX foi marcado por grandes mudanças nas instalações prediais do ponto de vista sanitário. Durante a primeira metade deste século, praticamente não se usava o sifão como fecho hídrico para evitar o retorno de odores. E mesmo quando estes começaram a ser usados, não havia conhecimento dos fenômenos de sifonagem induzida ou pressão positiva, portanto, eles não eram ventilados. Os odores continuavam a atormentar os usuários. Nessa época alguns usaram até mesmo portas duplas nos sanitários para evitar os odores.

Os códigos de construções passaram a exigir que os construtores instalassem aparelhos sanitários nos edifícios. Surgiram diversos modelos de vasos sanitários, com caixa acoplada, sifão, em formato de cadeiras de madeira, etc. Os lavatórios também foram evoluindo aos poucos, de jarro e bacia, para móveis de adorno.

Posteriormente, os edifícios passaram a ter abastecimento de água com tubulações embutidas, então, as pias passaram a ser fixadas junto às paredes. O formato da bacia até hoje é de forma que a água escoe com certa lentidão, principalmente no final, para evitar problemas de auto-sifonagem. Neste século também houve o surgimento do chuveiro, pois até então, eram usadas, basicamente, banheiras. As banheiras das famílias mais abastadas eram construídas em pedra ou mármore; já das famílias mais populares eram em madeira. Para os banhos quentes, a água era aquecida e, posteriormente, levada às banheiras (LANDI, 1993).

Em 1880, Taelle, apud Landi (1993), fez recomendações criticando as instalações e sugerindo novos arranjos, como por exemplo:

- Não instalar vasos sanitários no centro da casa;
- Não correr com o coletor da casa por baixo de um quarto ou sala;
- Não ligar o ramal de descarga do lavatório ao tubo de queda do vaso sanitário para não haver retorno de odores;
- Não ligar o ladrão do nível superior da banheira ao tubo de descarga; ao ramal de descarga da banheira; ao ralo (não sifonado);
- Não ligar o ladrão da caixa d'água ao tubo de queda;
- Evitar que a cisterna de águas pluviais no subsolo se comunique com o sistema de esgoto que pode ser facilmente contaminado;
- Evitar a ligação do tubo de descida de águas pluviais que conduza os odores da cisterna para uma janela;
- Evitar que os coletores prediais sejam mal construídos, com juntas vazando, pouca inclinação e se conectando diretamente com o coletor público;

Em Amsterdã, por exemplo, havia muitos planos para criar o sistema de água encanada na primeira metade do século XIX, que devido a dificuldades financeiras, falharam. A cidade tinha como característica a escassez de água potável, o que tornava ainda mais caro o sistema de abastecimento – era preciso furar poços muito profundos, usar máquinas a vapor que produzissem pressão suficiente e infraestrutura de canalização para transportar a água para as cidades. Em 1851, foi possível um financiamento de investidores britânicos, com experiência em água encanada, escavação de poços e transporte de água através de uma tubulação de 20 km até Amsterdã. Os sistemas de água encanada surgiram como alternativa de abastecimento em 1853. (GEELS, 2006).

Geels (2006) comenta que, das cidades europeias, as cidades da Holanda foram as mais atrasadas na transição das questões de higiene, dos sistemas de esgoto (em 1893: na cidade de Haia e Amsterdã foi apenas em 1913). Outras cidades da Europa passaram por essa transição mais cedo, como: Hamburgo (1843), Berlim (1873), Munique (1880), dentre outras. Londres

terminou seu sistema de esgoto em 1865, Paris, em 1871, enquanto nos Estados Unidos o primeiro sistema integrado de esgoto foi construído em 1855, no Brooklin.

Na segunda metade do século XIX o fecho hídrico já era uma realidade. A construção de edifícios cada vez mais altos fez com que engenheiros procurassem entender os problemas de variação de pressão no interior de um tubo de queda. Em 1877, estabelecia-se que o tubo de queda deveria emergir na cobertura do edifício até 60 cm do telhado. Em 1886, Hellyer (apud LANDI, 1993) comenta sua experiência para um arranjo de seis vasos sanitários em um edifício de cinco andares, no qual usou um tubo de 88 mm e não notou problemas funcionais após alguns anos de operação. Comenta também que se assustou ao saber que a autoridade municipal não permitiria um diâmetro menor que 200 mm.

Após a Segunda Guerra Mundial, iniciou-se uma fase de intensas construções, e foram também divulgados resultados de pesquisas e experimentos que haviam sido feitos.

A princípio, essas tubulações de menor diâmetro, destinavam-se a edifícios baixos (de até cinco andares). Posteriormente, observou-se que com um tubo de queda de maior diâmetro, podia-se atender a edifícios mais altos. A partir de 1960 surgem sistemas especiais, nos quais o escoamento constituía basicamente de um tubo de queda com um dispositivo que tem uma função múltipla em cada andar. O escoamento da água pelo tubo de queda era desviado antes de cada conexão em cada andar evitando, dessa forma, que os ramais ficassem “afogados”, permitindo a aeração da água, limitando a velocidade do ar e da água no tubo de queda, equilibrando as pressões dinâmicas e hidrostáticas.

Foi somente no século XX que as publicações começaram a fazer referência aos critérios de dimensionamento hidráulico. Estes critérios durante muitos anos foram acessíveis somente aos engenheiros e instaladores. Pode-se dizer que na primeira metade do século XX houve a predominância dos métodos empíricos, e, apenas na segunda metade, iniciaram os métodos probabilísticos. Entretanto, ainda hoje os métodos empíricos continuam a ser empregados. (LANDI, 1993).

As pesquisas podem ser divididas em quatro fases:

- i) na primeira delas até 1917 (1ª Guerra Mundial) deu-se a continuidade ao desenvolvimento do século anterior onde as pesquisas de laboratório foram quase inexistentes e os conceitos mal formulados. Conceitos bem aceitos nessa época:

sifonagem e ventilação. Entretanto, a solução era dada por meio de experiência empírica o que levou a um exagero nas dimensões do projeto;

ii) Na segunda fase, de 1920 a 1940 (2ª Guerra Mundial), houve um grande crescimento das construções, os sistemas de água e esgoto foram impulsionados, e se estabeleceu o uso racional da água no interior dos edifícios. O aumento da produção e uso dos aparelhos estimulou essa racionalização. Nessa fase ocorreram novas pesquisas e modificações nos Códigos de Edificações a fim de reduzir problemas de contaminação da água. Foram introduzidos também sistemas de água quente com automatização dos aquecedores e as ideias de velocidade terminal foram estabelecidos por um conjunto de pesquisas para o dimensionamento dos tubos de quedas em edifícios altos. (LANDI, 1993);

iii) Logo após a Segunda Guerra Mundial, iniciou-se a terceira fase (1945 a 1972), pois a necessidade de reconstrução da Europa estimulou o desenvolvimento das instalações prediais através de estudos em laboratórios e em campo. Dessa forma, foram consolidados os Códigos de Edificações de diversas cidades e países. Os trabalhos de Wise e Croft (1954, apud LANDI,1993) foram importantes para regulamentação da correlação entre a inclinação do ramal de descarga e o comprimento máximo desse mesmo ramal até o tubo de queda. Foram sistematizados os conhecimentos de auto-sifonagem (fenômeno em que ocorre a redução do fecho hídrico de um sifão, geralmente ocasionada pelo escoamento do aparelho sanitário que está diretamente ligado a este sifão) nos sistemas de esgoto em edifícios, para medir frequências reais dos usos dos aparelhos sanitários e verificar se era possível reduzir os parâmetros de consumo e distribuição, propostos 20 anos antes por Hunter em NBS- *National Burealof Standards* (apud LANDI, 1993). Nos anos 60, em pesquisas com escoamentos em tubos de queda, foram estabelecidos os parâmetros de distribuição de pressões e arraste de descarga (LANDI, 1993);

iv) No início dos anos 70 iniciou-se a chamada quarta fase, onde foram estabelecidas as curvas de vazões de aparelhos sanitários. Modelos matemáticos de escoamento também foram consolidados. Em 1973 foram formalizados os pontos iniciais dos modelos matemáticos para o escoamento em tubos de queda, introduzindo as perdas de carga das conexões e tubos. Foram firmados também os conceitos de auto-sifonagem e escoamento de ar e água nos tubos de queda. Nos

anos 80 os computadores digitais estimularam os pesquisadores em propostas de CAD - *Computer Aided Design* (gerando automatização dos projetos, aumentando sua confiabilidade e reduzindo o trabalho dos desenhistas)- e uso de métodos probabilísticos mais representativos. Nos anos seguintes inicia-se a participação dos japoneses nessa área. A década de 80 caracteriza o início das modernas linhas de pesquisa, quais sejam: a formação dos modelos matemáticos para o escoamento em ramais de esgoto e tubos de queda; o emprego de CAD em instalações prediais; e estudos visando à economia de água (LANDI, 1993).

### **Instalações Prediais no Brasil**

Segundo Zoellner (2005) em 1914, no Brasil, os chuveiros pioneiros usavam um interruptor elétrico na parede do quarto de banho, que era acionado após o usuário abrir o registro de água e esta começar a verter. Em São Paulo, um dos precursores dos primeiros modelos de chuveiro elétrico, apresentado na figura 3, foi Vicente Busatto & Filhos.



Figura 3 – Chuveiro Elétrico fabricado por Vicente Busatto & Filhos Ltda., em Jundiaí, em 1927. Ref. Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo, apud Zoellner (2005).

Posteriormente, (décadas de 1920 e 1930) surgiram, no Brasil, alguns equipamentos providos com um sistema de alavanca, que servia para abrir a água, enquanto um botão separado ligava

a energia elétrica. Na década de 40 surgiu o sistema automático da resistência, acionada por um diafragma que se movia sob o efeito da pressão da água, acionava a energia elétrica, ou desligando-a quando o fluxo de água cessava (ZOELLNER, 2005).

Portanto, o século XX possibilitou, juntamente com a sua evolução tecnológica, não somente a incorporação do banheiro no edifício, mas também sua transformação em um ambiente de conforto e prestígio. Uma vez que o banheiro tornou-se um cômodo de grande utilidade e praticidade, ele também precisou, gradualmente, tornar-se compacto (ZOELLNER, 2005).

Não havia mais dúvidas em relação à necessidade de higienizar-se, ao contrário, este ato voltou a se tornar costume e mais, bem-estar. Entretanto, veio o século XXI e com ele, a urgente preocupação em economizar água. Dessa forma, novamente novos aparelhos estão surgindo, voltados agora para essa finalidade: poupar água.

### **3.2. Materiais utilizados**

Os materiais usados na Antiguidade para condutos forçados eram, principalmente, chumbo, cobre e, também, chumbo com revestimento interno de estanho. Esses materiais eram largamente usados devido às suas características de ductibilidade e trabalhabilidade. O ferro fundido também era usado, porém, para tubos maiores que 30 mm. A junção de dois tubos era feita com uma pequena abertura em um dos tubos, sendo neste feita com auxílio de cunhas de madeira, e o outro tubo era introduzido à pressão até 20 mm de profundidade. Essa junta era aquecida e preenchida com solda à base de chumbo e estanho. Muitas vezes, o acabamento final era feito pelas mãos dos próprios artesãos habilidosos, mas também podia ser feito com uma lima grossa (LANDI, 1993).

No século XIX disponibilizaram-se artefatos nos banheiros feitos de materiais nobres como o mármore, as louças e os metais. O sifão, por sua vez, era de chumbo. No final deste século uma importante inovação foram os vasos de pedestal, que passaram a ser construídos numa única peça de cerâmica; as banheiras passaram a ser em ferro fundido esmaltado (LANDI, 1993).

O cobre, por sua vez, usado desde a Antiguidade, permanece até os dias atuais nas instalações, isso se deve pelas suas características: i) durabilidade, pois podem durar muitos anos sem problemas de funcionamento; ii) flexibilidade, uma vez que é modelável, permite qualquer contorno ou ângulo e é de fácil instalação, e; iii) diversidade, já que possui muitas

conveniências para o uso hidráulico. Isso sem falar na sua resistência às pressões hidráulicas elevadas, à corrosão e altas temperaturas. Entretanto, é um material de custo mais elevado, requer mão-de-obra especializada para instalação, possui alto coeficiente de dilatação, necessitando, assim, de isolamento. O cobre é um produto reciclável.

O tubo de ferro fundido, já usado em Versalhes no século XVII para rede de água do rei Luiz XIV, apenas em 1943 revolucionou o cenário dos ferros fundidos através de um tratamento do metal líquido com magnésio, no qual a grafite deixa de se dispor em lamelas (ferro fundido ‘cinzento’) e passa a cristalizar sob a forma de esferas gerando, assim, o ferro fundido dúctil, conforme mostra figura 2. Foi na década de 60 que iniciou a fase de exploração industrial dessa alternativa. Este material é caracterizado pela sua grande resistência às altas temperaturas e pressões, além da grande estabilidade estrutural e resistência à corrosão (CAETANO, 2014).

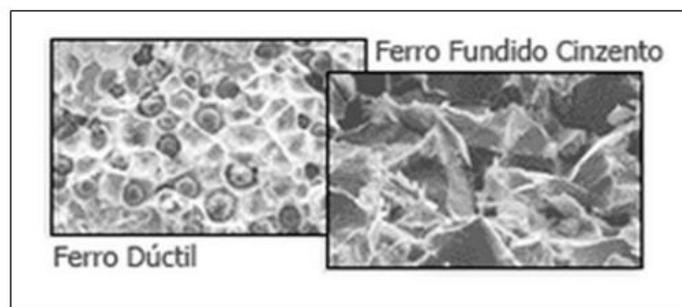


Figura 4—Imagens de Cristais de Ferro Ref. CAETANO, 2014.

Com o tempo e as inovações tecnológicas, os tubos de ferro fundido foram substituídos, em grande parte, por tubos de PVC (Policloreto de Vinila). O PVC, largamente utilizado em tubulações de água fria, esgotos, ácidos, álcalis e outros. O PVC é também um dos termoplásticos de maior uso industrial, possui resistência à temperatura até 20°C, segundo a NBR 7665. Semelhante ao PVC, o Policloreto de Vinila Clorado (CPVC) possui todas as propriedades inerentes ao PVC e adicionam-se a estas, a resistência à condução de líquidos sob pressões a altas temperaturas.

O composto do CPVC diferencia-se do PVC devido ao aumento de cloro em percentual (NUNES *ET al.*, 2006). Desde 1960 a utilização do CPVC ocorre na Europa e Estados Unidos, com histórico de grande aceitação desse material. Os tubos e conexões de CPVC têm principais aplicações em água quente e fluidos industriais, possuem também baixíssima

condutividade térmica, a menor perda de calor dentre os materiais usados em instalações prediais de água quente (AQUATHERM, 2011).

Também deve ser apresentado o Polipropileno Randômico (PPR), material desenvolvido na Alemanha, visando solução na condução de água quente e sob pressão. O desafio era acabar com vazamentos, corrosões e perdas de calor, que ocorriam nas tubulações convencionais (SUPER GREEN, 2010). O produto mais avançado deste material é o Polipropileno Copolímero Randôm tipo 3, que é uma resina de última geração e é o que existe de mais moderno em condução de água quente. Dessa forma, o PPR possibilitou não só os tubos resistentes à água quente e picos de temperatura superiores aos estabelecidos nas normas técnicas (NBRs) brasileiras, mas também, superou riscos de vazamentos nas uniões das tubulações, pois, quando termo fundido ocorre uma fusão molecular entre duas peças, sendo que este processo acontece a 260°C, resultando em uma conexão perfeita entre as duas partes, formando uma tubulação contínua, dispensando o uso de soldas, roscas, adesivos. (AMANCO, 2010). Além disso, pode-se dizer que é um material ecologicamente correto, uma vez que utiliza menos energia em sua fabricação. (SUPER GREEN, 2010).

Outro material que tem se destacado para utilização de água quente ou fria, é o Polietileno Reticulado (PEX). Esse material começou a ser utilizado recentemente para distribuição de água residencial no Brasil, embora já venha tendo uso desde a década de 70, na Europa. No Canadá e Estados Unidos ele é aprovado para abastecimento de água quente ou fria, bem como, para sistemas de aquecimento de água. O PEX é tido como mais seguro, resistente e durável, se comparado com outros materiais de plástico, isso se explica pela necessidade dos fabricantes do mesmo precisarem se adequar às normas técnicas, como especificações DIN (Norma de Controle de qualidade Alemã) ou UNE (Norma de Controle de Qualidade Espanhola). São realizados contínuos ensaios e análises das temperaturas usadas, em torno de 93°C ou 200°F. Também é requerido um conjunto de testes, quais sejam: i) de resistência ao cloro; ii) de controle de qualidade, e; de acompanhamento anual, assegurando que a tubulação suportará as condições mais agressivas do fluido transportado (*DESIGN GUIDE*, 2006).

### **3.3. Falhas mais comuns**

Segundo Gnipper (2007) a grande maioria dos problemas é geralmente decorrente de falhas ou omissões na fase de projetos dos sistemas prediais em questão. Este autor realizou um estudo com inspeção em 25 edifícios com análise da origem da patologia entre: i) projeto; ii)

execução; iii) uso indevido, e; iv) falha de fabricação. Foi realizado um questionário com os moradores, onde ficaram registradas a incidência e frequência de sintomas possivelmente associados a patologias nos sistemas prediais. Abaixo serão citadas apenas aquelas referentes às de água quente e fria consideradas mais recorrentes. A letra indicada em seguida da frase apontará se a patologia é originária da fase de projeto (P), execução (E) ou falha de fabricação do material (F).

- Adoção de central de redução de pressão com uma única válvula redutora de pressão e com registro de fechamento tipo gaveta ou esfera em ‘*by-pass*’; (P).
- Ausência de tubos de ventilação de colunas de distribuição de água fria que alimentam válvulas de descarga e misturadores de água fria e quente; (P).
- Ausência de amortecedores de vibração nas bases de apoio e saídas de bombas de recalque de água potável/pressurizadoras/de circulação de água quente; (P) e (E).
- Inexistência de válvulas de segurança à pressão em equipamentos geradores de água quente por acumulação, ou válvulas de segurança com saída não tubulada; (P), (E) e/ou (F).
- Conformação de sifão e ausência de tubo-respiro ou dispositivo eliminador de ar em colos altos de ramais de distribuição de água quente; (P).
- Ausência de registros de fechamento nas derivações de ramais de distribuição de água quente de ambientes sanitários e/ou jusante de aquecedores; (P).

Além destas, a experiência mostra que também são comuns as patologias seguintes:

- Condução de água quente com temperatura e pressão excessiva;
- Deformações em tubulações em PVC e PPR (Polipropileno Copolímero Random);
- Demora na chegada da água quente nos pontos de utilização;
- Efeitos da dilatação e contração térmica;
- Entupimento das tubulações pela presença de incrustações;
- Ocorrência de golpe de aríete;

- Perda de temperatura nas instalações de água quente;
- Problemas em válvulas redutoras de pressão;

Embora existam outras falhas e patologias em instalações prediais de água, as falhas citadas acima podem ser consideradas mais comuns e recorrentes, e as suas respectivas causas mais prováveis poderão ser discutidas em um momento conseqüente.

### **3.4. Relevância do tema**

Segundo Gnipper, 2007, uma edificação fica sujeita ao processo natural de obsolescência em seus sistemas prediais originais desde o início da sua ocupação e/ou utilização, e dentre as causas desses problemas podem ser citadas a manutenção deficiente ou irregular, falhas nos componentes, processos de desgaste ou envelhecimento natural dos materiais utilizados, etc. Os usuários, por sua vez, ficam sujeitos ao longo da vida útil da edificação às patologias e suas respectivas conseqüências. Nos casos mais comuns, são patologias que geram grandes aborrecimentos, desconforto e prejuízos econômicos, enquanto nos casos mais raros, pode culminar em riscos à vida, à saúde e à segurança, segundo o autor.

Nos últimos anos, mais precisamente, nas duas últimas décadas, a construção civil tem seguido uma trajetória de crescimento exponencial no Brasil, segundo Fochezatto (2011). Com o crescimento acelerado do setor da Construção Civil, é de se esperar que os cuidados, precauções e o tempo utilizado para projetos, planejamento e execução sejam reduzidos. Outro fator importante de se ressaltar é que nesse cenário de crescimento, é gerada uma escassez de mão de obra, o mercado necessita dar continuidade e andamento às obras e, por isso, geralmente, o tempo destinado a cada uma das atividades que envolvem a obra, é reduzido. Dessa forma, a incidência de problemas e patologias tende a aumentar.

Segundo Gnipper, 2007, ainda existem poucas pesquisas em âmbito mundial, e, particularmente no Brasil, sobre as causas de problemas patológicos nos sistemas prediais hidráulicos, muito possivelmente devido aos vultuosos recursos demandados, longo período de observação, ensaios, simulações, testes invasivos e/ou destrutivos em escala real em edificações existentes, etc., para que se obtenham dados consistentes.

É mister, portanto, a importância e o valor de estudos que contribuem para aprofundar o conhecimento adquirido até a atualidade relacionados com patologias em sistemas de instalações prediais.

No Brasil, segundo Conceição (2007), o ciclo de um empreendimento se encerra na entrega do mesmo, como se um empreendimento fosse composto apenas de fases da concepção, projeto e execução dos edifícios. Entretanto, ressalta que nos trabalhos pesquisados, um dos principais problemas detectados é a falta da política de manutenção das edificações, seja qual for o uso, desde edifícios públicos até os condomínios residenciais.

De acordo com Martins *ET al.* (2003), o estudo das falhas construtivas no campo da Engenharia começou a ser tratado de forma mais sistematizada, com base em princípios científicos, através da divulgação das ocorrências de patologias construtivas e seus reparos. Isso se deu após o novo Código Civil (Lei 10.406 de 2002), e já sob a vigência do Código de Defesa do Consumidor (Lei 8.087 de 1990). Se por um lado têm-se as inovações tecnológicas, por outro, a falta ou escassez de conhecimento para a aplicação de novos sistemas construtivos leva a problemas de ordem geral. Daí a importância do estudo das patologias construtivas, possibilitando a atuação preventiva, especialmente quando elas têm por causa falhas no processo de produção dos respectivos projetos de engenharia (GNIPPER, 2007).

Em termos numéricos, o Sinduscon-PA (2014) aponta que 75% das patologias da construção são decorrentes de problemas relacionados com as instalações prediais de água e esgoto.

Nesse sentido também, pesquisas realizadas pelo Secovi-SP (1998) apud Paliari (1999), indicaram que em um período de cinco anos de vida da edificação, as não conformidades correspondem a 2,87 % do custo total da obra. Nesse estudo, as instalações hidráulicas representaram 39,51 % do total de defeitos.

A grande questão é que na maioria das vezes as pessoas não dispõem de recursos financeiros, para averiguar a fundo um problema gerado pelas instalações. Sendo assim, elas procuram resolver o ‘problema’ superficialmente, da maneira mais fácil, qual seja a mais econômica, sem preocupar-se com a verdadeira origem do mesmo, o que culmina em novos problemas futuros.

Mas, infelizmente, o modo imediatista de enxergar tais problemas e patologias traz problemas maiores e que demandam mais recursos para uma solução futura. Alia-se a este fato, a questão de que não existe um padrão de solução de problemas nessa área. Embora, exista uma

tendência à maior recorrência de determinadas patologias, em geral, não se deve considerar, a princípio, que um mesmo problema ocorra sistematicamente em dois locais distintos. Cada edifício possui uma especificidade e uma particularidade.

### **3.5. Instalações prediais de água fria**

A captação de água para o sistema predial pode ser tanto da rede pública, quanto através de fontes particulares (poços). Por exemplo, quando a captação é feita da rede pública, podem ser considerados dois subsistemas prediais de água fria: o abastecimento e a distribuição (ILHA E GONÇALVES, 2008).

No abastecimento, é feita uma ligação predial que contém: ramal predial ou ramal externo (trecho compreendido entre a rede pública e o medidor); alimentador predial ou ramal interno de alimentação (trecho compreendido entre o hidrômetro e a primeira derivação, ou até a válvula de flutuador ou de “boia” na entrada de um reservatório). No caso de haver reservatório inferior, deve-se prever uma elevatória, com dois conjuntos moto-bomba, para o caso de um falhar ou ter que fazer manutenção (ILHA e GONÇALVES, 2008).

A distribuição possui os elementos que levam a água desde o reservatório ou desde a instalação elevatória (quando esta se faz necessária) até os pontos de consumo.

Existem duas classificações de sistemas: os diretos e os indiretos. Os sistemas diretos são quando a instalação é a própria rede de distribuição, ou seja, as peças de instalação do edifício estão ligadas diretamente aos elementos que constituem o abastecimento, e os indiretos, que são quando o abastecimento é feito com uso de reservatórios. Os sistemas diretos podem ser sem bombeamento, quando o sistema de abastecimento atende as condições necessárias para o desempenho da instalação (de pressão, vazão e continuidade); ou pode ser com bombeamento, dessa forma a água é recalçada diretamente do sistema de abastecimento até as peças de utilização (usada quando a rede pública não oferece pressão suficiente). Os sistemas indiretos, por sua vez, podem ser por gravidade ou hidropneumático quanto a sua pressurização. Por gravidade, é quando há um reservatório elevado, alimentado diretamente pela rede ou através de bombas, ou com uso de um reservatório inferior e bombas. O sistema indireto hidropneumático funciona através de um tanque de pressão contendo ar e água, e o escoamento na rede de distribuição é pressurizado através do mesmo. Este sistema pode ser

com ou sem bombeamento, ou ainda com bombeamento e reservatório inferior (ILHA e GONÇALVES, 2008).

Como vantagens do sistema direto podem ser citadas: dispensa de reservatório, economia de energia elétrica, menor carregamento estrutural e maior economia de espaço (REIS, 2007). Segundo Reali (2002), esse sistema também possui como vantagens a água de melhor qualidade devido à presença de cloro residual na rede de distribuição, maior pressão disponível, uma vez que a pressão mínima de projetos em redes de distribuição pública deve ser da ordem de 15 m.c.a.

Como desvantagens do sistema direto, pode-se citar: a paralisação no funcionamento quando da falta de água na rede pública já que não possui reserva, a necessidade de dispositivos anti-retorno para que a água não retorne e contamine a rede pública, necessidade de um aumento de reserva de água no sistema público, pois, demanda continuamente as vazões e pressões necessárias ao edifício. No caso ainda de uso de bombas, deve-se acrescentar que na falta de energia elétrica não há operação, a menos que tenha um sistema paralelo fornecedor de energia, exige manutenção periódica e ainda o gasto de energia elétrica (ILHA e GONÇALVES, 2008). Reali (2002) completa que como desvantagens têm-se ainda possíveis golpes de aríete e maior consumo, devido a maior pressão.

Como vantagens dos sistemas indiretos por gravidade, podem ser citadas: menor exposição da rede predial a falhas no sistema de rede pública, pois possui armazenamento de água para suprimento contínuo e minimização do risco de refluxo de água na rede de abastecimento. Mas, como desvantagens pode-se citar: maior carregamento estrutural e necessidade de manutenção periódica do reservatório, de 6 em 6 meses (REIS, 2007).

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1995) – “Instalação Predial de Água Fria” a escolha do tipo de sistema é livre, entretanto é recomendado verificar as condições da concessionária local.

No item 5.2.2.1 da supracitada norma, por exemplo, tem-se que:

“... A adoção do tipo direto para alguns pontos de utilização e do indireto para outros, explorando-se as vantagens de cada tipo...”.

Outra recomendação da citada NBR está no item 5.2.2.2:

“... Nos lugares onde a pressão disponível na rede pública é insuficiente... pode ser introduzido um equipamento para elevação da pressão da água (evidentemente sem utilização de reservatório), desde que haja autorização da concessionária...”.

O item 5.2.9.1 cita que:

“... O caso de instalação elevatória do tipo bombeamento direto da rede pública deve ser evitado porque provoca perturbações na pressão da rede pública...”.

Algumas limitações de pressões e velocidades devem ser feitas nas redes de distribuição do sistema predial de água fria, tendo em vista os problemas de ruído, corrosão e do golpe de aríete. A limitação de pressão estática máxima, em edifícios de grande altura, pode ser feita pelo uso de válvulas redutoras de pressão ou através da construção de reservatório intermediário (a primeira opção é a mais usada devido à sua facilidade e praticidade). Segundo Ilha e Gonçalves (2008), a válvula redutora é um dispositivo instalado nas redes de distribuição com o objetivo de introduzir uma grande perda de carga localizada, de forma a reduzir a pressão dinâmica à jusante desta, sendo totalmente ineficiente na condição estática.

A NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda que a velocidade da água, em qualquer trecho da tubulação, não atinja valores superiores a 3,0 m/s.

$V_{MÁX} = 3,0 \text{ m/s}$ ;  $V_{MÁX}$  é a velocidade máxima na tubulação

Para pressão a NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda os valores máximos e mínimos em qualquer ponto da rede.

- Pressão estática máxima = **400 kPa**      (**40 m.c.a.**)
- Pressão dinâmica mínima = **5 kPa**      (**0,5 m.c.a.**)

Observa-se, também, que a pressão dinâmica nos pontos de utilização, em qualquer caso, não deve ser inferior a 10 kPa, exceto para o ponto da caixa de descarga, que poderá atingir até um mínimo de 5 kPa, e do ponto de vista de válvula de descarga para bacia sanitária onde a pressão não deve ser inferior a 15 kPa.

Ainda, as sobrepressões devidas a transientes hidráulicos como, por exemplo, o provocado pelo fechamento da válvula de descarga, são admitidas, desde que não superem o valor de 200 kPa.

O sistema predial de água fria possui uma grande variedade de componentes empregados, mas os principais são tubos, conexões e válvulas.

Para os tubos e conexões serão citados aqui os mais comumente utilizados. Iniciando pelo material Cloreto de Polivinila (PVC Rígido) fabricados no Brasil de acordo com as especificações contidas na NBR 5648 (EB892), nas dimensões padronizadas pela NBR-5680

(PB277), nas séries soldável e roscável. No caso dos tubos soldáveis, a junta é do tipo ponta-e-bolsa lisa ou ponta e bolsa lisa e luva, executada com adesivo (solvente) especial a frio e por processo recomendado pelo fabricante; enquanto a junta roscável é feita com roscas externas (padrão BSP, NBR 6414) nas pontas e luva, cujos processos e materiais de vedação são recomendados pelo fabricante.

Outro material usado é o Aço Carbono, cujos tubos são galvanizados pelo processo de imersão a quente em zinco fundido, formando uma camada protetora aderente e de difícil remoção. Os tubos são fabricados a partir de chapas de aço ou lingotes de aço. Sendo de chapas, são dobrados e soldados, constituindo os chamados “tubos com costura”. Os “tubos sem costura” são fabricados por laminação ou extrusão. Os tubos comumente utilizados em sistemas prediais de água fria são de classe média, submetidos à pressão de teste de 5000 KPa (500 m.c.a.); são fabricados em barras de 6,00 metros de comprimento, rosqueados nas extremidades com roscas cônicas BSP e os diâmetros de referência variando de 1/2” até 5” (ILHA e GONÇALVES, 2008).

O cobre é também utilizado para tubos e conexões que são fabricados por extrusão e denominados “tubos sem costura”. No Brasil, devem ser produzidos de acordo com as especificações das normas: NBR 6318-tubos leves; NBR 7417- tubos extra leves; NBR 7542 – tubos médios e pesados; e obedecendo aos requisitos gerais estabelecidos na NBR 5020. Os tubos leves e extra leves são os mais empregados.

Para as válvulas, da mesma forma que nos tubos e conexões, serão citados aqui as principais válvulas empregadas no sistema predial de água fria. Iniciando pela válvula de gaveta, cuja função é permitir ou impedir o escoamento da água. Deve ser usada totalmente aberta ou totalmente fechada, caso seja usada na posição intermediária, pode comprometer o sistema por vibrações. A válvula globo é uma válvula que objetiva regular a vazão do fluxo de água. Este escoamento é por igual, sem provocar vibrações. Seu fechamento é mais rápido que nas válvulas de gaveta e possui alta perda de carga (ILHA e GONÇALVES, 2008). Também chamada de registro de pressão, a válvula globo é usada principalmente em torneiras, chuveiros e misturadores. A válvula de retenção, por sua vez, permite o escoamento em apenas uma direção, dessa forma, o seu fechamento é automático quando ocorrem diferenças de pressão no escoamento do líquido. É conveniente a instalação na tubulação de sucção de uma válvula de pé com crivo, para evitar a entrada de materiais estranhos e manter a tubulação de sucção sempre cheia de água (PORTO, 1998).

É importante falar também da válvula redutora de pressão, pois esta é usada em determinadas situações em que se faz necessário reduzir a pressão, evitando, assim, golpes de aríete, corrosão, ruído, etc. Ela é normalmente usada junto com dois manômetros, válvula de gaveta, filtro em “Y” junto à mesma e também um “*by-pass*” para casos de manutenção. O esquema típico de um sistema redutor de pressão pode ser observado na figura 5 (ILHA e GONÇALVES, 2008).

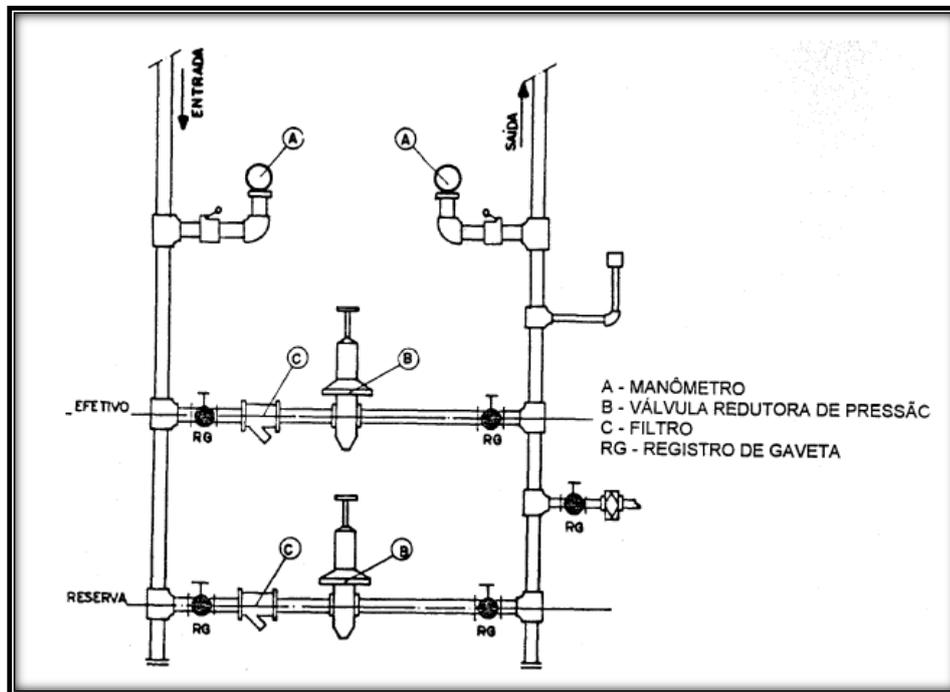


Figura 5 – Estação redutora de pressão. Ref. ILHA e GONÇALVES, 2008.

Por fim, a válvula boia que é responsável por interromper a entrada de água tanto em reservatórios como em caixas de descarga no momento em que o nível estabelecido de funcionamento for alcançado.

### 3.6. Instalações prediais de água quente

Os sistemas prediais de água quente podem ser divididos em três tipos: individual, central privado e central coletivo.

No primeiro caso, não há necessidade de uma rede de água quente, pois apenas um único ponto é alimentado.

No segundo caso, sistema central privado, é quando uma fonte aquece a água de uma rede de tubulações de uma unidade, como exemplo um apartamento.

O terceiro caso, de sistema de aquecimento central coletivo, é quando a fonte, ou equipamento gerador de água quente, conduz a mesma através de uma rede de tubulações até os pontos de utilização pertencentes a mais de uma unidade, como exemplo um edifício (ILHA *ET al.*, 2009).

Existem duas maneiras de se realizar a geração de água quente para sistemas prediais. Nas duas maneiras existe uma fonte geradora de energia que transforma a água numa determinada temperatura, com reservação ou não. Uma das maneiras é o modo direto de transferência de calor, onde a fonte geradora de energia atua diretamente no reservatório ou na serpentina que contém a água que se deseja elevar a temperatura. A outra maneira é o modo indireto, em que a fonte geradora de energia aquece um volume do fluido, que por condução transfere calor e eleva a temperatura da água de consumo (ILHA *ET al.* 2009). Veremos aqui os aparelhos de aquecimento direto.

### 3.6.1. Sistema Individual

No sistema individual de energia, usa-se basicamente o gás combustível e a eletricidade como fonte de energia. Neste último, a resistência é ligada automaticamente, por meio de um diafragma, pelo próprio fluxo d'água, conforme figura 6.

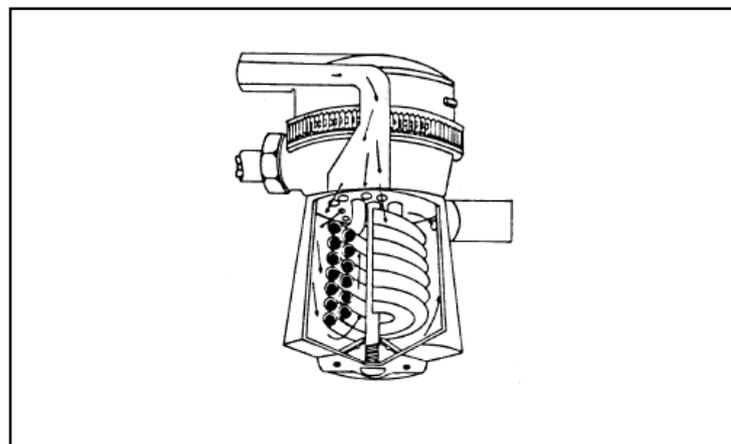


Figura 6 – Aquecedor elétrico – sistema individual de aquecimento. Ref. ILHA *ET al.*, 2009.

Nos aquecedores a gás combustível, o acionamento é feito quando da passagem do fluxo de água pelo sistema que ativa um sensor que liga um queimador através de uma chama piloto, sendo que o ar do ambiente é usado como comburente. Os aquecedores podem ser classificados quanto ao comburente utilizado em: i) aquecedores de fluxo balanceado, que utilizam como comburente o ar externo ao ambiente, e; ii) aquecedores com consumo de ar interno ao ambiente.

No caso dos aquecedores de fluxo balanceado, os produtos da queima também são destinados para o exterior, podendo, assim, ser instalados em qualquer ambiente, inclusive naqueles que a permanência de pessoas é prolongada (ILHA *ET al.* 2009).

As figuras 7 e 8 mostram dois tipos de aquecedores a gás combustível.

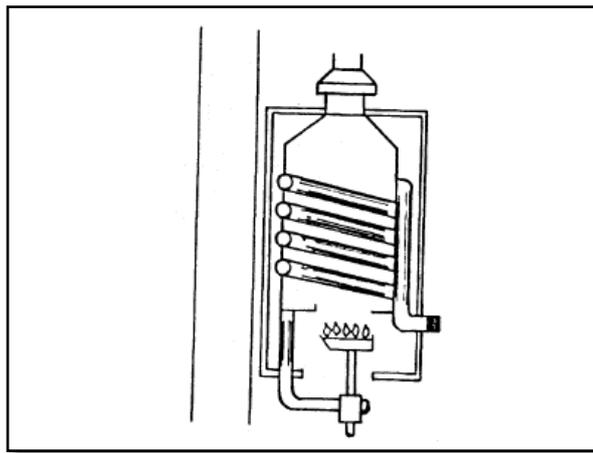


Figura 7 - Aquecedor a gás combustível – sistema individual de aquecimento de consumo de ar interno. Ref. ILHA *ET al.*, 2009.

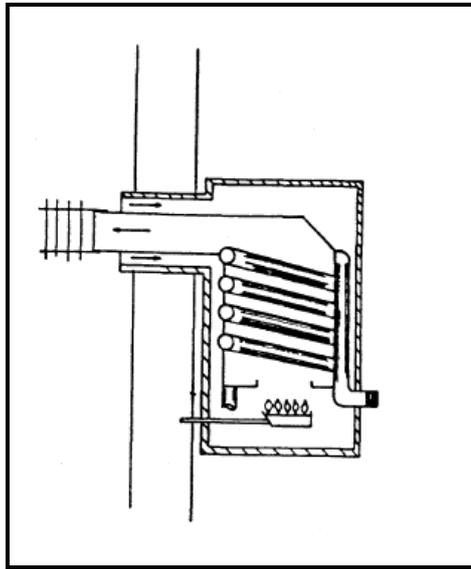


Figura 8 - Aquecedor a gás combustível – sistema individual de aquecimento de consumo de ar externo Ref. ILHA *ET al.*, 2009.

Nesses sistemas de aquecimento não se faz necessário uma rede de tubulações para distribuição, já que o equipamento gerador está situado no próprio ponto de consumo. (ILHA *ET al.*, 2009).

### 3.6.2. Sistema Central Privado

No sistema central privado, usa-se normalmente o gás combustível, a eletricidade, o óleo combustível, lenha e energia solar como fonte de energia. Os equipamentos de aquecimento à gás e à eletricidade podem ser classificados quanto ao seu funcionamento em aquecedores: i) instantâneos (ou de passagem), que não requerem reservação e à medida que a água passa pelo ponto de aquecimento ela vai sendo aquecida, e;

ii) de acumulação em que se reserva o volume de água a ser aquecida. As figuras 9 e 10 mostram dois sistemas centrais privados.

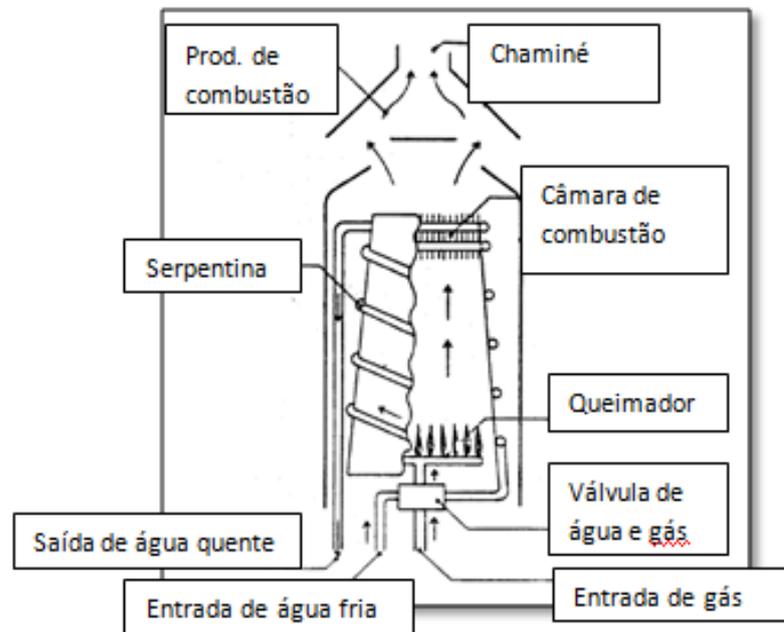


Figura 9 – Sistema Central Privado: aquecedor de passagem a gás combustível. Ref. ILHA *ET al.*, 2009. (adaptado)

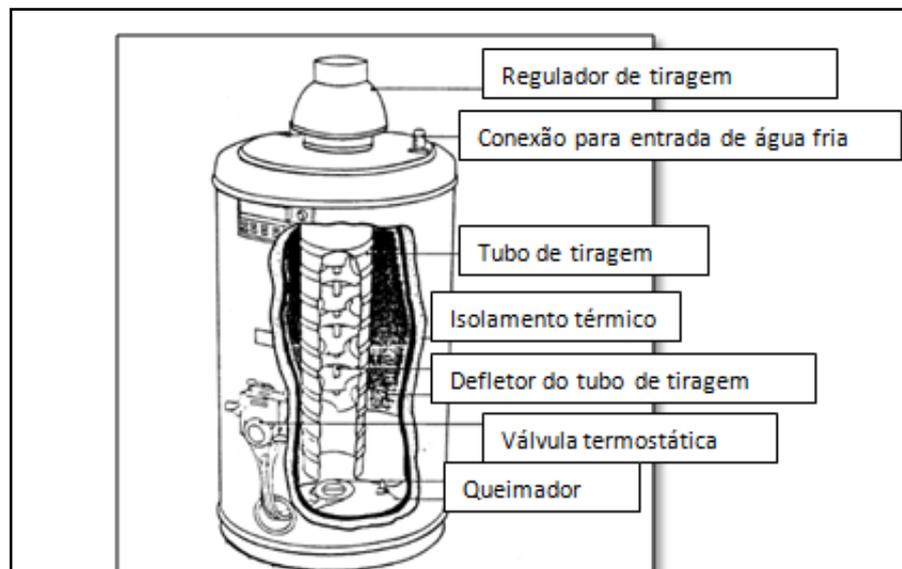


Figura 10 - Sistema Central Privado: aquecedor de acumulação a gás combustível. Ref. ILHA *ET al.*, 2009. (adaptado)

Segundo Ilha *ET al.* (2009), o abastecimento de água fria para o aquecedor deve ser feito através de uma coluna independente das demais do edifício. Deve-se prever um dispositivo que evite o retorno da água para a coluna de alimentação (como, por exemplo, o sifão térmico), bem como um dispositivo de exaustão dos gases nos aquecedores.

No caso do aquecedor de acumulação, a central de aquecimento pode ter um bloco único ou então um aquecedor separado do reservatório, no caso de haver disponibilidade de espaço (ILHA *ET al.*, 2009).

No sistema central privado, a distribuição de água quente é feita através de ramais que a levam para os pontos de utilização, independente do equipamento de aquecimento (instantâneo ou de acumulação). Segundo Benedicto (2009), neste sistema pode haver uma rede de recirculação de água quente que após alimentar os ambientes hidráulicos, retorna para o aquecedor.

### 3.6.3. Sistema Central Coletivo

Tendo em vista que este sistema abastece várias edificações habitacionais, ou vários setores de uma edificação, pressupõe-se a reservação do volume a ser aquecido, comumente chamado de caldeira. Existem caldeiras, ainda, que possibilitam a alternância da fonte energética a gás combustível e a eletricidade, por exemplo.

Segundo Ilha *ET al.* (2009), o abastecimento também deve ser feito por uma coluna exclusiva, uma vez que a vazão é alta. Geralmente é na parte inferior do edifício que o gerador é instalado, enquanto o reservatório fica na parte superior. Aqui também se pode ter o equipamento de fluxo balanceado. A figura 11 mostra um sistema central coletivo.

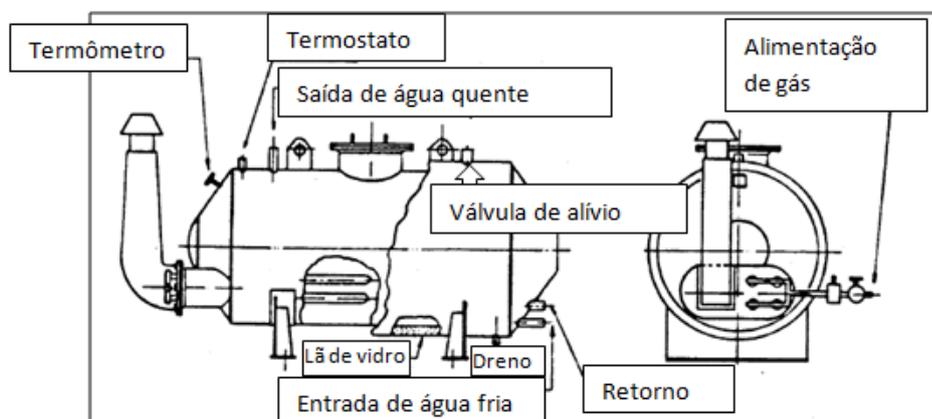


Figura 11 – Sistema central coletivo – caldeira a gás combustível. Ref. ILHA *ET al.*, 2009.

O sistema central coletivo pode ser classificado em ascendente, descendente e misto, no que diz respeito à distribuição. Na distribuição ascendente tem-se um barrilete inferior (figura 12); na descendente, um barrilete superior que alimenta as colunas (figura 13); e na mista existe a combinação dos tipos anteriores (figura 14) (ILHA *ET al.*, 2009).

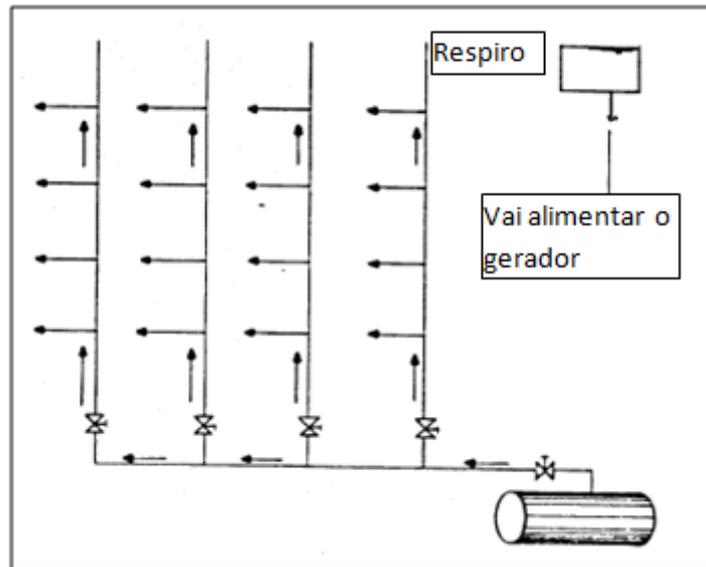


Figura 12 – Sistema central coletivo ascendente Ref. ILHA *ET al.*, 2009.

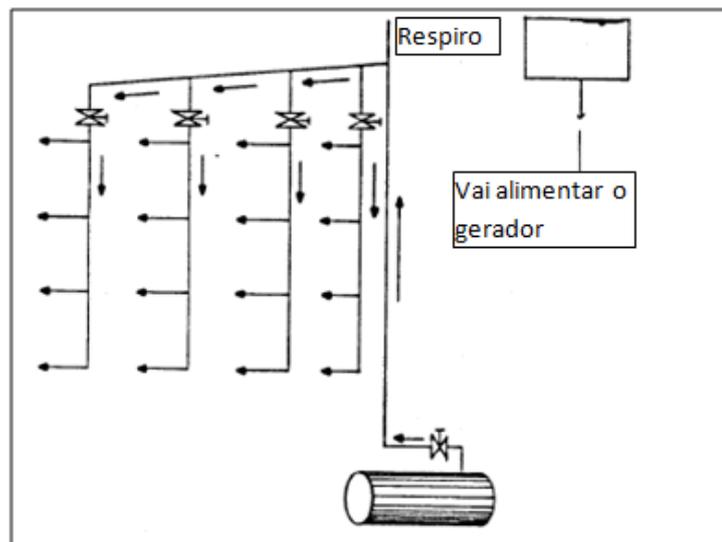


Figura 13 - Sistema central coletivo descendente. Ref. ILHA *ET al.*, 2009.

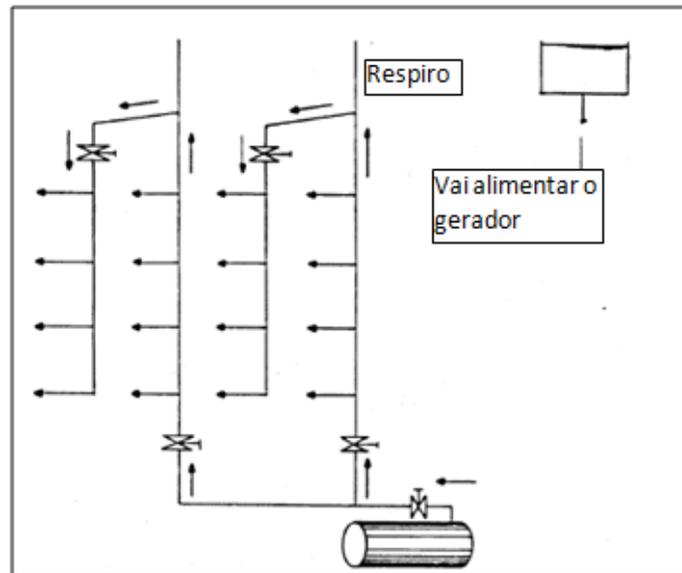


Figura 14 - Sistema central coletivo misto. Ref.: ILHA ET al., 2009.

### 3.7. Descrição dos materiais e sistemas atualmente existentes

#### 3.7.1. Materiais Tradicionais

Ao longo do tempo foram ocorrendo mudanças dos usos e dos materiais utilizados em instalações hidrossanitárias. Isso deu devido às evoluções tecnológicas, que permitiram tubulações mais leves, mais resistentes à corrosão, mais flexíveis e de custo acessível. Entretanto, alguns materiais que eram usados desde a antiguidade permaneceram até os dias de hoje, por exemplo, o ferro fundido e o cobre. Além destes, pode-se incluir no grupo dos materiais tradicionais também o PVC. Segundo Brandão (2010), em 1872 E. Baumann sintetizou o Policloreto de Vinila (PVC) e, depois, em 1912, Fritz Klatte descobre a base para a produção industrial do PVC. Desde então, o PVC vem sendo usado em instalações prediais de forma crescente.

#### a. Ferro fundido

O ferro fundido é um dos três produtos siderúrgicos que é classificado segundo o seu teor de carbono: o ferro contém até 0,10 %, o aço contém de 0,11 a 1,50% e o ferro fundido contém teor de 2,2 a 4,0%. Ele possui grande resistência à corrosão, é um material fácil de ser moldado e usinado. Tem boa resistência ao desgaste por atrito e possui alta capacidade de amortecimento de vibrações (CEHOP, 2004).

O ferro fundido dúctil, material com que são produzidas as conexões e tubos, conserva as características do ferro fundido cinzento, já mencionado anteriormente, ricos em grafita. Possui resistência à tração e a impactos, alto limite elástico e elevado coeficiente de dilatação longitudinal. São largamente usados em sistemas de abastecimento de água e esgoto, adutoras, emissários, instalações de estações de recalque, na indústria petroquímica, no transporte de gases, de ar comprimido, de matérias sólidas em suspensão, dentre outros (CEHOP, 2004).

Os tubos de ferro fundido dúctil são classificados conforme o tipo de junta que possuem: junta elástica, junta mecânica, junta com flanges e junta elástica travada. A junta elástica, por exemplo, é formada por um tubo de ponta e outro de bolsa contígua ou por conexão de anel de borracha, que é alojado na entrada da bolsa, conforme mostrado na figura 15 (CEHOP, 2004).

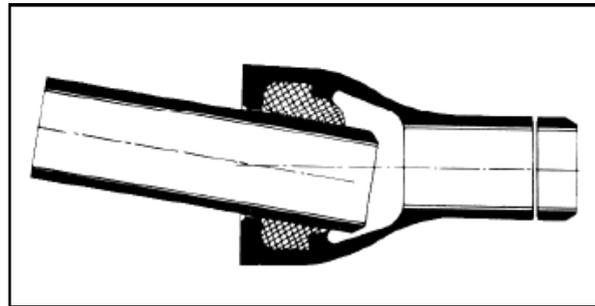


Figura 15 - Junta elástica. Ref. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE, 2004.

Quando a ponta do tubo é introduzida, o anel desliza num certo espaço no interior da bolsa, limitado por um batente circular que impede o deslocamento do anel até o interior da bolsa. A junta elástica tem como vantagens a facilidade de montagem, com o uso de um único acessório, que é o anel de borracha; a mobilidade, permitindo dilatações e deflexões reduzindo o uso de conexões; estanqueidade com a forte compressão radial do anel de borracha.

Nas juntas mecânicas para conexões de ferro fundido dúctil faz-se a ligação entre a bolsa de uma conexão e a ponta de um tubo (ou outra conexão). O flange da bolsa é apertado pelo contraflange, comprimindo o anel de borracha, garantindo a estanqueidade da junta mecânica. Esse aperto é feito com porcas e parafusos, conforme mostrado na figura 16. (CEHOP, 2004).

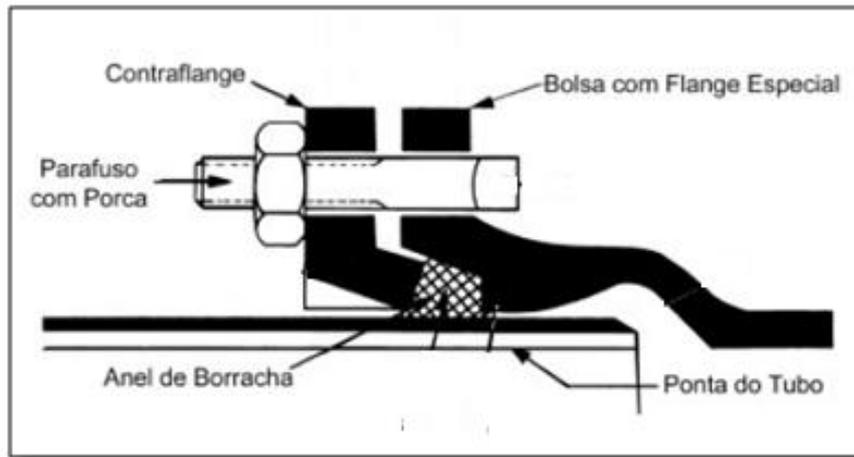


Figura 16 – Junta mecânica. Ref. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE, 2004.

A junta mecânica é recomendada, segundo a CEHOP (Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE), para canalizações de diâmetros médios e grandes, devido à facilidade e rapidez de montagem. Tem a vantagem de possibilitar o desmonte e reaproveitamento de material. As juntas com flanges são juntas rígidas, que possibilitam a desmontagem da tubulação. Possuem dois flanges e uma arruela que se interpõe aos mesmos e é comprimida pelo aperto dos parafusos com porcas, garantindo a estanqueidade. A figura 17 apresenta essa junta. (CEHOP, 2004).

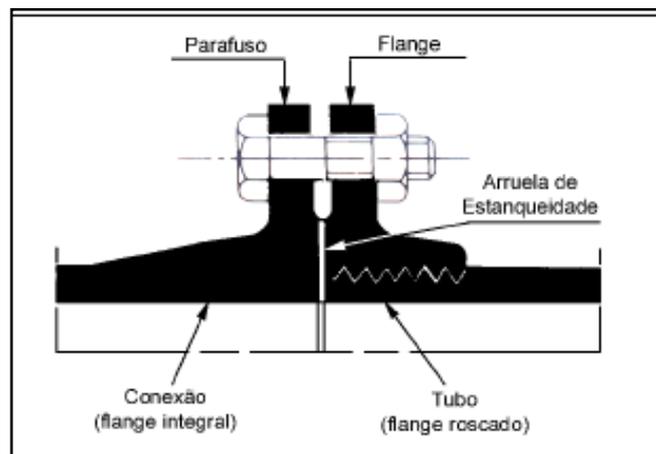


Figura 17 – Junta com flange. Ref. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE, 2004.

São muito usadas em tubulações de recalque, em captações e tomadas d'água, em barriletes, dentre outros. Como vantagens, pode-se citar a facilidade e precisão de montagem e desmontagem, e a dispensa do uso de ancoragens. As juntas elásticas travadas, como podem

ser observadas na figura 18, são constituídas basicamente uma junta elástica normal, cujo travamento é feito por um cordão de solda, um anel de trava partido que se apoia no cordão de solda, um contraflange de bloqueio de ferro dúctil, parafusos e porcas de ferro dúctil e um ressalto em volta da bolsa para a retenção dos parafusos do contraflange (CEHOP, 2004).

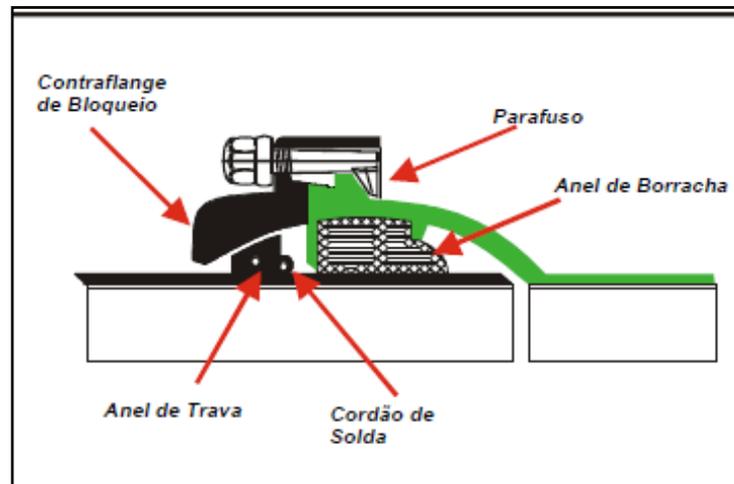


Figura 18 - Junta elástica travada. Ref. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas – SE, 2004.

## b. Cobre

O cobre, usado desde a antiguidade para abastecimento humano, pode ser usado para água fria, quente e tubulações de incêndio. Possui como principais características a rigidez, alta densidade, alta condutibilidade térmica, baixo coeficiente de dilatação, baixa rugosidade e alta resistência ao desgaste. Como vantagens pode-se citar a boa resistência a produtos químicos, ao choque e a temperaturas bastante elevadas, baixíssima dilatação, alta durabilidade, facilidade de instalação, boa resistência à corrosão, baixas perdas de cargas contínuas. Como desvantagens pode-se citar a alta perda de cargas localizadas, dificuldade de manuseio e baixa capacidade de retenção de calor. (PROCOBRE, 2006).

Embora hoje já existam materiais de naturezas poliméricas que resistem a altas temperaturas e pressões, o cobre não deixou de ser utilizado. Ao contrário do que muitos ainda pensam o cobre não traz prejuízos à saúde. Segundo o manual de instalações elétricas do (PROCOBRE, 2006), o nível recomendado pela Organização Mundial de Saúde para água potável é de 2 miligramas por litro, logo, além de trazer benefícios à saúde, o cobre tem propriedades bactericidas, consegue diminuir de maneira considerável as bactérias carregadas pela água, quando usado na tubulação.

Tubulações de incêndio são muito propícias ao uso do cobre, devido à sua resistência à corrosão, rapidez de instalação, altas durabilidade e resistência a pressões. Também segundo o manual de instalações elétricas do (PROCOBRE, 2006), ele não produz fumaça nem gases tóxicos em caso de incêndio.

Nascimento *ET al.* (2005), reforçam a necessidade de manutenções necessárias nas tubulações de cobre, não apenas devido à ocorrência de vazamentos, mas também por conta de corrosão. Segundo os autores, todo metal sobre o aspecto físico-químico, exceto o ouro, tendem a sofrer corrosão em meio aquoso e alguns fatores são fundamentais no controle do processo de corrosão, como: ph, dureza da água, concentração de eletrólitos, contaminações vindas de resíduos lubrificantes e processos de conformação mecânica. Variáveis que também são influentes na formação de corrosão são: fontes de fornecimento de água, sazonalidade da sua composição química, velocidade e pressão na tubulação, cavitação, etc.

Segundo o manual do (PROCOBRE, 2006), aquecedores de passagem não devem utilizar outro material nas tubulações e conexões que não seja o cobre, por questão de segurança aos usuários, uma vez que o cobre possui resistência a elevadas temperaturas sem sofrer rompimentos, deformações ou estrangulamentos. Nos aquecedores de acumulação, o citado manual indica que a parte interna dos reservatórios deve ser coberta por cobre, alegando maior durabilidade e ação bactericida.

### c. PVC

O PVC é um dos materiais mais comumente usados em tubulações. Possui características que o permitem usar em uma larga quantidade de produtos. Como principais características pode-se citar rigidez, baixa densidade, elevado coeficiente de dilatação, baixa rugosidade, baixa condutibilidade térmica, boa resistência ao desgaste. Tem como vantagens facilidade de instalação e execução das ligações, boa resistência a produtos químicos, elevada resistência à oxidação, perdas de cargas contínuas pequenas, boa capacidade de retenção do calor e baixo custo. Como desvantagens pode-se citar a baixa resistência a temperaturas elevadas (não pode ser usado em abastecimento de água quente) e ao choque, alto coeficiente de dilatação e baixa resistência mecânica. (BRANDÃO, 2010).

Dentro do grupo PVC, existe a linha roscável e a linha soldável, apresentados na figura 19. O sistema soldável utiliza de adesivo (solvente) próprio para ‘soldar’ as juntas dos tubos e das conexões. Na prática, lixa-se a ponta do tubo e o interior da conexão (até desaparecer o brilho da superfície) e após, usa-se uma solução limpadora para limpar a superfície, aplica-se a cola

(solvente) em ambos (tubo e conexão) e aplica-se uma leve torção para fazer a união entre eles. Finalmente, retira-se o excesso de adesivo (solvente) com outro pano.

O sistema roscável, por sua vez, utiliza uma tarraxa para abertura da rosca e fitas veda-rosca como elemento de vedação. É importante não se utilizar uma quantidade excessiva de fita nem apertar excessivamente o sistema, caso contrário, a conexão pode se quebrar. Uma má prática, que deve ser evitada, é o uso de adesivo (solvente) para PVC soldável nas roscas (TIGRE, 2008).



Figura 19 – PVC Soldável (marrom) e PVC Roscável (branco) Ref.: TIGRE, 2008.

### 3.7.2. Materiais Novos

#### a. PPR

O Polipropileno Copolímero Randômico, ou PPR, é um polipropileno que é uma resina poliolefínica que tem como principal componente o petróleo, que sofre processos químicos complexos com ruptura de cadeias moleculares, gerando o PPR, que por sua vez é a última geração de copolímero, e recebe o nome de randômico, pois suas unidades químicas não seguem qualquer sequenciação.

Esta matéria prima foi desenvolvida pelos Europeus em 1954, segundo o manual da Amanco, 2010. De acordo com o mesmo, o polipropileno não é classificado como material perigoso segundo a norma NBR-10004 (Classificação de Resíduos Sólidos) e também segundo a ONU. Ele pode ser reciclado e é quimicamente pouco reativo, reconhecido, em geral, como inerte biologicamente. O polipropileno não é considerado tóxico por nenhuma legislação.

É um material que suporta altas temperaturas e pressões, com grande durabilidade, livre de toxicidade e corrosão, sem incrustações (é eletricamente isolante, evitando as atrações dos sais presentes no meio), com baixa rugosidade (rugosidade absoluta de 0,007mm); dessa forma, é recomendado para instalações prediais de águas quente e fria sob pressão, por longos períodos de tempo (AMANCO, 2010).

Além das características citadas acima, o PPR não apresenta união de tubos, mas sim fusão entre os mesmos, formando uma tubulação praticamente contínua. O PPR vem, portanto, ganhando cada vez mais espaço no mercado de instalações prediais.

Para fazer a termo fusão, utiliza-se de um aparelho termofusor, que aquece a ponta do tubo, bem como o interior da conexão. Dessa forma, acontece a formação de um elemento único, reduzindo enormemente o risco de vazamento. A figura 20 apresenta os tubos (a), conexão tipo cotovelo (b) e aparelho termofusor de PPR (c).

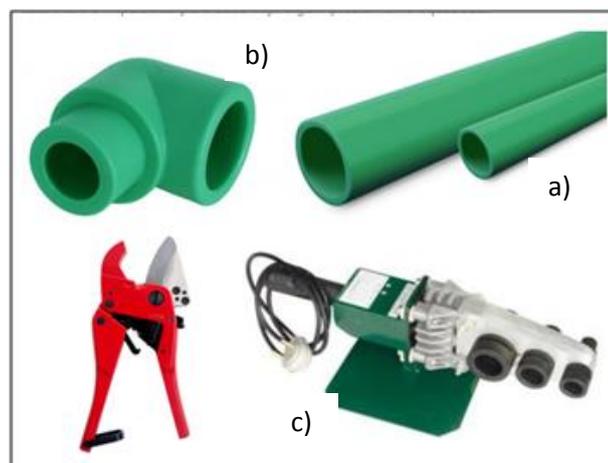


Figura 20 – Tubo, conexão e aparelho termofusor de PPR (AMANCO, 2010).

No caso da tubulação de PPR a maior dilatação verificada, segundo o manual da Amanco, é a linear, em que a variação do comprimento do tubo em PPR pode ser calculada por:

$$\Delta L = \Delta T \cdot L \cdot \alpha \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$\Delta L$  = variação do comprimento da tubulação

$\Delta T$  = diferença entre a temperatura no momento da instalação (temperatura ambiente) e a temperatura em fase do exercício (temperatura de serviço) (°C)

$L$  = Comprimento da tubulação (m)

$\alpha$  = Coeficiente de dilatação linear do material (mm/m°C)

## b. PEX

O Polietileno Reticulado, ou PEX, é um material cuja principal característica é a sua flexibilidade. O sistema do PEX é do tipo de bobinas, com tubos que ficam ligados a um módulo distribuidor, usado tanto para água fria quanto para água quente.

Os sistemas de PEX possuem reduzido número de conexões, uma vez que o tubo (que é tipo mangueira) é maleável, permitindo curvas. É um material derivado do polietileno reforçado com ligações cruzadas. Estas ligações cruzadas fazem do PEX um material muito mais forte que seu material de origem. Este material é hoje, regulamentado, não apenas pela ISO 15875, mas também pela NBR 15939 (2011). A figura 21 apresenta a estrutura do material PEX.

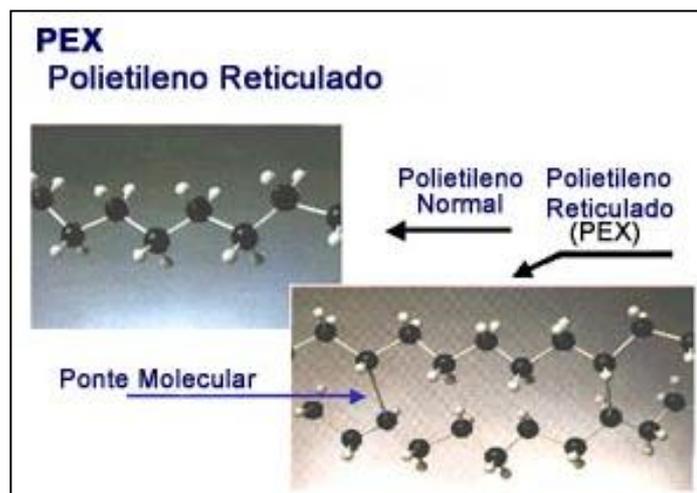


Figura 21 – Material do PEX Ref.: PEX do Brasil. Disponível em: <http://www.pexdobrasil.com.br/>. Acesso em 09 Set. 2014

Segundo o catálogo *Design Guide* (2006), requerimentos de padrões, especificações e códigos definem a rigidez do material e os controles de qualidade de produção. As taxas de temperatura de uso contínuo requeridas são elevadas, bem como os testes de resistência aos padrões de cloro para assegurar que as tubulações irão aguentar as condições mais agressivas da água potável.

De acordo com o supracitado manual, algumas vantagens do PEX são: fácil e rápida instalação (possui conexões mecânicas, evitando soldas etc.), resistência à corrosão, otimização dos custos (exige menos trabalho), disponibilidade de diâmetros diversos de tubulações, eficiência energética (redução da transmissão de calor), conservação da água (pode reduzir o tempo de espera para aquecer a água), ambientalmente correto (por ser um material inerte e não contém componentes orgânicos voláteis) e também a certificação que possui (os tubos e conexões devem atender a performances especificadas). Pela figura 22 pode-se verificar uma instalação com o sistema PEX.



Figura 22- Sistema de PEX (TIGRE, 2009)

O módulo distribuidor, que faz a ligação com o sistema convencional de tubulações, é o ponto de partida das ligações de PEX.

No PEX, a água vem até o módulo distribuidor pelas prumadas e do módulo distribuidor alimenta cada ponto de água individualmente (TIGRE, 2009).

Algumas precauções expostas no *Design Guide* (2006) são: não armazenar os tubos de PEX do lado externo e descoberto, manter os tubos de PEX nas embalagens originais até o momento da instalação, assegurar que a exposição à luz solar durante a instalação não excederá o tempo máximo recomendado de exposição UV pelo fabricante.

### c. CPVC

O CPVC é o Policloreto de Vinila Clorado, cuja principal diferença para o PVC é o aumento de resistência mecânica e à corrosão, oriundos do aumento de cloro na matéria prima, sendo possível de ser usado para água quente. O CPVC não possui apenas vantagens em relação ao PVC. Este material se diferencia também do cobre, pois possui compostos estáveis e não é corroído tão facilmente quanto o cobre.

Como desvantagens pode-se citar: i) o custo, que é mais alto que o PVC; ii) o fato de ser mais frágil que o cobre, não suportando, temperaturas muito altas, e; iii) possuir coeficiente de expansão térmica elevado, não podendo ser adotado em climas com grandes variações de temperatura.

A instalação se dá semelhante ao PVC, com adesivos, através de juntas soldáveis. A figura 23 mostra exemplos de tubos e conexões de CPVC.



Figura 23 – Tubos e conexões de CPVC (TIGRE, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Tubos Poliolefínicos e Sistemas, ABPE (2013), o CPVC apresenta baixíssima condutividade térmica, conforme pode ser visto na tabela 1. Devido a esta característica, em instalações prediais de água quente, a perda de calor é mínima para o meio externo. Uma vez que se perde menos calor para o meio externo, a temperatura da água se mantém por mais tempo, bem como, há menos transmissão de calor para as paredes, e, conseqüentemente, menos rachaduras por dilatação térmica.

**Tabela 1 - Comparativo entre materiais (Valores e propriedades típicas) Ref.: Manual de Boas Práticas – ABPE 2013 (adaptado).**

Propriedades	PE 80	PE 100	PPB 80	PPR 80	PPH 100	PB	PEX	PVC	CPVC	PVDF
MRS (MPa)	8	10	8	8	10	12,5	8	25	25	25
$\sigma$ (MPa)	6,3	8	6,3	6,3	8	8	6,3	10	10	16
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,95	0,96	0,91	0,91	0,91	0,94	0,94	1,4	1,5	1,8
Barra (B)/ Bobina (C)	B/C	B/C	B/C	B/C	B	B/C	B/C	B	B	B/C
Faixa de temperatura (°C)	-70 50	-70 50	-10 80	-10 95	0 95	0 95	-40 110	0 50	0 80	-40 140
Resistência ao impacto *	4	4	3	2	1	2	5	0	0	4
Flexibilidade *	4	3	3	2	1	4	4	0	0	1
Resistência à abrasão *	4	5	3	3	3	3	5	3	2	5
Resistência à chama *	1	1	1	1	1	1	1	3	4	4
Condutividade térmica-W/mK	0,43	0,43	0,22	0,22	0,22	0,22	0,35	0,16	0,15	0,17
Coefficiente de expansão linear (10 <sup>-3</sup> /K) (20-90)°C	1,7	1,7	1,5	1,5	1,5	1,3	1,7	0,8	0,7	1,1
Solda por termofusão*	5	5	5	5	5	5	0	2	2	5
Solda por eletrofusão*	5	5	5	5	5	5	2	0	0	0
Solda a frio (solvente)*	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0
Junta mecânica	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4

Nota: \* 0 (ruim), 1(fraco), 2(regular), 3 (bom), 4 (muito bom), 5 (ótimo)

### 3.8. Descrição dos principais esforços:

#### 3.8.1. Pressão

Um dos principais esforços causados na rede de tubulações é relacionado à pressão, ou à variação de pressões na mesma. Um fenômeno conhecido é a cavitação que ocorre devido à formação de bolhas de vapor de baixa pressão num líquido. Isso se dá em função da redução local da pressão, a valores igual ou inferior à pressão de vapor do líquido. Dependendo do número e da distribuição de partículas no líquido, pequenas bolhas de ar ou gás não dissolvido podem se agregar iniciando a vaporização e formando bolhas de gás de dimensões consideráveis. As bolhas de vapor em um escoamento líquido podem alterar tanto a geometria do escoamento, quanto ocasionar sérios desgastes em regiões adjacentes a superfícies sólidas se houver um crescimento das bolhas e colapso ou implosão das mesmas, como pode ser observado na figura 24 (FOX & McDONALD, 1998).



Figura 24 – Danos causados por cavitação em uma turbina Francis. Ref, Wikipédia.org. Acesso em: 21 Nov. 2014

Muito frequentemente, nas análises de patologias oriundas de ruptura de tubulações, são realizadas medições de pressão para avaliar o funcionamento do sistema no decorrer das variações de pressão. De acordo com a NBR 7198 (ABNT, 1993), a pressão estática da água não deve superar, em nenhum ponto da rede, 40 mca ou 400 KPa.

Dessa forma, prédios com mais de treze andares (considerando um pé direito de três metros), devem adotar as válvulas redutoras de pressão ou VPRs, pois  $13 \times 3$  (em média) = 39 metros, uma vez que a máxima pressão estática deve ser 40 mca, acima deste número de andares, é fundamental o uso de VPR.

As válvulas redutoras de pressão, além de proteger o sistema predial das altas pressões, contribuem para a redução no consumo de água e dos ruídos causados pela alta velocidade na tubulação (BENEDICTO, 2009).

A supracitada NBR 7198 também indica que, nos casos de previsão de válvulas redutoras de pressão, sempre devem ser instaladas duas unidades em paralelo, de forma que uma seja reserva da outra, não havendo a permissão de se instalar um desvio (*by-pass*) referente às válvulas redutoras de pressão que alimentam os aquecedores. Com relação à pressão dinâmica, esta norma brasileira estabelece que na tubulação, não deve ser inferior a 5 KPa. (NBR-7198, ABNT, 1993)

Um cuidado que deve ser tomado no sistema predial é de evitar a ocorrência de pressões negativas, podendo gerar a retrossifonagem, que é o fenômeno da entrada de água já usada nas instalações de água potável.

### 3.8.2. Temperatura

A temperatura ou a variação da mesma pode ser considerada um dos principais agentes causadores de esforços nas tubulações. Segundo Amanco (2010), todos os materiais de condução de água fria ou quente, quando submetidos à variação de temperatura por um período de tempo, reagem modificando as suas propriedades dimensionais. Essa reação é chamada de dilatação térmica e pode tanto aumentar quanto diminuir as dimensões do material (dependendo da variação de temperatura, no primeiro caso, quando esta for positiva, no segundo caso quando ela for negativa). A dilatação térmica pode ser linear, superficial e cúbica. Entretanto, segundo Amanco (2010), nas tubulações de PPR (Polipropileno Copolímero Random), verifica-se, sobretudo, uma dilatação linear.

Para o cálculo da dilatação linear, é fundamental conhecer o coeficiente de dilatação linear, para se obter confiabilidade nos dados gerados (na solução). A equação:

$$\Delta L = \Delta T \times L \times \alpha$$

determina a variação do comprimento da tubulação, onde:

$\Delta L$  é a variação linear em metros;

$\Delta T$  é a variação de temperatura em que a tubulação está submetida;

$L$  é o comprimento da tubulação e

$\alpha$  é o coeficiente de dilatação linear do material.

Essa variação de comprimento causada por diferenças de temperaturas gera esforços que o sistema deverá absorver, caso contrário, o indesejado e inesperado pode acontecer, ou seja, pode haver rupturas na tubulação, vazamentos e outras patologias. Nesse sentido, é fundamental que a topologia do sistema seja estruturada com estratégias de montagem de tal forma que ela absorva parte desses esforços (MARTINEZ *ET al.* 2012).

Sistemas hidráulicos que trabalham com variação de temperatura, ou seja, que funcionam não apenas com água fria, mas também com água quente, merecem atenção. A NBR 7198 (ABNT, 1993) estabelece com relação à temperatura da água que: é obrigatória a instalação de misturadores se tiver a possibilidade de a água servida para consumo humano ultrapassar 40°C. A mesma norma também recomenda que em situações normais de utilização de

misturadores deve ser evitada a possibilidade de inversão de água quente no sistema frio, ou vice-versa.

Soares (2010), classifica como uma patologia causada por erro de projeto o caso da água fria penetrar em tubulação de distribuição de água quente, e vice-versa, através de misturador de ducha manual com registros abertos e gatilho fechado. Ela afirma que as tubulações de água fria e quente devem ser dimensionadas de forma que a pressão de entrada no misturador seja a mesma tanto para a água fria como para a água quente, caso contrário, a água passa do lado de maior pressão para o lado de menor pressão.

A mesma autora classifica como patologias causadas por materiais e componentes e por problemas de execução as oscilações nas temperaturas dos aparelhos providos de água quente. Explica que, quando o sub-ramal do chuveiro está ligado ao mesmo sub-ramal da válvula de descarga, por estes possuírem vazões muito diferentes, ao se acionar a descarga, parte da vazão que alimentava o sub-ramal do chuveiro deixa de alimentá-lo e passa a alimentar apenas o sub-ramal da válvula de descarga. Consequentemente, explica, há a redução de água fria no sub-ramal do chuveiro e a manutenção de água quente, causando o desequilíbrio da temperatura anteriormente ajustada para o banho.

A NBR 7198 (ABNT, 1993) não permite nem mesmo que as tubulações que alimentam a válvula de descarga façam parte do mesmo barrilete que os misturadores: “As tubulações de água fria, que alimentam misturadores não podem estar conectadas a barrilete, colunas de distribuição e ramais que alimentam válvulas de descarga” (NBR 5626 - Item 5.7.4).

### **3.8.3. Tensões**

Segundo Nayyar (2000), os modos de falhas são causados por diferentes tipos de tensão e carregamento, que devem ser diferenciados em categorias: primária, secundária e pico. Os limites de tensão primária possuem a intenção de prevenir deformações plásticas e ruptura. Os limites de tensões primárias e secundárias pretendem prevenir deformações plásticas excessivas, levando ao colapso incremental. E os limites do pico de tensão possuem a intenção de prevenir falhas por fadigas, resultante de carregamentos cíclicos. No caso, o autor não considera as tensões térmicas como primárias, mas sim, como categorias secundárias e de pico.

Nayyar (2000) explica que as tensões secundárias são desenvolvidas por forças advindas de deslocamentos da estrutura, que podem ser causados por expansão ou retenção térmica, bem como pontos de ancoragem da tubulação. As tensões de pico, por sua vez, são as mais altas e são responsáveis por falhas por fadiga.

Quando a tubulação está submetida à tensão, um carregamento aplicado produzindo uma tensão primária igual à tensão resistente do material resulta em falha da tubulação. A falha de uma tubulação que está submetida à flexão requer que toda a seção da tubulação esteja sobre tensão de escoamento, e este fato não irá acontecer até que o carregamento seja acrescido além do momento resistente da tubulação multiplicado por um fator conhecido como ‘fator de forma’ da tubulação. Nayyar (2000) utiliza a Lei de Hooke para explicar a tensão elástica e o ciclo de carregamento da tubulação, vide equação 2.

Lei de Hooke:

$$\sigma = \varepsilon * E \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$\sigma$  = a tensão em Kgf/cm<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  = a deformação sofrida pela tubulação, causada pela expansão térmica (adimensional);

$E$  = o módulo de Elasticidade do material em Kgf/cm<sup>2</sup>.

A figura 25 mostra o ciclo de tensão e deformação proposta por Nayyar (2000).

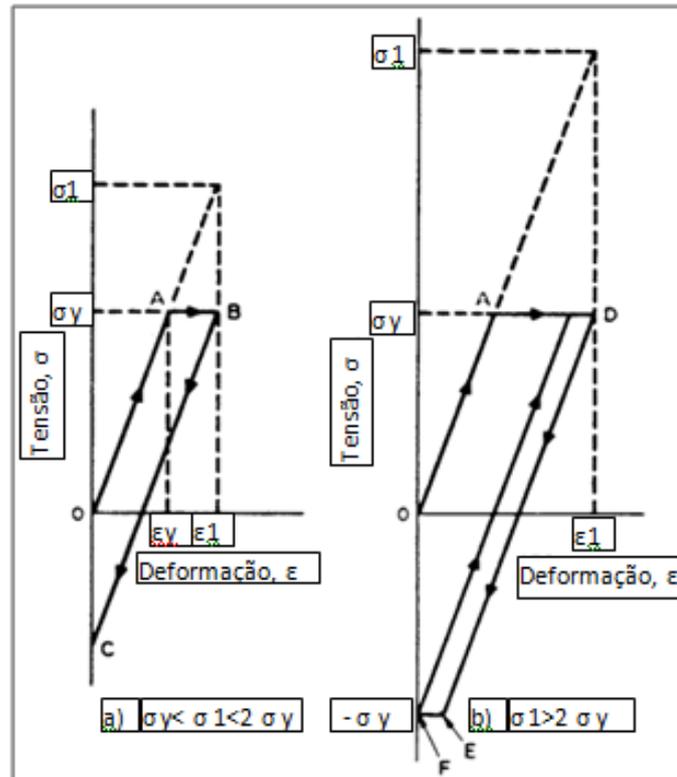


Figura 25 – Ciclo de tensão e deformação Nayyar (2000) adaptado.

Pela figura 25, é possível identificar em (a) o carregamento inicial de 0 a A, seguindo a lei de Hooke, a deformação  $\varepsilon$  que o material sofre de A a B e o ‘descarregamento’ de B a C, que não deixa deformações, mas deixa tensões residuais.

Em (b) pode-se observar que o carregamento produz uma tensão “ $\sigma_1$ ” maior que duas vezes “ $\sigma_y$ ”, deixando uma deformação  $\varepsilon$  de A a D, maior que em (a), e no ‘descarregamento’ de D a E, verifica-se que o material permanece com uma deformação residual, de E a F. Neste último caso, ocorre a deformação plástica.

Os esforços que as tubulações e conexões em instalações hidráulicas prediais sofrem, decorrem não apenas do peso próprio, mas também devido a esforços ocasionais (causados por transitórios) e a movimentações causadas pela dilatação térmica das tubulações. Dessa forma, é de extrema importância que a topologia da rede seja montada de forma a compensar os esforços a que será submetida, absorvendo parte deles.

Workman (2011) comenta que as falhas tendem a aparecer primeiro nas áreas de mais alta tensão ou na parte interna (ou ‘virilha’) dos cotovelos e “Tês”. A figura 26 mostra a localização da virilha de uma conexão.

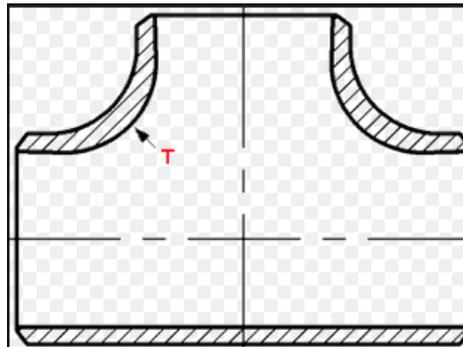


Figura 26 - Localização da 'virilha de uma conexão "Tê" ou joelho. (SOLKEN, 2008).

Através de uma análise vetorial ele mostra que as tensões na virilha dos cotovelos e "Tês" é 1,4 vezes maior que a encontrada em qualquer outro lugar da montagem.

Entretanto, o mesmo autor afirma que essa análise vetorial é conservativa e não leva em consideração as tensões extras do lado externo dos abaulamentos da tubulação, que são claramente vistos nas análises 3D (análise de elementos finitos), e testes de laboratório. Algumas indústrias têm mostrado, segundo Workman (2011), que a tensão na área de conexões cotovelo 90 graus ou "Tês" possuem aproximadamente 2,8 vezes a tensão do restante da montagem. Segundo ele, diferenças de projeto, dimensões ou condições especiais de uma montagem de tubulações, pode levar a variações nessa tensão aplicada, e é responsabilidade do usuário realizar testes para assegurar a adequação da conexão para cada finalidade. A figura 27 mostra a representação dos vetores de tensão no interior de um joelho.

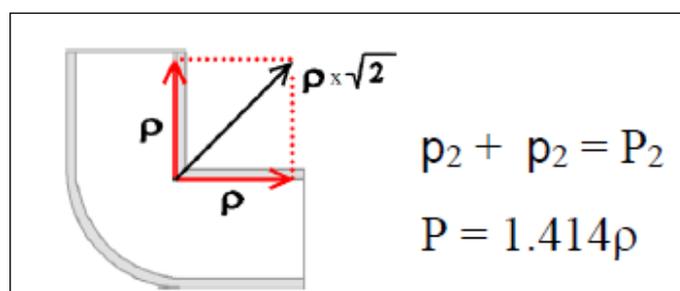


Figura 27 - Vetor de representação da tensão no interior de joelhos 90° e "Tês", (WORKMAN, 2011).

Então, com as altíssimas pressões experimentadas por um sistema, a parte interna ou virilha das conexões "Tê" ou joelho poderia experimentar uma força que é em torno de 2,8 vezes maior que o corpo da mesma tubulação. Conexões em "Y", por sua vez, possuem tensões

ainda maiores aplicadas na ‘virilha’, com estimativas acima de 3,5 vezes a tensão no corpo (WORKMAN, 2011).

Outra situação que pode gerar tensões na tubulação é a ocorrência de bolsas de ar dentro do sistema de tubulações, podendo criar a mesma pressão de choque como o golpe de aríete. Essas bolsas de ar ocorrem por projetos inapropriados, ondulações no terreno ou configurações do sistema. A figura 28 mostra a representação de bolsas de ar na tubulação. (WORKMAN, 2011).

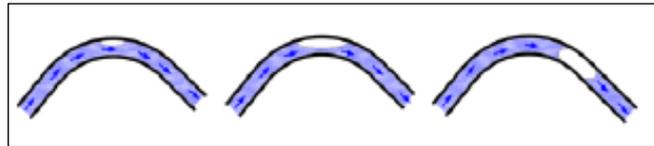


Figura 28 - Representação de bolsas de ar na tubulação. (WORKMAN, 2011)

### 3.9. Levantamento das principais falhas

Segundo Workman (2011) descobrir a causa da falha no sistema de tubulações é mais importante do que consertar o problema. Ele assenta, contudo, que na maioria das vezes a causa não é simplesmente uma parte do defeito, mas muito frequentemente é o efeito de outro problema. O autor citado entende que incorporar às tubulações e conexões um razoável fator de serviço é uma boa prática de projetos para obtenção de um sistema confiável.

Com relação às falhas causadas por tensões externas ou carregamentos cujo sistema está sujeito, Workman (2011) afirma que caso a tensão não seja removida, a falha irá se repetir. Ele ainda aponta que caso seja verificada a necessidade de se colocar mais apoios ou restrições para remover tensão externa, deve-se fazê-lo antes de reparar as falhas.

É importante, entretanto, verificar se o sistema realmente precisa de mais apoios e restrições ou se precisa de menos apoios e restrições, ou seja, de mais liberdade de movimentação.

Workman (2011) afirma que fissuras e fendas são perpendiculares ao carregamento produzido, para tal, cita o exemplo do papel que, se puxado na horizontal, rasga verticalmente. Thielsch *ET al.* (1993) comenta que falhas prematuras nos sistemas de tubulações podem ocorrer como um resultado de uma variedade de diferentes causas, que devem incluir defeitos de projetos, fabricação ou construção, deterioração relacionado ao uso

e operação, dentre outros. Também devem ser incluídas as deteriorações associadas com as condições de operação normal e acidentes.

Uma variedade de normas e códigos orienta os processos de fabricação, projeto, construção e inspeção dos sistemas de tubulações. No Brasil, existem as NBRs da ABNT, as Instruções Técnicas (IT), as Especificações de Serviço (ES), dentre outras. Entretanto, apesar dessa variedade de códigos e normas, ainda ocorrem falhas nos processos de sistemas de tubulações.

### **Deficiências de Projeto**

Os autores Thielsch *ET al.* (1993) assentam que no processo do projeto deve-se tomar muito cuidado de forma a evitar deficiências no mesmo. Essas deficiências têm produzido falhas nos sistemas de tubulações que causam muitos incômodos. Os cuidados que devem ser tomados incluem aspectos do processo, tais como a seleção de diâmetros de tubulação mais propícios além de assegurar que o material tenha espessura da parede suficiente para as condições de serviço. Também se inclui nesses cuidados as escolhas dos componentes, das conexões e a seleção dos materiais para as máximas temperaturas esperadas. É igualmente importante o reconhecimento das potenciais condições negativas, ou melhor, que poderiam trazer problemas para o sistema.

Telles (2006) indica como maneiras para controlar efeitos da dilatação térmica em tubulações:

- i) fazer o trajeto da tubulação afastando-se da linha reta, de forma a deixar a tubulação com flexibilidade própria, por meio de ângulos no plano ou no espaço, podendo absorver as deformações através de deformações de flexão e/ou de torção, tanto nos trechos retos quanto nos ângulos;
- ii) usar de elementos deformáveis intercalados na tubulação, para poderem absorver as dilatações ocorridas, e;
- iii) realizar um pré- tensionamento na tubulação, introduzindo tensões iniciais opostas às tensões geradas pela dilatação térmica.

### **Deterioração por uso ou serviço**

As condições de serviço podem resultar em diferentes tipos de deterioração, incluindo corrosão, fadiga, ruptura por tensão, dentre outros. Essas e outras deteriorações relacionadas ao serviço, afirmam Thielsch *ET al.* (1993), contribuem para a enorme variedade de falhas no processo de sistemas de tubulações.

A temperatura, no caso das tubulações de PPR, CPVC e outras da família dos polímeros que suportam altas temperaturas, provocam um comprimento diferencial –  $\Delta L$  – que nos casos de altas temperaturas é positivo, aumentando o comprimento original das tubulações. As tubulações, por sua vez, estão fixadas e limitadas por apoios, braçadeiras, espaço físico em que se encontram, de forma a gerar uma tensão na mesma.

As variações de fluxos e alterações de pressão e temperatura ao longo de determinados horários, dias e esses ao longo de meses e anos, demandam da tubulação e de seus componentes, resistências à fadiga combinada com resistência à pressão, à temperatura e tensões. Essas resistências combinadas precisam ser previstas para que a topologia do sistema de tubulações seja dimensionada de forma a mitigar as tensões suportadas e conseqüentemente os problemas gerados ao longo da vida útil pela mesma.

### **Acidentes e Condições de Operação Insatisfatórias do material PPR**

Também podem produzir falhas no processo de sistemas de tubulações, acidentes e condições insatisfatórias de uso. É preciso que sejam tomados alguns cuidados no sentido de evitá-los.

As recomendações para execução e manutenção do sistema de tubulações Amanco (2010), para o caso de tubulações e conexões em PPR, estão especificadas a seguir.

- A instalação dos tubos e conexões Amanco PPR não devem ser instalados nem armazenados em locais que recebam diretamente raios ultravioletas. Os tubos devem ser envolvidos com material isolante, como fita de alumínio;
- A manipulação dos tubos e conexões deve ser feita sem a exposição a fenômenos de grandes solicitações externas, como golpes, marteladas, dentre outros;

- Fenômenos de condensação podem ocorrer, para tubos com baixas temperaturas, como no caso de sistemas de refrigeração. Recomenda-se que a tubulação seja coberta com isolante térmico, caso se deseje a isenção de condensação;
- Deve ser evitado o contato com corpos cortantes, uma vez que estes provocam entalhes na superfície do material e podem causar rupturas posteriores. Os tubos que apresentam esses entalhes não devem ser usados;
- As partes que sofrem termo fusão devem estar sempre limpas e não devem ser submetidas a torções, nem durante nem após a soldagem;
- Outra recomendação a respeito das tubulações de PPR, é que sejam evitadas elevadas torções nas conexões que apresentam peças com insertos metálicos. Também não são indicadas grandes quantidades de fita veda rosca na sua utilização.

Orientações semelhantes são feitas pelo manual Tigre (2013) de tubulações em PPR. Ainda completa que para estocagem não se deve fazer pilhas com mais de 1,5 metros de altura nem deixá-las ao ar livre. Com relação à fase de resfriamento da termo fusão dos tubos, indica que não devem ser submetidos a movimentações.

Segundo Ramos (2010), as anomalias em edifícios, ou patologias são originárias das respectivas proporções das fases demonstradas no gráfico apresentado na figura 29.

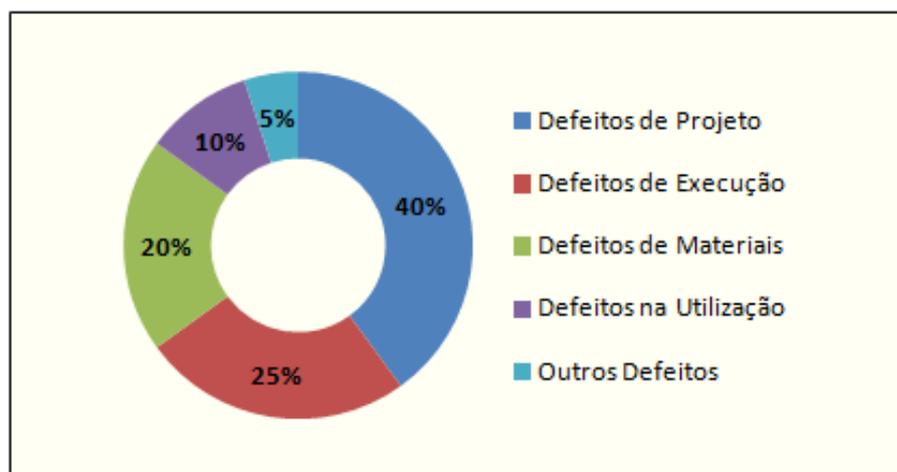


Figura 29 - Origem das falhas em edificações em porcentagem. Adaptado de Ramos (2010).

Observa-se, pelo gráfico da figura 29, que a origem das principais falhas ou patologias em edifícios (40%), tem início na fase de projeto. Em seguida, pode-se observar que 25% são

originárias da fase de execução, 20% de defeitos de materiais, 10% originam-se de má utilização, restando, por fim, 5% de outros defeitos. Ramos (2010) enfatiza a necessidade de se realizar a manutenção preventiva em sistemas hidráulicos prediais, procurando garantir a: i) qualidade das instalações; ii) satisfação e a segurança do usuário; iii) redução de custos de manutenção.

O mesmo autor assenta que há estudos que revelam que a porcentagem de economia energética induzida pela implementação da manutenção preditiva varia de 5% a 11%, quando comparada com a manutenção corretiva.

Martins, (2003), também apresenta números percentuais de origens das falhas em edificações bem próximos daqueles apresentados por Ramos (2010). Enquanto Ramos relata que 40% das falhas são oriundas de projetos, 25% de execução, 20% de defeitos de materiais, 10% de má utilização e 5% de outros defeitos; Martins (2003) apresenta uma faixa de 36-49% das falhas decorrentes de projetos, 19-30% de execução, 11-25% de componentes, 9-11% de utilização e 1-11% de causas diversas. A pesquisa apresentada por Martins (2003) engloba os países da Bélgica, Grã-Bretanha, Alemanha, Dinamarca e Romênia.

Com relação às anomalias mais frequentes, Ramos (2010), cita:

- Nos medidores: aparecimento de água dentro dos medidores, vazamento de água nas conexões;
- Nos ramais de ligação: fissuração e vazamento de água nas junções, ruídos, pressão elevada, velocidade excessiva, oxidações, perda de qualidade da água;
- Nas ligações aos aparelhos de uso de águas frias e quentes: vazamento de água nas conexões, rupturas, fissuras, oxidações, ruptura nas válvulas;
- Nos acessórios: ruídos, pressão baixa ou alta; vazamento de água nas roscas, oxidação, presença de calcário, mau funcionamento;
- Nos aparelhos de produção de água quente: defeito no termostato, perda de isolamento e de pressão;

Seguem, na tabela 2, algumas das anomalias apontadas por Gnipper (2007), já mencionadas anteriormente. A tabela aponta se a patologia ou inconformidade tem origem em uma falha

correspondente no Projeto (P), na Execução da obra (E) ou se está relacionada com uma falha de Fabricação (F) do componente ou equipamento.

**Tabela 2 - Patologias ou Inconformidades mais frequentes, adaptado de Gnipper (2007).**

PATOLOGIA OU INCONFORMIDADE	P	E	F
Adoção de central de redução de pressão com uma única válvula redutora de pressão e com registro de fechamento tipo gaveta ou esfera em 'by pass'	X		
Ausência de tubos de ventilação de colunas de distribuição de água fria que alimentam válvulas de descarga e misturadores de água fria e quente	X		
Ausência de amortecedores de vibração nas bases de apoio e saídas de bombas de recalque de água potável/pressurizadoras/de circulação de água quente	X	X	
Inexistência de válvulas de segurança à pressão em equipamentos geradores de água quente por acumulação, ou válvulas de segurança com sauda não tubulada	X	X	X
Conformação de sifão e ausência de tubo-respiro ou dispositivo eliminador de ar em colos altos de ramais de distribuição de água quente	X		
Ausência de registros de fechamento nas derivações de ramais de distribuição de água quente de ambientes sanitários e/ou jusante de aquecedores	X		

A experiência mostra a existência de outras patologias ou inconformidades. Assim a tabela 3 aponta outras inconformidades e se a patologia ou inconformidade tem origem em uma falha correspondente no Projeto (P), na Execução da obra (E), ao Uso inadequado (U) ou se está relacionada com uma falha de Fabricação (F) do componente ou equipamento.

**Tabela 3 - Patologias ou Inconformidades recorrentes. (construção da autora)**

PATOLOGIA OU INCONFORMIDADE	P	E	U	F
Condução de água quente com temperatura e pressão excessiva	X		X	
Deformações em tubulações em PVC e PPR (Polipropileno Copolímero Random)	X	X		
Demora na chegada da água quente nos pontos de utilização	X	X		
Efeitos da dilatação e contração térmica	X			
Entupimento das tubulações pela presença de incrustações			X	
Escolha dos materiais e sua adequação aos sistemas construtivos	X			
O posicionamento do reservatório e sua influencia no cálculo da pressão dinâmica	X			
Ocorrência de golpe de aríete	X	X		
Perda de temperatura nas instalações de água quente	X	X		
Problemas em válvulas redutoras de pressão	X	X		X

### **3.10. Ensaio e metodologias para testes de tubos e conexões**

A EN ISO 15874-1 é a norma Europeia para Sistemas de tubulações plásticas para instalações de água quente e fria – Polipropileno (PP). É aplicável a três tipos de polipropileno: Polipropileno Homopolímero (PP-H); Polipropileno em bloco de copolímero (PP-B); Polipropileno Copolímero Randon (PP-R). O material PPR é que será usado no estudo de caso desta pesquisa.

A ISO supracitada especifica os aspectos gerais dos sistemas de tubulações de Polipropileno (PP), usados para instalações de água quente e fria, para consumo humano ou não e para sistemas de aquecimento, sobre pressões e temperaturas de projeto, de acordo com a classe de aplicação, que varia conforme as temperaturas de projeto e a aplicação.

A ISO ratifica que é responsabilidade do comprador ou do responsável pelas especificações técnicas, fazer as seleções apropriadas das condições de serviço (classes de aplicação), levando em consideração as particularidades e qualquer regulamentação nacional relevante e códigos ou práticas de instalação.

#### **Classificação das Condições de Serviço**

Os requerimentos de desempenho para os sistemas de tubulações, conforme a ISO 15874-1, são especificados para quatro classes de aplicação diferentes. Cada classe está relatada para um campo típico de aplicação e para um período de projeto de 50 anos.

Os campos de aplicação, contudo, são dados como orientação e não são obrigatórios. As classes de aplicação 1 e 2 são para abastecimento de água quente, sendo que a classe de aplicação 1 corresponde à temperatura de projeto de 60 °C, a 2 corresponde à temperatura de projeto de 70 °C. A classe 4 se aplica a usos de aquecimento em subsolo e radiadores de baixa temperatura, enquanto a classe 5 é usada para radiadores de alta temperatura. A classe 3, aquecimento de subsolo a baixa temperatura, dada na ISO 10508, não se aplica à EN ISO 15874.

Algumas considerações que são feitas, são:

- Todos os sistemas que satisfazem as condições especificadas de aplicações de projetos (classes 1, 2, 4 e 5), devem também ser adequados para o transporte de água fria por um período de 50 anos na temperatura de 20° C e uma pressão de projeto de 10 bar;
- Todas as instalações de aquecimento devem usar apenas água ou água tratada como fluido de transferência;
- Os fabricantes de tubos e conexões plásticas devem dar orientação do tipo de tratamento necessário, e nos aspectos de aplicações como permeabilidade de oxigênio.

A Norma Brasileira ABNT NBR 15813-1 é a norma Brasileira de Sistemas de Tubulações Plásticas para Instalações Prediais de Água Quente e Fria – Tubos de polipropileno copolímero random (PP-R). Esta parte da norma supracitada fixa os parâmetros dos exames e ensaios de fabricação e recebimento do material.

Alguns requisitos de fabricação, segundo a NBR 15813-1 são:

- i) Os tubos devem estar isentos de defeitos como estrias, fissuras, trincas e falhas;
- ii) As superfícies devem ser lisas e uniformes;
- iii) As condições de serviço devem atender às pressões de projeto de 0,6 ou 0,8 MPa sob uma temperatura de projeto de 70 °C, para uma vida útil projetada de 50 anos;
- iv) A cor dos tubos deve ser uniforme e livre de corpos estranhos, bolhas, rachaduras ou outros defeitos visuais;
- v) Deve possuir superfícies lisas, limpas, sem sulcos e cavidades;
- vi) As extremidades dos tubos devem ser cortadas transversalmente em relação ao próprio eixo e não deve haver rebarbas, e:
- vii) As dimensões dos tubos devem estar dentro das dimensões e tolerâncias apresentadas na tabela de dimensões de tubos de Polipropileno Copolímero Random.

**Tabela 4 – Dimensões em milímetro de tubos de polipropileno copolímero random (PP-R). ABNT 15813-1 (2010).**

Diâmetro nominal DN	Diâmetro externo nominal Dn	Diâmetro externo médio mínimo $d_{em_{min}}$	Diâmetro externo médio máximo $d_{em_{max}}$	Espessura de parede ( $e_{min}$ )			
				Série de tubo S2,5 (PN 25)		Série de tubo S3,2 (PN 20)	
				$P_D$ (0,8 MPa) a 70 °C	Tolerância	$P_D$ (0,6 MPa) a 70 °C	Tolerância
20	20	20,0	20,3	3,4	+ 0,5	2,8	+ 0,4
25	25	25,0	25,3	4,2	+ 0,6	3,5	+ 0,5
32	32	32,0	32,3	5,4	+ 0,7	4,4	+ 0,6
40	40	40,0	40,4	6,7	+ 0,8	5,5	+ 0,7
50	50	50,0	50,5	8,3	+ 1,0	6,9	+ 0,8
63	63	63,0	63,6	10,5	+ 1,2	8,6	+ 1,0
75	75	75,0	75,7	12,5	+ 1,4	10,3	+ 1,2
90	90	90,0	90,9	15,0	+ 1,6	12,3	+ 1,4
110	110	110,0	111,0	18,3	+ 2,0	15,1	+ 1,7

### 3.11. Testes de laboratório em tubos e conexões

Os testes de laboratório descritos neste subcapítulo foram realizados pela pesquisa de extensão. A FCO (2010) apresenta um ensaio onde se verificou se os esforços calculados causavam ruptura em conexões “Tê”.

Esse ensaio foi efetuado a partir da aplicação da metodologia preconizada no item anterior. Para tanto, fixou-se um trecho de tubulação com conexões por meio de braçadeiras metálicas. Através de um dinamômetro digital, foram aplicadas forças calculadas a partir do equacionamento preconizado pelo Manual Técnico da Amanco (2010). O sistema foi tracionado por uma talha (figura 30). Os resultados obtidos nestes ensaios estão apresentados nas tabelas 5 a 7.

**Tabela 5 - Força de ruptura para conexões “Tê” originais do prédio - 55°C, dois anos de uso (FCO, 2010).**

diâmetro	Tubos testados			Tubos testados (força média Kgf)		
	20 mm	25 mm	32 mm	20 mm	25 mm	32 mm
LS (cm)	força Kgf	força Kgf	força Kgf	Força na ruptura /Dano no tubo		
6,0	101,79	266,84	418,75	-	420/R	750 / R
				-	530/R	700 / R
				-	560/R	800 / R
				-	490/R	820 / R
				-	538/R	790 / R
				-		862 / R

“T” – Trinca

“R” Ruptura da conexão

“RT” Ruptura de tubo

“D” – Deformação aparente

“Ñ rompeu” – Não rompeu com 1.000 kgf de carga

**Tabela 6 - Força de ruptura para conexões “Tê” novo - 55°C, três dias de soldagem (FCO, 2010).**

diâmetro	Tubos testados			Tubos testados (força média Kgf)		
	20 mm	25 mm	32 mm	20 mm	25 mm	32 mm
LS (cm)	força Kgf	força Kgf	força Kgf	Força na ruptura /Dano no tubo		
6,0	101,79	266,84	418,75	-	520/R	819 / R
				-	540/R	930 / R
				-	540/R	Ñ rompeu/D
				-	380/RT	Ñ rompeu/D
				-	510/RT	
				-	630/R	

“T” – Trinca

“R” Ruptura da conexão

“RT” Ruptura de tubo

“D” – Deformação aparente

“Ñ rompeu” – Não rompeu com 1.000 kgf de carga

**Tabela 7 - Força de ruptura para conexões “Tê” novo - 55°C, um dia de soldagem (FCO, 2010).**

diâmetro	Tubos testados			Tubos testados (força média Kgf)		
	20 mm	25 mm	32 mm	20 mm	25 mm	32 mm
LS (cm)	força Kgf	força Kgf	força Kgf	Força na ruptura /Dano no tubo		
6,0	101,79	266,84	418,75	218/R	454/R	736/R
				170/R	658/R	730/R
				189/R	305/R	740/R
				252/R	306/R	740/R
				226/R	443/R	

“T” – Trinca

“R” Ruptura da conexão

“RT” Ruptura de tubo

“D” – Deformação aparente

“Ñ rompeu” – Não rompeu com 1.000 kgf de carga

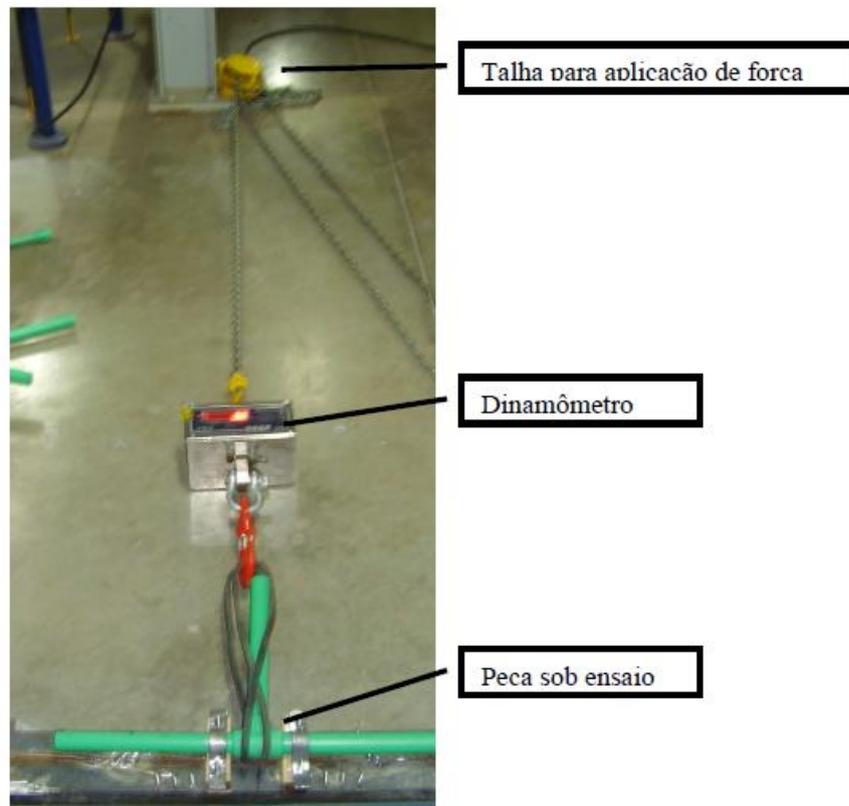


Figura 30 – Bancada de testes de ruptura das conexões de PPR (FCO, 2010).

Os ensaios de força de ruptura para conexões “Tê” usados para a temperatura de 55°C e dois anos de uso, na condição crítica em que os apoios estão a 6 cm do eixo da conexão, apresentaram ruptura das conexões para os diâmetros de 25 mm e 32 mm.

O mesmo ensaio para conexões “Tê”, porém com tubulação nova e três dias de soldagem, apresentou ruptura dos tubos e conexões para o diâmetro de 25 mm e ruptura das conexões para o diâmetro de 32 mm. Para um dia de soldagem, apresentou ruptura das conexões para os três diâmetros: de 20 mm, 25 mm e 32 mm.

As rupturas da conexão “Tê” podem ser observadas, no detalhe, na figura 31.

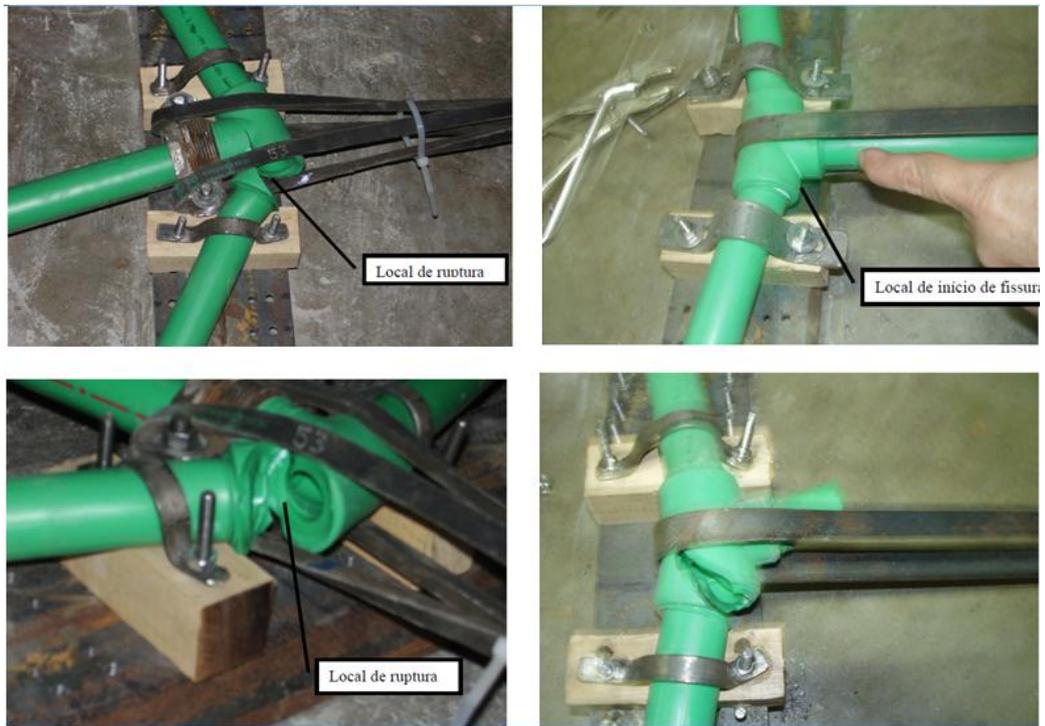


Figura 31 – Detalhes da fratura de uma conexão “Tê” (FCO, 2010)

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Estudo teórico sobre os esforços nas tubulações

Telles (2006) assenta que do ponto de vista de Resistência dos Materiais, cada trecho de tubulação pode ser considerado como um elemento estrutural, que está submetido a cargas e que também transmite cargas ao sistema de suportes e aos equipamentos ligados à tubulação. Como exemplificação, o autor cita as principais cargas que podem agir sobre uma tubulação, são elas: i) Pressão interna gerada pelo fluido; ii) Pressão externa (no caso de tubulações que estão sob pressão ou operando a vácuo); iii) Peso próprio das tubulações e conexões; iv) Dilatações térmicas (ou contrações) devido a variações de temperatura; v) Atrito da tubulação nos suportes; vi) Ações dinâmicas advindas dos movimentos do fluido na tubulação (como golpes de aríete, impactos, etc.); vii) Tensões decorrentes da montagem do sistema (alinhamentos forçados, desnivelamento de suportes, aperto exagerado ou desigual de flanges e roscas, etc.), dentre outras.

O autor ainda alerta que é essencial que no projeto e na montagem deve-se evitar ou atenuar as tensões anteriormente mencionadas. Para isso sugere a adoção de vãos adequados entre suportes e a limitação das sobrecargas, dando flexibilidade adequada ao sistema para reduzir os esforços das dilatações, absorvendo as vibrações através de amortecedores, ancoragens ou juntas de expansão, dentre outros.

Nayyar (2000) afirma que as tensões em tubulações estão diretamente relacionadas com o *layout* do sistema e com o projeto dos apoios. Segundo o autor, o *layout* deve ser pensado conforme as necessidades das tensões das tubulações e dos suportes das mesmas permitindo flexibilidade suficiente para expansão térmica. Também devem ser considerados os caminhos apropriados para as tubulações visando à construção de suportes simples e econômicos. Além disso, devem-se utilizar materiais de tubos e seções compatíveis com os serviços, com as temperaturas, pressões e carregamentos pretendidos.

Classificação dos carregamentos:

- Carregamentos primários, que podem ser divididos em duas categorias, baseadas na duração do carregamento. A primeira delas é chamada de ‘carregamentos sustentados’, que são esperados na operação normal da planta. Como exemplo, cita-se pressão e cargas de peso durante as condições normais de operação;

- Carregamentos ocasionais, que estão presentes em intervalos infrequentes durante a operação. Como exemplo, são mencionados terremotos, vento, transiente de fluidos como golpe de aríete e descargas de válvulas;
- Complementarmente aos carregamentos anteriores, existem os carregamentos de expansão, que são devidos a deslocamentos da tubulação, como expansões térmicas, movimentos por ancoragem, etc. (NAYYAR, 2000).

## 4.2 Cálculo de esforços mecânicos

### Equações tradicionais

O transporte de água quente através do material de PPR causa modificações nas características do mesmo. Isso se dá devido à exposição durante um período de tempo à variação de temperatura. No caso do aumento de temperatura, ocorre a dilatação térmica; enquanto no caso da diminuição de temperatura ocorre a contração térmica. (AMANCO, 2010)

Uma vez que o tubo é submetido a uma variação de temperatura, ele sofre uma variação no seu comprimento. Se este tubo encontra-se livre, suas variações de comprimento estarão, portanto, livres e não serão desenvolvidas tensões internas ou reações nele.

Porém, se o tubo estiver fixado, nesses pontos de fixação aparecerão reações, bem como aparecerão tensões internas no tubo. Quanto mais completa e maior for a fixação, maiores serão as tensões internas e reações no tubo (TELLES, 2006). Dessa forma um tubo cujas extremidades estão fixas, no momento que sofrer o aumento de temperatura e que não puder dilatar (pois tem suas extremidades fixas), fará uma força nos dois pontos de fixação tendendo a afastá-los. Essa força será equivalente à compressão do tubo de um comprimento igual à dilatação que teria se tivesse livre. Segundo a Lei de Hooke, tem-se na expressão 6:

$$\frac{P/A}{\delta/L} = E \quad \text{Eq. 6}$$

Em que:

$P$  = força sobre os pontos de fixação (kgf)

$A$  = área de material da seção transversal do tubo (cm<sup>2</sup>)

$\delta$  = dilatação livre do tubo (m)

$L$  = comprimento do tubo (m)

$E$  = módulo de elasticidade do material (kgf/cm<sup>2</sup>)

Telles (2006) explica que na equação supracitada,  $P/A$ , seria a tensão interna  $S$  que o material está submetido devido à dilatação que foi contida. E  $\delta/L$  seria a dilatação unitária 'e', que é função da diferença de temperaturas e do material, logo  $S = e \times E$ .

Nayyar (2000) também utiliza da Lei de Hooke para explicar a tensão elástica e o ciclo de carregamento da tubulação (descritos no item 3.4.3 – Tensões). Ele distingue as tensões primária, secundária e de pico.

A primeira previne as deformações plásticas e ruptura, os limites de tensões primárias e secundárias, pretendem prevenir deformações plásticas excessivas, levando ao colapso incremental. Os limites do pico de tensão possuem a intenção de prevenir falhas por fadigas, resultante de carregamentos cíclicos. Deve ser ressaltado, ainda, que o autor considera as tensões térmicas como categorias secundárias e de pico.

### **Equações fornecidas pelo fabricante**

O manual Aquatherm (2013) de expansões térmicas em sistemas de tubulações também apresenta a equação para cálculo da força de expansão térmica como apresentado na equação 7:

$$P = A \times E \times \alpha \times (T2 - T1) \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

$A$  = área da seção da tubulação (cm<sup>2</sup>)

$E$  = módulo de Elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>)

$P$  = força a qual a tubulação fica submetida devido à expansão térmica (kgf)

$\alpha$  = coeficiente de expansão térmica linear

Pode-se observar que tanto a equação 7 (AQUATHERM, 2013) quanto às equações 2 e 6 de Nayyar (2000) e Telles (2006), são equivalentes. Sendo “P” a força cuja tubulação está submetida, “A” a área da seção, “ $\alpha$ ” o coeficiente de dilatação do tubo,  $\delta$  a dilatação livre do tubo ou  $\Delta L = L \times \Delta T \times \alpha$ , substituindo  $\delta$  na equação 6, temos que:

$$\frac{P/A}{(L \times \Delta T \times \alpha)/L} = E \quad \text{Eq. 8}$$

E isolando a força P, temos as equações 9 e 10:

$$P = A \times E \times \Delta T \times \alpha \quad \text{Eq. 9} \quad \text{ou} \quad P = A \times E \times \frac{\Delta L}{L} \quad \text{Eq. 10}$$

O Manual Técnico Amanco (2010) recomenda que o cálculo da dilatação térmica em tubo de PPR seja feito através da equação 11:

$$\Delta L = \Delta T \times L \times \alpha \quad \text{Eq. 11}$$

Em que:

$\Delta L$  = Variação do comprimento da tubulação (mm);

$\Delta T$  = Diferença entre a temperatura no momento da instalação (temperatura ambiente) e a temperatura em fase de exercício (temperatura de serviço) (°C);

L = Comprimento da tubulação (m);

$\alpha$  = Coeficiente de dilatação linear do material = 0,15mm/m \* °C

Os pontos de fixação, segundo Amanco (2010), podem ser:

- Apoio: um ponto fixo ou deslizante, configurando-se como uma ligação estrutural entre a tubulação e o elemento de construção, como abraçadeiras;
- Ponto fixo (Pf): um apoio que não permite, em nenhuma direção, a movimentação da tubulação;
- Ponto deslizante (Pd): um apoio que permite a movimentação da tubulação.

Como ilustração, estão apresentadas nas figuras: apoio de ponto fixo (figura 32) e apoio de ponto deslizante (figura 33)

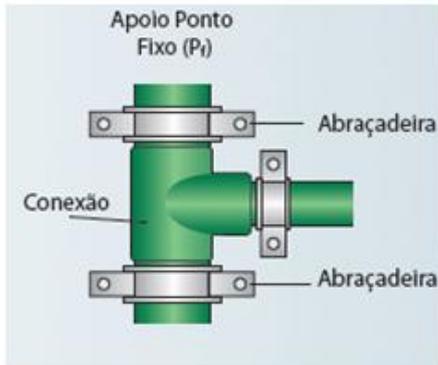


Figura 31-Apoio Ponto Fixo, (AMANCO, 2010).

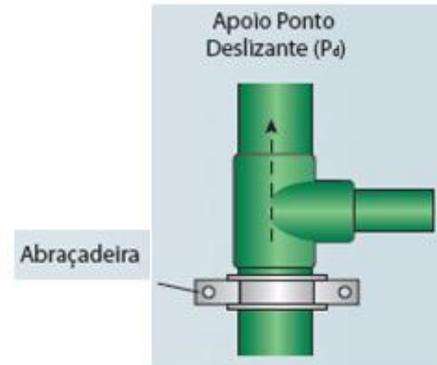


Figura 32-Apoio ponto deslizante, (AMANCO, 2010).

O cálculo de esforços mecânicos pode ser feito por meio de diversas situações estruturais, Amanco (2010). Para conexões “Tê”, adota-se a configuração estrutural de uma viga biapoiada de carga concentrada no meio do vão, conforme apresentada na figura 34.

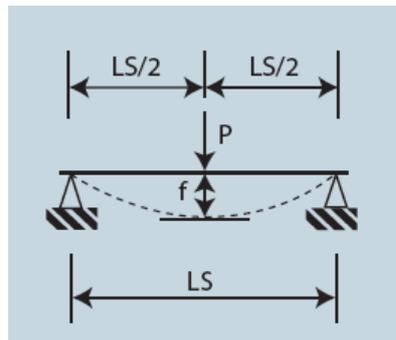


Figura 33 – Configuração estrutural adotada para cálculo de conexões “Tê”. (AMANCO, 2010).

A figura 34 mostra outra configuração estrutural (que não será calculada nesta pesquisa), tipo “cotovelo”. Neste caso, o cálculo é feito considerando a execução de braços elásticos na instalação. Pode ser usado também o duplo braço deslizante, que configura o tipo “lira”. As liras de dilatação podem compensar parte dos esforços que a tubulação está submetida, dissipando-os, por meio da flexão das tubulações.

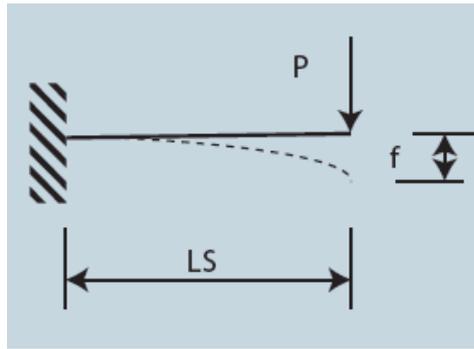


Figura 34 – Configuração estrutural tipo “cotovelo”. (AMANCO, 2010).

O LS é a distância entre os apoios, P é a força que tubo está sofrendo devido à dilatação térmica contida, e f é a distância (vertical ou perpendicular) entre o ponto original do centro do tubo antes e depois do deslocamento da tubulação, na busca de absorver os deslocamentos. O catálogo Amanco (2010) assenta que para calcular a força que a tubulação está sofrendo devido à dilatação térmica contida deve-se adotar a equação 12.

$$P = \frac{3 \times \Delta L \times E \times I}{(L \times S)^3} \quad \text{Eq. 12}$$

Em que:

$\Delta L$  = Variação linear no trecho considerado (mm)

E = Modulo de elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>)

I = Momento de Inércia da tubulação analisada (cm<sup>4</sup>)

L x S = Comprimento do trecho considerado (cm)

Da mesma forma, Amanco (2010) indica que o cálculo do momento de inércia deve ser calculado conforme a equação 13.

$$I = \frac{\pi}{64} \times [De^4 - (De - 2e)^4] \quad \text{Eq. 13}$$

Em que:

$I$  = momento de inércia da tubulação

$D_e$  = diâmetro externo

$e$  = espessura da parede do tubo

Para realizar o cálculo do módulo de elasticidade, deve-se adotar a equação 14, segundo as orientações da Amanco (2010) para o material PPR.

$$E = -4561,9 \ln(\text{temperatura}^{\circ}\text{C}) + 21685 \quad \text{Eq. 14}$$

Nayyar (2000) apresenta o cálculo para tensão devido à expansão térmica segundo a equação 15, que deve ser menor que a tensão máxima resistente do material.

$$\frac{(i \times Mc)}{Z} \leq T \quad \text{Eq. 15}$$

Em que:

$T$  = tensão máxima resistente do material para expansão térmica ( $\text{Kgf} / \text{cm}^2$ )

$Mc$  = momento fletor resultante devido à expansão térmica ( $\text{Kgf} \times \text{cm}$ )

$Z$  = momento resistente da seção transversal da seção da tubulação ( $\text{cm}^3$ )

$i$  = fator de intensificação de tensão (adimensional)

O fator de intensificação de tensão é um fator de segurança para contabilizar os efeitos das tensões localizadas na tubulação que está sob um carregamento repetitivo. Segundo Nayyar (2000) esse é um fator aplicado a soldas, conexões, derivações e outros componentes da tubulação onde concentrações de tensão e possíveis falhas por fadigas podem ocorrer. Normalmente são usados métodos experimentais para determinar tais fatores.

Telles (2006) apresenta o cálculo do vão máximo admissível entre suportes, que é feito também considerando a tubulação como sendo uma viga horizontal. O autor aponta que dois fatores são limitadores do vão máximo:

- No ponto de maior momento fletor, a tensão máxima de flexão deverá ser inferior à uma determinada tensão admissível;

- No meio do vão, a flecha máxima deverá ser inferior a um determinado valor admissível;

O autor ainda menciona que em cada caso a tensão máxima e a flecha máxima dependerão do sistema de suportes e do tipo de carregamento.

Dessa forma, se a tensão (T) é igual a  $\frac{M}{Z}$ , e o momento fletor atuante na viga biapoiada com carga concentrada no meio do vão é de  $\frac{P \times L}{4}$ , obtém-se a equação 16.

$$L = \frac{4 \times T \times Z}{P} \quad \text{Eq. 16}$$

Em que:

L = é o vão máximo admissível entre suportes (m)

T = tensão (Kgf / cm<sup>2</sup>)

Z = momento resistente da seção transversal da seção da tubulação (cm<sup>3</sup>)

P = força atuante no tubo (no caso, uma força concentrada no meio do vão).

A realização dos cálculos visando alcançar os objetivos de calcular os esforços segundo os dados do fabricante, calcular os esforços segundo equações tradicionais e analisar comparativamente as duas, adotou-se a seguinte ordem de cálculos:

- **Momento de inércia: (conforme equação 13)**
- **Módulo de resistência Elástico:**

$$W = \frac{I}{y} \quad \text{Eq. 17}$$

Em que:

W = Módulo de resistência Elástico (cm<sup>3</sup>)

I = Momento de Inércia (cm<sup>4</sup>)

y = distância da linha neutra à face comprimida/tracionada (cm)

- **Módulo de Elasticidade: (conforme equação 14)**
- **Deflexão máxima na viga:**

$$\text{deflexão máxima} = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I} \quad \text{Eq. 18}$$

Em que:

P = é a força atuante na viga (Kgf)

L = é o comprimento total da viga (cm)

E = Módulo de Elasticidade (Kgf/cm<sup>2</sup>)

I = Momento de Inércia (cm<sup>4</sup>)

- **Momento fletor máximo (que, neste caso, ocorre no centro da viga, no ponto de inversão da força cortante):**

$$M = \frac{P \times L}{4} \quad \text{Eq. 19}$$

Em que:

M = momento fletor máximo atuante na viga (Kgf x cm)

L = é o comprimento total da viga (metros)

P = é a força atuante na viga (Kgf)

- **Tensão máxima de compressão (kgf / cm<sup>2</sup>):**

$$\sigma_c = \frac{M_e}{W_c} \quad \text{Eq.20}$$

Em que:

W<sub>c</sub> = I<sub>x</sub> / Y<sub>c</sub>

W<sub>c</sub> = módulo de resistência elástico relacionado à fibra extrema comprimida da seção transversal (cm<sup>3</sup>)

Y<sub>c</sub> = distância da linha neutra à face comprimida (cm)

M<sub>e</sub> = Momento fletor (kgf x cm)

I<sub>x</sub> = momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo de flexão. (cm<sup>4</sup>)

- **Tensão máxima de tração (kgf / cm<sup>2</sup>):**

$$\sigma_t = \frac{Me}{W_t}$$

Eq. 21

Em que:

$$W_t = I_x / Y_t$$

$W_t$  = módulo de resistência elástico relacionado à fibra extrema tracionada da seção transversal (cm<sup>3</sup>)

$Y_t$  = distância da linha neutra à face tracionada (cm)

$Me$  = Momento fletor (kgf x cm)

$I_x$  = momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo de flexão. (cm<sup>4</sup>)

## **5. INSTALAÇÃO HIDRÁULICA DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL – ESTUDO DE CASO**

### **5.1 - Descrição do estudo de caso**

O estudo de caso aqui apresentado se refere ao trabalho realizado em pesquisa de extensão, pela Fundação Cristiano Otoni em 2010, trabalho este que necessitou de complemento no que tange ao confronto das equações fornecidas pelo fabricante com as equações utilizadas na literatura. Dessa forma, nesta pesquisa, foram usados os dados obtidos em testes de laboratório e ensaios com materiais do próprio edifício, realizados pela FCO, 2010.

Os problemas encontrados no edifício desse estudo de caso, não apenas trouxeram insatisfações e ônus aos proprietários, mas também foram levados à justiça em busca de desvelar e transferir os ônus dos proprietários para o (os) responsável (is).

O edifício objeto desse estudo possui 22 andares e tem um sistema de distribuição de água tipicamente utilizado no Brasil. O sistema é do tipo descendente com uma caixa d' água inferior e uma superior. Esse edifício possui também um sistema de água quente do tipo descendente no qual uma caldeira aquece a água e posteriormente a distribui para as colunas e ramais abaixo, tal como apresentado na figura 35.

Objetivando manter as pressões no sistema dentro de valores compatíveis com os equipamentos residenciais e próximos dos limites prescritos nas normas (NBR 5626, 1998) instalaram-se válvulas redutoras de pressão (VPR) no décimo segundo andar. Após a entrega do edifício para ocupação pelos moradores e início de operação foram observadas situações nas quais se identificou, por meio de ruídos, que ocorriam transitórios hidráulicos, provavelmente, devido a fechamentos e aberturas de válvulas. Também foram verificadas rupturas em partes das colunas e dos ramais. Para se determinar os perfis de pressão e as temperaturas desses sistemas fez-se o monitoramento do sistema de modo a se mapear o funcionamento da rede (FCO, 2010).

Nesses casos, os pontos de instalação foram os mais baixos possíveis da rede e os sensores foram instalados de modo a permitir fácil acesso. Dessa forma, instalaram-se os equipamentos no salão de festas do edifício. A figura 36 mostra um desenho esquemático da planta de localização dos oito sensores de pressão e de temperatura instalados no sistema de abastecimento de água quente (os números indicam as posições desses sensores). Em cada ponto realizou-se a medição de pressão e de temperatura locais. Além disso, os sensores

foram instalados a jusante de um registro de gaveta que possibilitava a sua retirada e manutenção. As figuras 37 e 38 apresentam uma instalação de um ponto de tomada de pressão e dos sensores em um ramal de água de um edifício.

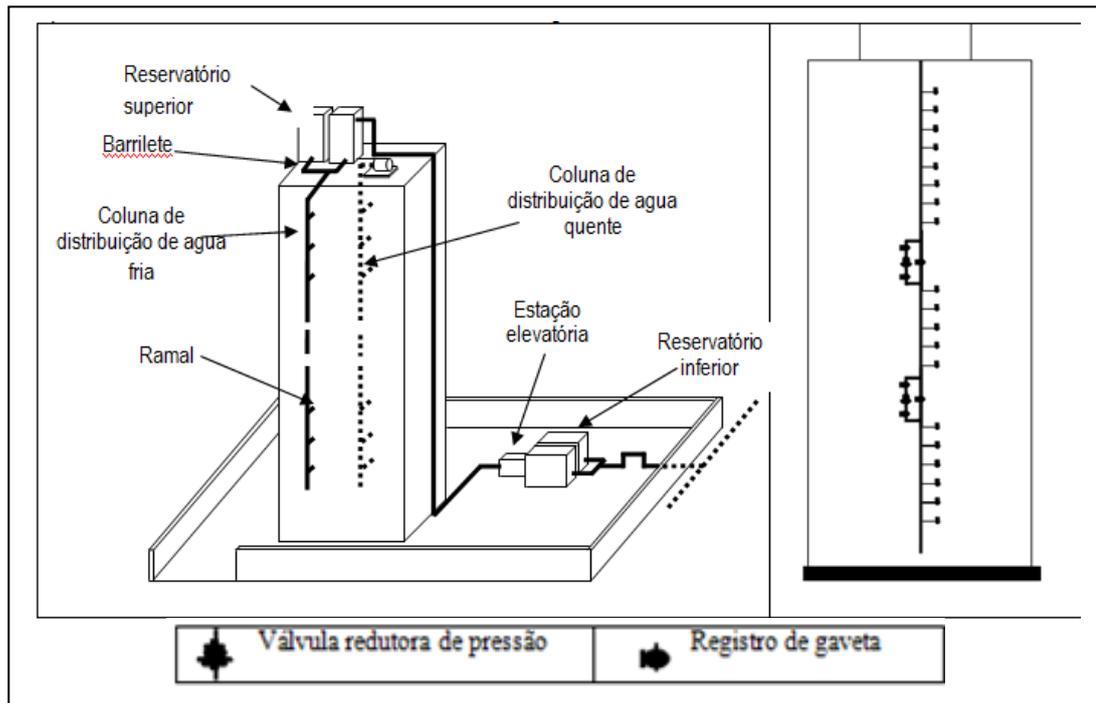


Figura 35 – Instalação predial do tipo descendente. Adaptado de (BAPTISTA, 2006) E CREDER (2006) apud Martinez *et al.* 2012

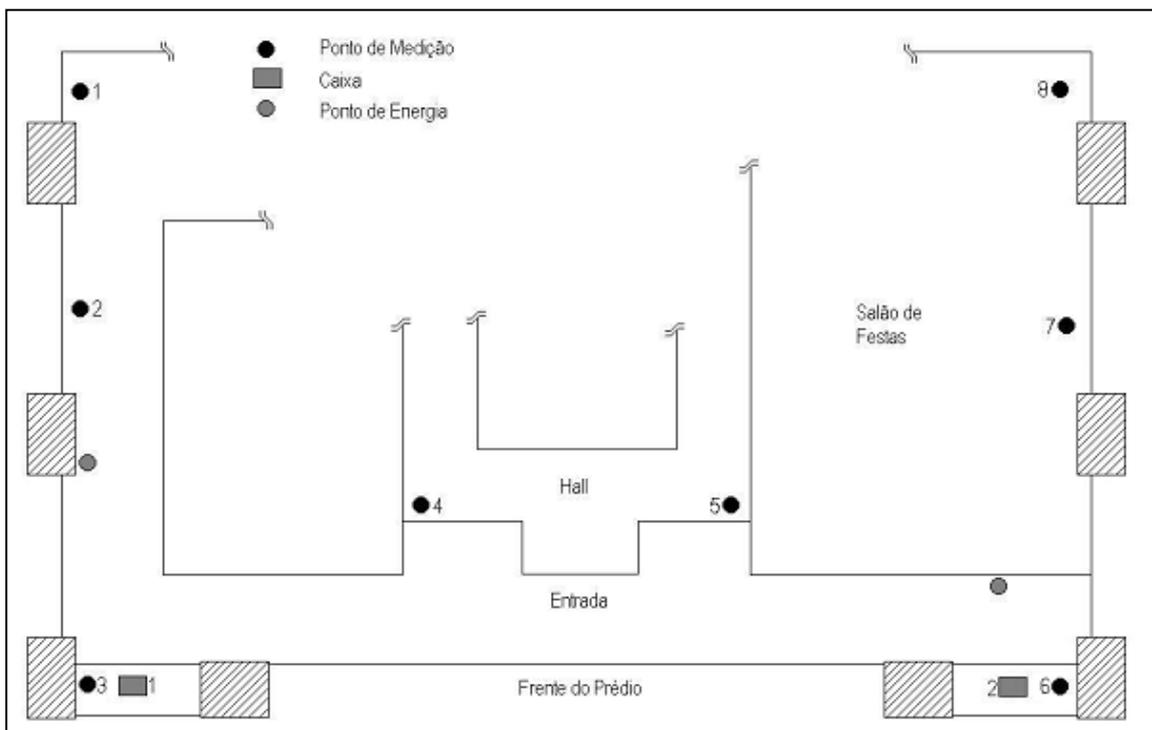


Figura 36 – Planta de localização dos sensores de pressão e temperatura instalados no edifício. (FCO, 2010)



Figura 37 - Detalhe dos pontos de tomada de pressão visto de uma janela de instalação. (FCO, 2010)

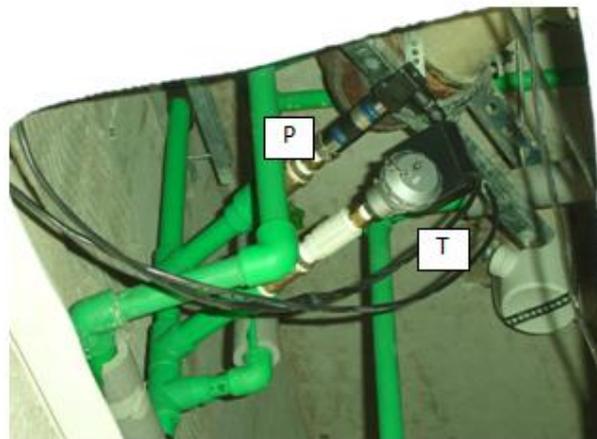


Figura 38 – Vista dos sensores de pressão (P) e de temperatura (T) já instalados em uma coluna de água quente do edifício. (FCO, 2010)

## 5.2 - Coleta de dados

O processo de monitoramento durou três meses e utilizou sistema de aquisição de dados com diferentes taxas de frequências para os dados de pressão e temperatura. A taxa de aquisição de dados para a pressão foi de, aproximadamente, 100 Hz. No caso da temperatura, a taxa de aquisição foi de 5 Hz.

Alguns eventos de ruptura durante o período de monitoramento estão apresentados na figura 39. As figuras 40 e 41 apresentam os transitórios que foram observados mediante o monitoramento no edifício. Os detalhes técnicos dos medidores utilizados no sistema de monitoramento de pressão e temperatura estão listados a seguir:

- Transmissor de Pressão. Faixa: 0 a 250 psi, grau de proteção IP.65; Invólucro: AISI 316; Elétrica: DIN 43650, Sinal de saída 4-20 mA, 2 fios, Alimentação 10-30 Vcc, Exatidão 0,25% FE, Rosca: ½” NPT.
- Sensor de temperatura, tipo PT.100 3 fios, cabeçote grande alumínio, classe A, elétrica ½” NPT (F), haste inox 6 x 150 mm, rosca ½” NPT, com rabicho 1,5 m.
- Transmissor de corrente para o sensor de temperatura, faixa 0 a 100°C, entrada PT.100 3 fios, sinal de saída 4-20 mA 2 fios, alimentação 10-30 Vcc.

Diariamente, foram calculados os valores médios e os valores máximos de pressão para cada ponto de medição. Durante o período analisado (3 meses), o máximo valor de pressão medida atingiu o valor de 143,9 psi (~100,9 mca.). Ou seja, a rede de tubulação de todo o sistema de abastecimento de água quente trabalhou com níveis de pressões inferiores ao valor limite recomendado pelo fabricante, uma vez que a pressão admissível de trabalho para o tubo utilizado no sistema de água quente, para tempo de serviço de 10 anos, é de aproximadamente 193 m.c.a. à temperatura de 40°C (valores constantes na Tabela 6, pág. 25, do “Manual Técnico Linha Amanco PPR para Condução de Água Quente e Fria”).

Como exemplo, pode-se observar na figura 39 os eventos de rupturas nas tubulações em cada apartamento, enquanto que nas figuras 40 e 41 pode-se verificar os picos de pressão nos gráficos de pressão medida no ponto 4 (ou canal 4) por intervalo de medição em minutos.

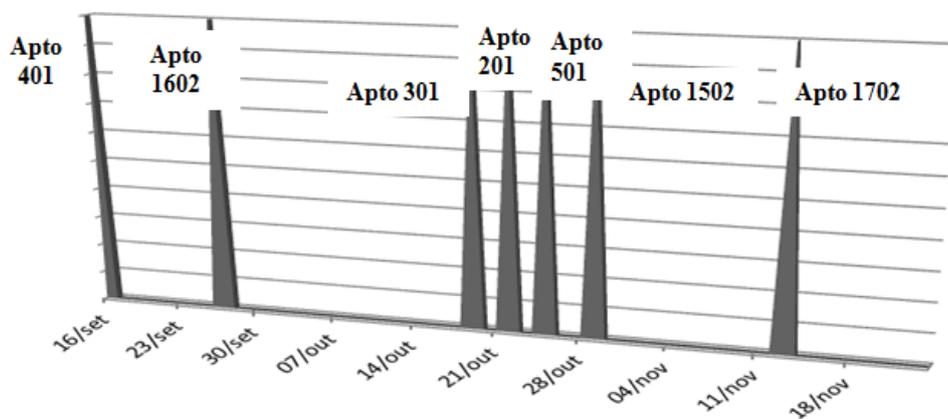


Figura 39 – Eventos de rupturas nas tubulações. (FCO, 2010)

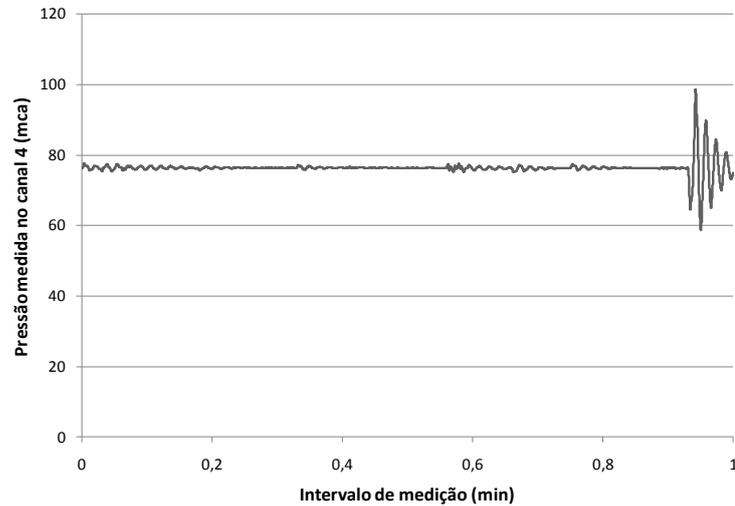


Figura 40- Curva de pressão medida no canal 4 (fig. 47) em 60 segundos para o trecho de pressão máxima em 9/10/2010. (FCO, 2010)

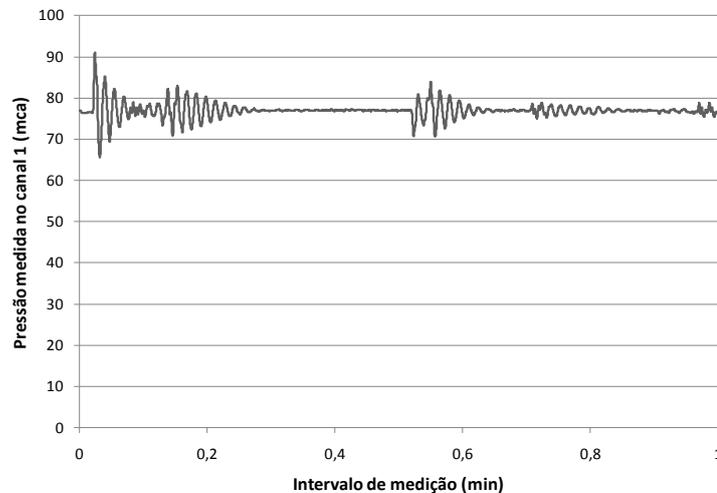


Figura 41 – Curva de pressão medida no canal 1 (fig. 47) em 60 segundos para o trecho de pressão máxima em 10/10/2010. (FCO, 2010)

Após realizadas as medições, ainda na pesquisa realizada pela Fundação Cristiano Otoni (FCO 2010) foram feitos testes de bancada para calcular as variações diametrais e longitudinais e o coeficiente de dilatação térmica dos tubos e conexões. Na bancada de teste foi usada uma bomba de múltiplos estágios que simula as condições encontradas em campo. Manteve-se uma pressão de 40 m.c.a. e variou-se a temperatura de 25°C a 52°C. Após este levantamento os valores de variação longitudinal média em função da variação da temperatura foram inseridos na Eq. 11 (cálculo de dilatação térmica) para se obter o coeficiente de dilatação térmica do tubo. Pela análise dos resultados chegou-se a coeficientes de dilatação

térmica para a conexão “Tê” de  $1,4 \times 10^{-4}$  mm/m °C, para o tubo de 20mm, de  $1,8 \times 10^{-4}$  mm/m °C, para o tubo de 25mm, e de  $1,1 \times 10^{-4}$  mm/m °C, para o tubo de 32mm. A ordem de grandeza dos valores estimados para o coeficiente de dilatação térmica está compatível com valores disponíveis na literatura (AMANCO, 2010).

Também foram realizados testes para a avaliação da variação diametral da tubulação em função da pressão. Para tal, utilizou-se um tanque com óleo para elevação da temperatura até 50 °C. Os corpos de prova foram deixados nesse tanque em repouso durante 30 minutos até alcançarem uma estabilidade térmica. Passado o tempo estipulado iniciou-se o aumento da pressão até atingir o valor de 140 m.c.a. Os corpos de prova foram deixados nessa situação durante 24 horas e posteriormente foram feitas as medições de variação diametral dos mesmos. Foi observado que o efeito da variação diametral na tubulação e na conexão devido ao aumento de pressão se mostrou desprezível para a temperatura de 50 °C.

Logo após, foram verificadas as variações longitudinais devido à variação de pressão do tubo e da conexão, de corpos de provas (20 mm, 25 mm e 32 mm) em temperaturas de 25°C, 35°C, 45°C e 55°C. Esse teste foi realizado inserindo o tubo em um tanque com óleo nas temperaturas anteriormente citadas. Os corpos de prova foram deixados em repouso durante 30 minutos. Após o tempo estipulado iniciou-se o aumento da pressão até atingir o valor de 140 mca. Os corpos de prova foram deixados nessa situação durante 24 horas e posteriormente foram feitas as medições de variação longitudinal dos mesmos. Foram descontados os deslocamentos longitudinais devidos a variação de temperatura (obtidos nos ensaios anteriores). Os resultados obtidos nos ensaios realizados para avaliar a influência da pressão sobre as dimensões da tubulação, nas temperaturas de 25°C, 35°C, 45°C e 55°C, mostraram que não houve variação significativa dessas dimensões para os valores de pressão e temperatura ensaiados.

## 6. RESULTADOS DA PESQUISA

### 6.1 Comparação entre dados teóricos e resultado

#### a. Estudos teóricos

Os estudos teóricos aqui chamados são relativos à configuração estruturada, mencionada no Manual Técnico Linha PPR Amanco (2010), onde são apresentadas como possível solução para o cálculo dos esforços no sistema composto por tubulações de PPR em edifícios, embora não apresente os cálculos que devem ser realizados para o alcance dos resultados. Dessa forma, a presente pesquisa adotou os parâmetros necessários para o cálculo, informados pelo manual supracitado, e realizou os cálculos teóricos dos esforços atuantes na tubulação, mais especificamente na conexão “Tê”, cujo sistema foi representado por uma situação estrutural. Utilizou-se dos conhecimentos em análise estrutural e resistência dos materiais para tal, bem como das diretrizes apresentadas em NBRs, Fichas técnicas, Manuais, ISOs e literatura existente.

“O termo esforço, abrange as ideias de força (concentrada, distribuída, de superfície etc), momento e tensão. Uma vez definida a estrutura, é necessário determinar os esforços que ela irá suportar. A análise de esforços é utilizada para se adotar a forma mais adequada para a estrutura.” (USP, 2009)

Utilizou-se dos dados apresentados nas tabelas 8 a 13 (FCO, 2010) para os cálculos de esforços para a hipótese “Tê” com a temperatura variando de 35° a 55° Celsius.

**Tabela 8 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação calculados em ensaios e temperatura de 35°C. (FCO, 2010).**

Distâncias aos apoios	Força em Kgf para temperatura de 35°C		
	20	25	32
Diâmetro (mm)			
(L/2) em cm	Força em Kgf		
6	33,93	88,95	139,58
7,5	17,37	45,54	71,47
10	7,33	19,21	30,15
12,5	3,75	9,84	15,44
15	2,17	5,69	8,93
20	0,92	2,4	3,77
40	0,11	0,3	0,47
60	0,03	0,09	0,14
70	0,02	0,06	0,09
80	0,01	0,04	0,06
100	0,01	0,02	0,03
150	0	0,01	0,01

**Tabela 9 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação AMANCO e temperatura de 35°C. (FCO, 2010) (adaptado).**

Distâncias aos apoios	Força em Kgf para temperatura de 35°C		
Diâmetro (mm)	20	25	32
(L/2) em cm	Força em Kgf		
6	25,45	74,12	232,64
7,5	13,03	37,95	119,11
10	5,5	16,01	50,25
12,5	2,81	8,2	25,73
15	1,63	4,74	14,89
20	0,69	2	6,28
40	0,09	0,25	0,79
60	0,03	0,07	0,23
70	0,02	0,05	0,15
80	0,01	0,03	0,1
100	0,01	0,02	0,05
150	0	0	0,01

**Tabela 10 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação calculados em ensaios e temperatura de 45°C. (FCO, 2010) (adaptado).**

Distâncias aos apoios	Força em Kgf para temperatura de 45°C		
Diâmetro (mm)	20	25	32
(L/2) em cm	Força em Kgf		
6	67,86	177,9	279,17
7,5	34,74	91,08	142,93
10	14,66	38,43	60,3
12,5	7,5	19,67	30,87
15	4,34	11,39	17,87
20	1,83	4,8	7,54
40	0,23	0,6	0,94
60	0,07	0,18	0,28
70	0,04	0,11	0,18
80	0,03	0,08	0,12
100	0,01	0,04	0,06
150	0	0,01	0,02

**Tabela 11 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação AMANCO e temperatura de 45°C. (FCO, 2010) (adaptado).**

Distâncias aos apoios	Força em Kgf para temperatura de 45°C		
Diâmetro (mm)	20	25	32
(L/2) em cm	Força em Kgf		
6	50,89	148,25	465,28
7,5	26,06	75,9	238,22
10	10,99	32,02	100,5
12,5	5,63	16,39	51,46
15	3,26	9,49	29,78
20	1,37	4	12,56
40	0,17	0,5	1,57
60	0,05	0,15	0,47
70	0,03	0,09	0,29
80	0,02	0,06	0,2
100	0,01	0,03	0,1
150	0	0,01	0,03

**Tabela 12 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação calculados em ensaios e temperatura de 55°C. (FCO, 2010) (adaptado).**

Distâncias aos apoios	Força em Kgf para temperatura de 55°C		
Diâmetro (mm)	20	25	32
(L/2) em cm	Força em Kgf		
6	101,79	266,84	418,75
7,5	52,11	136,62	214,4
10	21,99	57,64	90,45
12,5	11,26	29,51	46,31
15	6,51	17,08	26,8
20	2,75	7,2	11,31
40	0,34	0,9	1,41
60	0,1	0,27	0,42
70	0,06	0,17	0,26
80	0,04	0,11	0,18
100	0,02	0,06	0,09
150	0,01	0,02	0,03

**Tabela 13 - Esforços calculados segundo a configuração estruturada com os coeficientes de dilatação AMANCO e temperatura de 55°C. (FCO, 2010) (adaptado).**

Distâncias aos apoios	Força em Kgf para temperatura de 55°C		
	Diâmetro (mm)	20	25
(L/2) em cm	Força em Kgf		
6	76,34	222,37	697,92
7,5	39,09	113,85	357,34
10	16,49	48,03	150,75
12,5	8,44	24,59	77,18
15	4,89	14,23	44,67
20	2,06	6	18,84
40	0,26	0,75	2,36
60	0,08	0,22	0,7
70	0,05	0,14	0,44
80	0,03	0,09	0,29
100	0,02	0,05	0,15
150	0	0,01	0,04

Como podemos observar nas tabelas apresentadas as forças calculadas segundo a equação indicada pela AMANCO, porém com a diferença os coeficientes de dilatação (sendo em uma das tabelas o calculado e na outra o valor fornecido pelo AMANCO); os esforços aos quais as tubulações serão submetidas são inversamente proporcionais à distância de instalação dos apoios de fixação, para 35°C, 45°C e 55°C.

Uma vez calculadas as forças atuantes na tubulação devido às variações de temperatura com variações nas distâncias dos apoios, foram calculados o momento fletor máximo e o deslocamento máximo da tubulação (viga). A configuração estrutural foi adotada com as seguintes condições de contorno: uma viga biapoiada, cuja carga é permanente e concentrada e está exatamente no centro da viga, conforme mostrado anteriormente na figura 33.

Para calcular o momento fletor, as deflexões máximas e as tensões admissíveis foram calculadas as propriedades geométricas do material: Momento de Inércia (I), Módulo de resistência Elástico (W), o Módulo de elasticidade (E) e Deflexão máxima na viga.

A deflexão máxima admissível, segundo o manual Amanco, 2010, é correspondente a 2% da distância entre os apoios.

Os resultados obtidos dos cálculos realizados através das equações mencionadas estão apresentados nas tabelas 14 a 22. Algumas tabelas apresentam células coloridas de laranja, que marcam os valores que extrapolaram os limites estabelecidos para os respectivos índices:

**Tabela 14 - Tabela de cálculo do Momento de Inércia dos tubos**

Diâmetro do tubo (mm)	Diâmetro Externo (cm)	diâmetro Interno (cm)	Momento de Inércia (cm <sup>4</sup> )
20mm	2	1,32	0,636
25mm	2,5	1,66	1,544
32mm	3,2	2,12	4,154

**Tabela 15 - Tabela de cálculo do Módulo de elasticidade**

GRAUS CELSIUS	E = -4561,9LN(35)+21685	
35	5465,86	Kgf/cm2
GRAUS CELSIUS	E = -4561,9LN(45)+21685	
45	4319,39	Kgf/cm2
GRAUS CELSIUS	E = -4561,9LN(55)+21685	
55	3403,95	Kgf/cm2

**Tabela 16 - Tabela de cálculo da distância da linha neutra à face comprimida / tracionada (y)**

Diâmetro do Tubo (mm)	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)	y (cm)
20	20	14,4	1,00
25	25	18	1,25
32	32	23,2	1,60

**Tabela 17 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis (Para 35°C)**

Distâncias aos apoios	Módulo de resistencia elástico W (cm <sup>3</sup> )			Deflexão máxima calculada			Flecha máxima admissivel (cm)		
	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	W em cm <sup>3</sup>			Deflexão em mm			Deflexão em mm		
6	0,64	1,24	2,60	0,35	0,38	0,22	0,2400	0,2400	0,2400
7,5				0,35	0,38	0,22	0,3000	0,3000	0,3000
10				0,35	0,38	0,22	0,4000	0,4000	0,4000
12,5				0,35	0,38	0,22	0,5000	0,5000	0,5000
15				0,35	0,38	0,22	0,6000	0,6000	0,6000
20				0,35	0,38	0,22	0,8000	0,8000	0,8000
40				0,34	0,38	0,22	1,6000	1,6000	1,6000
60				0,31	0,38	0,22	2,4000	2,4000	2,4000
70				0,33	0,41	0,23	2,8000	2,8000	2,8000
80				0,25	0,40	0,23	3,2000	3,2000	3,2000
100				0,48	0,39	0,22	4,0000	4,0000	4,0000
150				0,00	0,67	0,25	6,0000	6,0000	6,0000

**Tabela 18 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis AMANCO (Para 35°C)**

Distâncias aos apoios	Módulo de resistencia elástico W (cm <sup>3</sup> )			Deflexão máxima calculada			Flecha máxima admissivel (cm)		
	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	W em cm <sup>3</sup>			Deflexão em mm			Deflexão em mm		
6	0,64	1,24	2,60	0,26	0,32	0,37	0,24	0,24	0,24
7,5				0,26	0,32	0,37	0,30	0,30	0,30
10				0,26	0,32	0,37	0,40	0,40	0,40
12,5				0,26	0,32	0,37	0,50	0,50	0,50
15				0,26	0,32	0,37	0,60	0,60	0,60
20				0,26	0,32	0,37	0,80	0,80	0,80
40				0,28	0,32	0,37	1,60	1,60	1,60
60				0,31	0,30	0,36	2,40	2,40	2,40
70				0,33	0,34	0,38	2,80	2,80	2,80
80				0,25	0,30	0,38	3,20	3,20	3,20
100				0,48	0,39	0,37	4,00	4,00	4,00
150				0,00	0,00	0,25	6,00	6,00	6,00

**Tabela 19 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis (Para 45°C)**

Distâncias aos apoios	Módulo de resistencia elástico W (cm <sup>3</sup> )			Deflexão máxima calculada			Flecha máxima admissivel (cm)		
	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	W em cm <sup>3</sup>			Deflexão em mm			Deflexão em mm		
6	0,64	1,24	2,60	0,89	0,96	0,56	0,2400	0,2400	0,2400
7,5				0,89	0,96	0,56	0,3000	0,3000	0,3000
10				0,89	0,96	0,56	0,4000	0,4000	0,4000
12,5				0,89	0,96	0,56	0,5000	0,5000	0,5000
15				0,89	0,96	0,56	0,6000	0,6000	0,6000
20				0,89	0,96	0,56	0,8000	0,8000	0,8000
40				0,89	0,96	0,56	1,6000	1,6000	1,6000
60				0,92	0,97	0,56	2,4000	2,4000	2,4000
70				0,83	0,94	0,57	2,8000	2,8000	2,8000
80				0,93	1,02	0,57	3,2000	3,2000	3,2000
100				0,61	1,00	0,56	4,0000	4,0000	4,0000
150				0,00	0,84	0,63	6,0000	6,0000	6,0000

**Tabela 20 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis AMANCO (Para 45°C)**

Distâncias aos apoios	Módulo de resistencia elástico W (cm <sup>3</sup> )			Deflexão máxima calculada			Flecha máxima admissivel (cm)		
	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	W em cm <sup>3</sup>			Deflexão em mm			Deflexão em mm		
6	0,64	1,24	2,60	0,67	0,80	0,93	0,2400	0,2400	0,2400
7,5				0,67	0,80	0,93	0,3000	0,3000	0,3000
10				0,67	0,80	0,93	0,4000	0,4000	0,4000
12,5				0,67	0,80	0,93	0,5000	0,5000	0,5000
15				0,67	0,80	0,93	0,6000	0,6000	0,6000
20				0,66	0,80	0,93	0,8000	0,8000	0,8000
40				0,66	0,80	0,93	1,6000	1,6000	1,6000
60				0,66	0,81	0,94	2,4000	2,4000	2,4000
70				0,62	0,77	0,92	2,8000	2,8000	2,8000
80				0,62	0,77	0,95	3,2000	3,2000	3,2000
100				0,61	0,75	0,93	4,0000	4,0000	4,0000
150				0,00	0,84	0,94	6,0000	6,0000	6,0000

**Tabela 21 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis (Para 55°C)**

Distâncias aos apoios	Módulo de resistencia elástico W (cm <sup>3</sup> )			Deflexão máxima calculada			Flecha máxima admissível (cm)		
	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	W em cm <sup>3</sup>			Deflexão em mm			Deflexão em mm		
6	0,64	1,24	2,60	1,69	1,83	1,07	0,2400	0,2400	0,2400
7,5				1,69	1,83	1,07	0,3000	0,3000	0,3000
10				1,69	1,83	1,07	0,4000	0,4000	0,4000
12,5				1,69	1,83	1,07	0,5000	0,5000	0,5000
15				1,69	1,83	1,07	0,6000	0,6000	0,6000
20				1,69	1,83	1,07	0,8000	0,8000	0,8000
40				1,68	1,83	1,06	1,6000	1,6000	1,6000
60				1,66	1,85	1,07	2,4000	2,4000	2,4000
70				1,58	1,85	1,05	2,8000	2,8000	2,8000
80				1,58	1,79	1,09	3,2000	3,2000	3,2000
100				1,54	1,90	1,06	4,0000	4,0000	4,0000
150				2,60	2,14	1,19	6,0000	6,0000	6,0000

**Tabela 22 - Tabela de cálculo do módulo de resistência elástico e das deflexões máximas calculadas e máximas admissíveis AMANCO (Para 55°C)**

Distâncias aos apoios	Módulo de resistencia elástico W (cm <sup>3</sup> )			Deflexão máxima calculada			Flecha máxima admissível (cm)		
	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	W em cm <sup>3</sup>			Deflexão em mm			Deflexão em mm		
6	0,64	1,24	2,60	1,27	1,52	1,78	0,2400	0,2400	0,2400
7,5				1,27	1,52	1,78	0,3000	0,3000	0,3000
10				1,27	1,52	1,78	0,4000	0,4000	0,4000
12,5				1,27	1,52	1,78	0,5000	0,5000	0,5000
15				1,27	1,52	1,78	0,6000	0,6000	0,6000
20				1,27	1,52	1,78	0,8000	0,8000	0,8000
40				1,28	1,52	1,78	1,6000	1,6000	1,6000
60				1,33	1,51	1,78	2,4000	2,4000	2,4000
70				1,32	1,52	1,78	2,8000	2,8000	2,8000
80				1,18	1,46	1,75	3,2000	3,2000	3,2000
100				1,54	1,59	1,77	4,0000	4,0000	4,0000
150				0,00	1,07	1,59	6,0000	6,0000	6,0000

Segundo as equações de equilíbrio desta viga, temos que o momento fletor máximo ocorre no centro da viga (no ponto de inversão da força cortante). Os resultados de momentos fletores

máximos obtidos, tanto através dos cálculos realizados com dados de ensaios quanto através dos cálculos realizados com os coeficientes de dilatação apresentados no manual Amanco, 2010, estão apresentados nas tabelas 23 a 28. São apresentadas também as forças calculadas, fazendo um comparativo com os dados do manual Amanco, 2010.

**Tabela 23 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo (Para 35°C)**

Distâncias aos apoios	Força em kgf para temperatura de 35°C			Momento Fletor Máximo (kgf x cm)		
	Diâmetro (mm)	20	25	32	20	25
(L/2) em cm	Força em Kgf			Força em Kgf		
6	33,93	88,95	139,58	101,79	266,85	418,74
7,5	17,37	45,54	71,47	65,14	170,78	268,01
10	7,33	19,21	30,15	36,65	96,05	150,75
12,5	3,75	9,84	15,44	23,44	61,50	96,50
15	2,17	5,69	8,93	16,28	42,68	66,98
20	0,92	2,4	3,77	9,20	24,00	37,70
40	0,11	0,3	0,47	2,20	6,00	9,40
60	0,03	0,09	0,14	0,90	2,70	4,20
70	0,02	0,06	0,09	0,70	2,10	3,15
80	0,01	0,04	0,06	0,40	1,60	2,40
100	0,01	0,02	0,03	0,50	1,00	1,50
150	0	0,01	0,01	0,00	0,75	0,75

Tabela 24 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo AMANCO (Para 35°C)

Distâncias aos apoios	Força em kgf para temperatura de 35°C			Momento Fletor Máximo (kgf x cm)		
	Diâmetro (mm)	20	25	32	20	25
(L/2) em cm	Força em Kgf			Força em Kgf		
6	25,45	74,12	232,64	76,35	222,36	697,92
7,5	13,03	37,95	119,11	48,86	142,31	446,66
10	5,5	16,01	50,25	27,50	80,05	251,25
12,5	2,81	8,2	25,73	17,56	51,25	160,81
15	1,63	4,74	14,89	12,23	35,55	111,68
20	0,69	2	6,28	6,90	20,00	62,80
40	0,09	0,25	0,79	1,80	5,00	15,80
60	0,03	0,07	0,23	0,90	2,10	6,90
70	0,02	0,05	0,15	0,70	1,75	5,25
80	0,01	0,03	0,1	0,40	1,20	4,00
100	0,01	0,02	0,05	0,50	1,00	2,50
150	0	0	0,01	0,00	0,00	0,75

Tabela 25 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo (Para 45°C)

Distâncias aos apoios	Força em kgf para temperatura de 45°C			Momento Fletor Máximo (kgf x cm)		
	Diâmetro (mm)	20	25	32	20	25
(L/2) em cm	Força em Kgf			Força em Kgf		
6	67,86	177,9	279,17	203,58	533,70	837,51
7,5	34,74	91,08	142,93	130,28	341,55	535,99
10	14,66	38,43	60,3	73,30	192,15	301,50
12,5	7,5	19,67	30,87	46,88	122,94	192,94
15	4,34	11,39	17,87	32,55	85,43	134,03
20	1,83	4,8	7,54	18,30	48,00	75,40
40	0,23	0,6	0,94	4,60	12,00	18,80
60	0,07	0,18	0,28	2,10	5,40	8,40
70	0,04	0,11	0,18	1,40	3,85	6,30
80	0,03	0,08	0,12	1,20	3,20	4,80
100	0,01	0,04	0,06	0,50	2,00	3,00
150	0	0,01	0,02	0,00	0,75	1,50

Tabela 26 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo AMANCO (Para 45°C)

Distâncias aos apoios	Força em kgf para temperatura de 45°C			Momento Fletor Máximo (kgf x cm)		
	Diâmetro (mm)	20	25	32	20	25
(L/2) em cm	Força em Kgf			Força em Kgf		
6	50,89	148,25	465,28	152,67	444,75	1395,84
7,5	26,06	75,9	238,22	97,73	284,63	893,33
10	10,99	32,02	100,5	54,95	160,10	502,50
12,5	5,63	16,39	51,46	35,19	102,44	321,63
15	3,26	9,49	29,78	24,45	71,18	223,35
20	1,37	4	12,56	13,70	40,00	125,60
40	0,17	0,5	1,57	3,40	10,00	31,40
60	0,05	0,15	0,47	1,50	4,50	14,10
70	0,03	0,09	0,29	1,05	3,15	10,15
80	0,02	0,06	0,2	0,80	2,40	8,00
100	0,01	0,03	0,1	0,50	1,50	5,00
150	0	0,01	0,03	0,00	0,75	2,25

Tabela 27 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo (Para 55°C)

Distâncias aos apoios	Força em kgf para temperatura de 55°C			Momento Fletor Máximo (kgf x cm)		
	Diâmetro (mm)	20	25	32	20	25
(L/2) em cm	Força em Kgf			Força em Kgf		
6	101,79	266,84	418,75	305,37	800,52	1256,25
7,5	52,11	136,62	214,4	195,41	512,33	804,00
10	21,99	57,64	90,45	109,95	288,20	452,25
12,5	11,26	29,51	46,31	70,38	184,44	289,44
15	6,51	17,08	26,8	48,83	128,10	201,00
20	2,75	7,2	11,31	27,50	72,00	113,10
40	0,34	0,9	1,41	6,80	18,00	28,20
60	0,1	0,27	0,42	3,00	8,10	12,60
70	0,06	0,17	0,26	2,10	5,95	9,10
80	0,04	0,11	0,18	1,60	4,40	7,20
100	0,02	0,06	0,09	1,00	3,00	4,50
150	0,01	0,02	0,03	0,75	1,50	2,25

Tabela 28 - Tabela de Cálculo do Momento Fletor Máximo AMANCO (Para 55°C)

Distâncias aos apoios	Força em kgf para temperatura de 55°C			Momento Fletor Máximo (kgf x cm)		
	20	25	32	20	25	32
Diâmetro (mm)						
(L/2) em cm	Força em Kgf			Força em Kgf		
6	76,34	222,37	697,92	229,02	667,11	2093,76
7,5	39,09	113,85	357,34	146,59	426,94	1340,03
10	16,49	48,03	150,75	82,45	240,15	753,75
12,5	8,44	24,59	77,18	52,75	153,69	482,38
15	4,89	14,23	44,67	36,68	106,73	335,03
20	2,06	6	18,84	20,60	60,00	188,40
40	0,26	0,75	2,36	5,20	15,00	47,20
60	0,08	0,22	0,7	2,40	6,60	21,00
70	0,05	0,14	0,44	1,75	4,90	15,40
80	0,03	0,09	0,29	1,20	3,60	11,60
100	0,02	0,05	0,15	1,00	2,50	7,50
150	0	0,01	0,04	0,00	0,75	3,00

Analisando os resultados obtidos para as três temperaturas, observa-se que, para os diâmetros de 20mm e 25mm, as forças aplicadas e conseqüentemente os momentos máximos calculados com os dados apresentados pelo manual Amanco 2010 são inferiores aos calculados e apresentados, segundo os dados experimentais, ensaiados. Em contrapartida, para o diâmetro de 32mm, acontece o inverso; os resultados dos cálculos realizados com os dados Amanco 2010 são superiores aos realizados com os dados de ensaios dos testes.

Uma vez encontradas as deflexões máximas e os momentos máximos, resta saber se a viga aguenta a carga sem romper. Calculou-se a tensão máxima de compressão, que ocorre na face superior que está sendo comprimida ( $\sigma_c$ ) e a tensão de tração máxima, que ocorre na face inferior, que está sendo tracionada ( $\sigma_t$ ). O eixo de deformação nula, em regime elástico, passa pelo centro geométrico da seção transversal e coincide com a linha neutra elástica. Para os momentos máximos, onde a seção é mais solicitada, temos as tensões apresentadas nas tabelas 29 a 31.

Tabela 29 - Tabela de cálculo de tensão de compressão/tração para a temperatura de 35°C

Distâncias aos apoios	TEMPERATURA 35°			TEMPERATURA 35° AMANCO		
	Tensões de compressão / tração (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tensões de compressão / tração (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Diâmetro (mm)	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
6	160,04	216,04	161,30	120,04	180,02	268,85
7,5	102,41	138,26	103,24	76,82	115,22	172,06
10	57,62	77,76	58,07	43,24	64,81	96,79
12,5	36,85	49,79	37,17	27,61	41,49	61,95
15	25,59	34,55	25,80	19,22	28,78	43,02
20	14,46	19,43	14,52	10,85	16,19	24,19
40	3,46	4,86	3,62	2,83	4,05	6,09
60	1,41	2,19	1,62	1,41	1,70	2,66
70	1,10	1,70	1,21	1,10	1,42	2,02
80	0,63	1,30	0,92	0,63	0,97	1,54
100	0,79	0,81	0,58	0,79	0,81	0,96
150	0,00	0,61	0,29	0,00	0,00	0,29

Tabela 30 - Tabela de cálculo de tensão de compressão/tração para a temperatura de 45°C

Distâncias aos apoios	TEMPERATURA 45°			TEMPERATURA 45° AMANCO		
	Tensões de compressão / tração (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tensões de compressão / tração (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Diâmetro (mm)	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
6	320,07	432,09	322,62	240,03	360,07	537,70
7,5	204,82	276,52	206,47	153,64	230,43	344,12
10	115,24	155,57	116,14	86,39	129,62	193,57
12,5	73,70	99,53	74,32	55,32	82,93	123,89
15	51,18	69,16	51,63	38,44	57,62	86,04
20	28,77	38,86	29,05	21,54	32,38	48,38
40	7,23	9,72	7,24	5,35	8,10	12,10
60	3,30	4,37	3,24	2,36	3,64	5,43
70	2,20	3,12	2,43	1,65	2,55	3,91
80	1,89	2,59	1,85	1,26	1,94	3,08
100	0,79	1,62	1,16	0,79	1,21	1,93
150	0,00	0,61	0,58	0,00	0,61	0,87

Tabela 31 - Tabela de cálculo de tensão de compressão/tração para a temperatura de 55°C

Distâncias aos apoios	TEMPERATURA 55°			TEMPERATURA 55° AMANCO		
	Tensões de compressão / tração (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tensões de compressão / tração (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Diâmetro (mm)	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
6	480,11	648,11	483,93	360,07	540,10	806,55
7,5	307,23	414,78	309,71	230,47	345,65	516,20
10	172,86	233,33	174,21	129,63	194,43	290,36
12,5	110,64	149,32	111,50	82,93	124,43	185,82
15	76,76	103,71	77,43	57,66	86,41	129,06
20	43,24	58,29	43,57	32,39	48,58	72,57
40	10,69	14,57	10,86	8,18	12,14	18,18
60	4,72	6,56	4,85	3,77	5,34	8,09
70	3,30	4,82	3,51	2,75	3,97	5,93
80	2,52	3,56	2,77	1,89	2,91	4,47
100	1,57	2,43	1,73	1,57	2,02	2,89
150	1,18	1,21	0,87	0,00	0,61	1,16

Nas tabelas de tensões de compressão/tração apresentadas, algumas células foram coloridas de laranja. Essa representação destaca todos aqueles valores superiores a 166,67 kgf/cm<sup>2</sup>. Isso porque especificações técnicas do material PPR (TIGRE, 2010 apud ISO 527-2) fornecem a resistência à tração no limite Elástico característica do PPR que é de 25 MPa, que em Kgf/cm<sup>2</sup> representa 250. (Embora o valor limite de resistência à tração tenha sido retirado do Manual TIGRE, não interfere na análise do resultado, pois refere-se ao mesmo material, PPR).

Dado que a tensão admissível é igual ao limite de resistência dividido pelo coeficiente de segurança e, ainda, que a tensão de tração e a de compressão no limite elástico são iguais, tendo-se em vista que num tubo estas acontecem nas extremidades opostas e na mesma intensidade (em módulo), temos que a tensão admissível é de 166,67 Kgf / cm<sup>2</sup>.

Analisando as tabelas de cálculos apresentadas, pode-se afirmar que os resultados obtidos relativos aos dados fornecidos através de ensaios, para a temperatura de 35°C e 25 mm de diâmetro, para a distância entre apoios de 2 x 6 cm, ou melhor, 12 cm, a tensão calculada supera a tensão admissível; no caso da temperatura de 45°C, para todos os diâmetros e distâncias entre apoios de 2 x 6cm e 2 x 7,5 cm , ou respectivamente, 12 cm e 15 cm, as tensões calculadas superam as tensões admissíveis; e para temperatura de 55°C, para todos os diâmetros e distâncias entre apoios de 2 x 6 cm ; 2 x 7,5 cm e 2 x 10 cm, ou respectivamente, 12 cm, 15 cm e 20 cm, as tensões calculadas superam as tensões admissíveis.

Analisando as mesmas tabelas de cálculos apresentadas com os dados fornecidos pelo manual Amanco 2010, para a temperatura de 35°C e diâmetros de 25 mm e 32 mm, para a distância entre apoios de 2 x 6 cm, ou 12 cm, as tensões calculadas superam as tensões admissíveis, bem como para a distância de 2 x 7,5 cm ou 15 cm e diâmetro de 32 mm. No caso da temperatura de 45°C, para todos os diâmetros e distância entre apoios de 2 x 6 cm, ou melhor, 12 cm, as tensões calculadas superam as tensões admissíveis; para a distância entre apoios de 2 x 7,5 cm ou 15 cm, a tensão admissível é superada para os diâmetros de 25 mm e 32 mm; e para a distância de 2 x 10 cm ou 20 cm, a tensão admissível é superada no caso dos tubos de diâmetro de 32 mm. Para a temperatura de 55°C, para todos os diâmetros e distâncias entre apoios de 2 x 6 cm e 2 x 7,5 cm, ou respectivamente, 12 cm e 15 cm, as tensões calculadas superam as tensões admissíveis. Para a distância entre apoios de 2 x 10 cm ou 20 cm, e diâmetros de 25 mm e 32 mm, as tensões calculadas também superam a admissível, bem como para a distância de 2 x 12,5 cm ou 25 cm entre apoios e diâmetro de 32 mm.

Da mesma forma realizada para tensões, nas tabelas de deflexões máximas calculadas, as células coloridas de laranja representam aquelas flechas maiores que 2% da distância entre os apoios. Esse valor foi especificado em Amanco 2010, como o limite para a flecha máxima. A partir dos cálculos anteriormente realizados através da equação de flecha máxima e dada a flecha máxima estabelecida em manual, os valores que superaram os limites estabelecidos foram coloridos de laranja nas tabelas 32, 33 e 34.

Tabela 32 - Tabela de cálculo de deflexão máxima calculada para a temperatura de 35°C

Distâncias aos apoios	TEMPERATURA 35°			TEMPERATURA 35° AMANCO		
	Deflexão máxima calculada (cm)			Deflexão máxima calculada (cm)		
Diâmetro (mm)	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm						
6	0,35	0,38	0,22	0,26	0,32	0,37
7,5	0,35	0,38	0,22	0,26	0,32	0,37
10	0,35	0,38	0,22	0,26	0,32	0,37
12,5	0,35	0,38	0,22	0,26	0,32	0,37
15	0,35	0,38	0,22	0,26	0,32	0,37
20	0,35	0,38	0,22	0,26	0,32	0,37
40	0,34	0,38	0,22	0,28	0,32	0,37
60	0,31	0,38	0,22	0,31	0,30	0,36
70	0,33	0,41	0,23	0,33	0,34	0,38
80	0,25	0,40	0,23	0,25	0,30	0,38
100	0,48	0,39	0,22	0,48	0,39	0,37
150	0,00	0,67	0,25	0,00	0,00	0,25

Tabela 33 - Tabela de cálculo de deflexão máxima calculada para a temperatura de 45°C

Distâncias aos apoios	TEMPERATURA 45°			TEMPERATURA 45° AMANCO		
	Deflexão máxima calculada (cm)			Deflexão máxima calculada (cm)		
Diâmetro (mm)	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm						
6	0,89	0,96	0,56	0,67	0,80	0,93
7,5	0,89	0,96	0,56	0,67	0,80	0,93
10	0,89	0,96	0,56	0,67	0,80	0,93
12,5	0,89	0,96	0,56	0,67	0,80	0,93
15	0,89	0,96	0,56	0,67	0,80	0,93
20	0,89	0,96	0,56	0,66	0,80	0,93
40	0,89	0,96	0,56	0,66	0,80	0,93
60	0,92	0,97	0,56	0,66	0,81	0,94
70	0,83	0,94	0,57	0,62	0,77	0,92
80	0,93	1,02	0,57	0,62	0,77	0,95
100	0,61	1,00	0,56	0,61	0,75	0,93
150	0,00	0,84	0,63	0,00	0,84	0,94

Tabela 34 - Tabela de cálculo de deflexão máxima calculada para a temperatura de 55°C

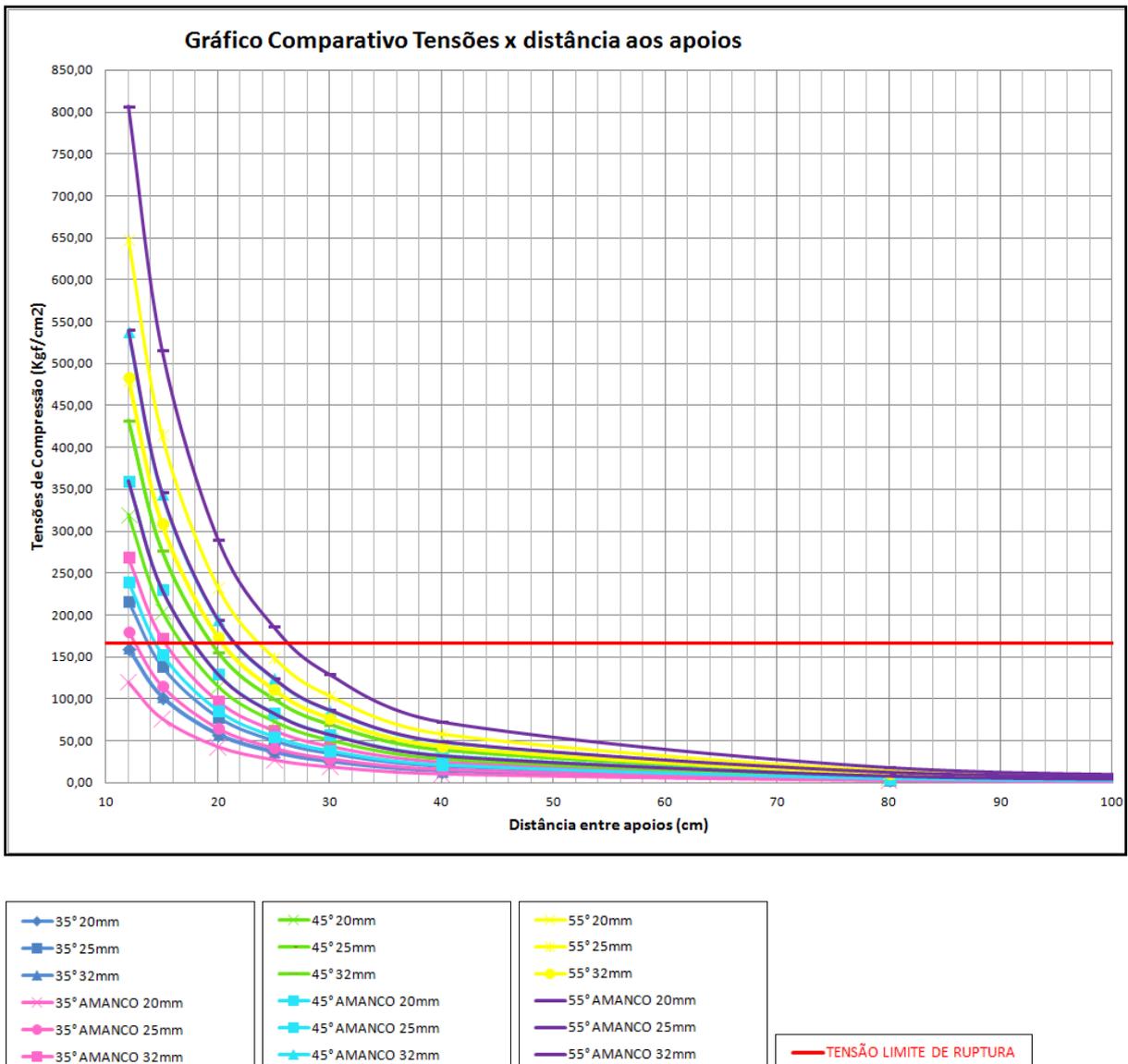
Distâncias aos apoios	TEMPERATURA 55°			TEMPERATURA 55° AMANCO		
	Deflexão máxima calculada (cm)			Deflexão máxima calculada (cm)		
Diâmetro (mm)	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
(L/2) em cm	20mm	25mm	32mm	20mm	25mm	32mm
6	1,69	1,83	1,07	1,27	1,52	1,78
7,5	1,69	1,83	1,07	1,27	1,52	1,78
10	1,69	1,83	1,07	1,27	1,52	1,78
12,5	1,69	1,83	1,07	1,27	1,52	1,78
15	1,69	1,83	1,07	1,27	1,52	1,78
20	1,69	1,83	1,07	1,27	1,52	1,78
40	1,68	1,83	1,06	1,28	1,52	1,78
60	1,66	1,85	1,07	1,33	1,51	1,78
70	1,58	1,85	1,05	1,32	1,52	1,78
80	1,58	1,79	1,09	1,18	1,46	1,75
100	1,54	1,90	1,06	1,54	1,59	1,77
150	2,60	2,14	1,19	0,00	1,07	1,59

Analisando as tabelas de cálculos apresentadas, podemos afirmar que os resultados obtidos relativos aos dados fornecidos através de ensaios, para a temperatura de 35°C e para a distância entre apoios de 2 x 6 cm e 2 x 7,5 cm, ou respectivamente, 12 cm e 15 cm, as flechas máximas calculadas superam as flechas máximas admissíveis; no caso da temperatura de 45°C, para todos os diâmetros e distâncias entre apoios de 2 x 6 cm a 2 x 15 cm, ou respectivamente, 12 cm a 30 cm, as flechas calculadas superam as flechas admissíveis, bem como para os diâmetros de 20 mm e 25 mm e distâncias entre apoios de 2 x 20 cm e 2 x 40 cm ou 40 cm e 80 cm; e para temperatura de 55°C, para todos os diâmetros e distâncias entre apoios de 2 x 6 cm a 2 x 20 cm, ou respectivamente, 12 cm a 40 cm, as flechas calculadas superam as admissíveis, também para os diâmetros de 20 mm e 25 mm e distância entre apoios de 2 x 40 cm ou 80 cm.

Analisando as mesmas tabelas de cálculos apresentadas com os dados fornecidos pelo manual Amanco 2010, para a temperatura de 35°C, para todos os diâmetros e para a distância entre apoios de 2 x 6 cm, ou 12 cm, as flechas calculadas superam as admissíveis, bem como para a distância de 2 x 7,5 cm ou 15 cm e diâmetros de 25 e 32 mm. No caso da temperatura de 45°C, para todos os diâmetros e distâncias entre apoios de 2 x 6 cm a 2 x 15 cm, ou melhor,

12 cm a 30 cm, as flechas calculadas superam as flechas admissíveis; para a distância entre apoios de 2 x 20 cm ou 40 cm, a flecha admissível é superada para o diâmetro de 32 mm. Para a temperatura de 55°C, para todos os diâmetros e distâncias entre apoios de 2 x 6 cm a 2 x 20 cm, ou respectivamente, 12 cm e 40 cm, as flechas calculadas superam as admissíveis. Para a distância entre apoios de 2 x 40 cm ou 80 cm, e diâmetro de 32 mm, a flecha calculada também supera a admissível.

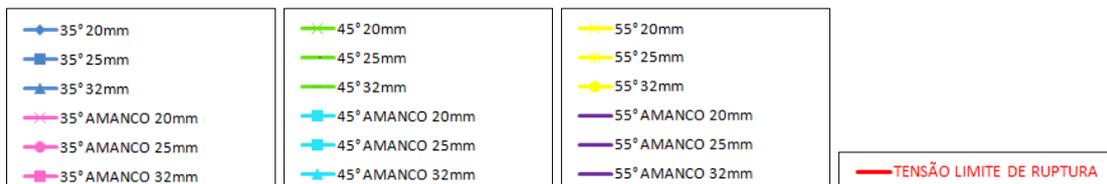
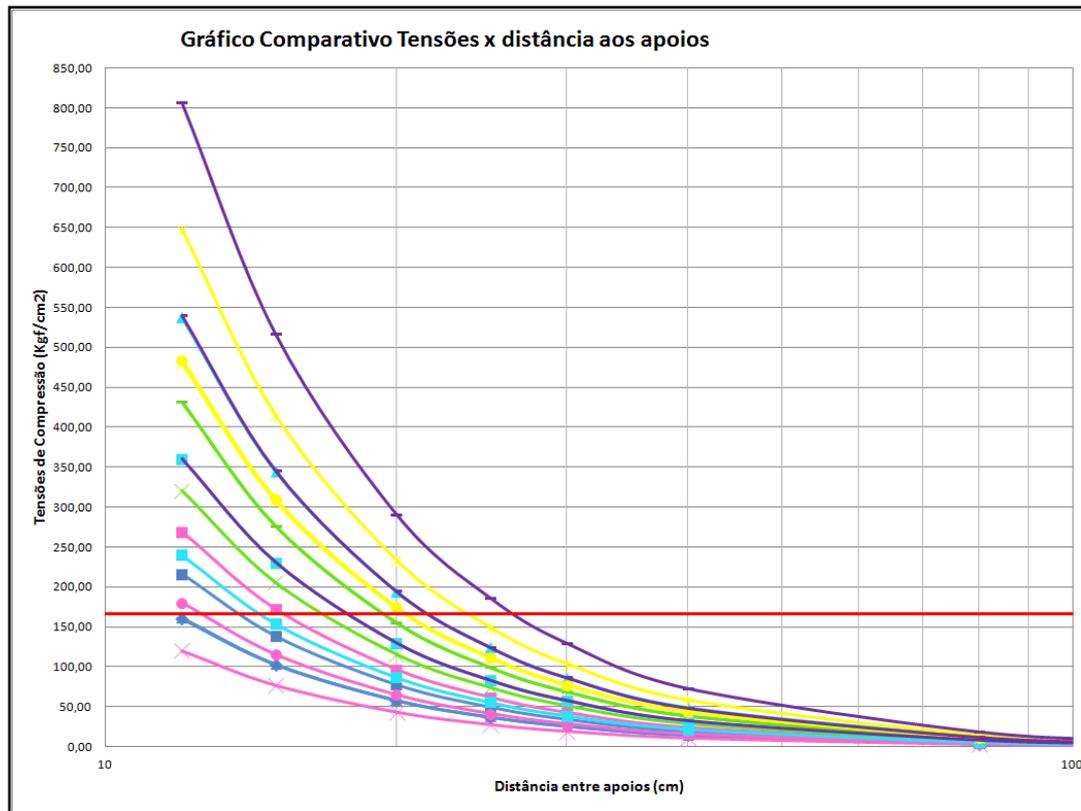
Para melhor visualização e comparação entre as tensões de tração/compressão entre as temperaturas de 35°C a 55°C e diâmetros de 20 mm, 25 mm e 32 mm, com os dados usados em cálculo obtidos em ensaios e os fornecidos pelo manual Amanco 2010, apresenta-se o gráfico comparativo Tensões x Distância aos apoios, na figura 42.



Fonte: dados de pesquisa

Figura 42 - Gráfico comparativo Tensões x Distância aos apoios

Transformando esse gráfico em logaritmo na base 10, facilita ainda mais a nossa visualização, pode-se ver que a linha vermelha é a tensão de ruptura e que somente a partir de 30 cm de distância entre os apoios, segundo as equações de tensão, todas as conexões estariam resguardadas.



Fonte: dados de pesquisa

Figura43 – Gráfico comparativo Tensões x Distância aos apoios (eixo “X” escala log)

Pelas informações obtidas através das figuras 42 e 43, verificamos que quanto menor a distância entre os apoios, maiores as tensões de compressão e tração nas conexões, e que quanto mais altas as temperaturas a que elas estão submetidas, ainda maiores as tensões nas conexões.

## 6.2 Principais fatores que causam falhas no sistema

### a. Instalações

As instalações podem ser consideradas como o grande vilão de falhas e rupturas no sistema de instalações prediais de água quente. A topologia da rede, os tipos de conexões, são fatores que interferem no favorecimento de falhas ou na prevenção delas.

### ***b. Operação***

Da mesma forma que as instalações, a operação do sistema de instalações prediais de água quente pode exercer grande influência na causa de falhas. Alguns eventos como golpe de aríete, sobrepressão, cavitação, problemas nas válvulas de pressão, pressão da água abaixo do especificado, dentre outros, podem causar danos que trazem sérios problemas e transtornos para serem reparados.

### ***c. Temperatura***

A temperatura pode também ser considerada como possível fator responsável pelas causas de falhas, principalmente quando não estiverem ‘dominadas’ pelo projetista, ou seja, se não estiverem bem localizados os pontos que serão mais demandados da tubulação devido aos esforços causados pela dilatação térmica.

## 7. CONCLUSÕES

Uma vez apresentada a evolução dos materiais usados em instalações prediais, foi possível identificar que, com o passar dos tempos, vão surgindo novas tecnologias e novas maneiras de projetar a topologia dos sistemas prediais. Entretanto, algumas questões perpassam os anos, como as falhas nesses sistemas. Algumas, como exemplo a sobre pressão, o golpe de aríete, a cavitação mantêm praticamente as mesmas características desde o início do uso desse tipo de instalação.

As rupturas em instalações prediais, especificamente no material PPR, devem ser estudo de mais pesquisas de forma que se obtenha uma base de conhecimento que auxilie nas instalações e aplicações desse tipo de material. Sabe-se que os tipos de abastecimento, reservação e aquecimento da água não interferem diretamente na prevenção a falhas, muito embora seja de grande importância que os projetos estejam compatibilizados e bem especificados, para que a execução tenha êxito. Tem-se como parâmetro que se o projeto deve ser desenvolvido com cuidado e seguindo-se as recomendações de fabricantes e da Norma, também deve-se ter em vista que esse projeto deve ser bem executado seguindo os projetos de forma a se ter uma situação na qual inexistem pontos de baixa ou sobre pressão. Esses cuidados podem evitar variações sensíveis na temperatura, problemas nas válvulas etc, o que favorece o bom funcionamento das instalações.

Os materiais existentes hoje para instalações prediais de água quente, PEX, CPVC, cobre, são semelhantes ao PPR no que tange à resistência a altas temperaturas e pressões. As equações adotadas na pesquisa em questão para dilatação térmica e posterior cálculo das forças, momentos e tensões podem ser usados para outras tubulações, como por exemplo, estruturas de aço, ferro, dentre outros. De forma que haja grande probabilidade de poderem apresentar resultados satisfatórios se usados para PEX, CPVC e cobre. Entretanto, a pesquisa em questão adotou os cálculos de dilatação térmica e de configuração estruturada segundo uma viga biapoiada seguindo orientação do próprio fabricante (AMANCO, 2010).

As patologias, conforme estudos apresentados por Ramos (2010) e Martins (2003) são originárias, em sistemas prediais, de problemas de projetos, na sequencia, problemas de execução e, em terceiro lugar, problemas de materiais. É ressaltada a importância em se fazer manutenções preventivas, que são mais econômicas, quando comparadas com manutenções corretivas.

Na pesquisa em questão, os tubos ensaiados e os cálculos realizados com os dados fornecidos pelo manual Amanco 2010, e com os dados obtidos em ensaios de laboratórios, foram submetidos a variações de temperaturas e pressões com os tubos e conexões com apoios ou extremidades fixas, limitando a variação no comprimento e gerando tensões internas e reações. Essas tensões são geradas devido a forças realizadas nos dois pontos de fixação, pois como a tubulação está impedida de dilatar, ela realiza essa força, tendendo a afastá-los, força essa equivalente à compressão do tubo de um comprimento igual à dilatação que teria, caso as suas extremidades estivessem livres.

Os esforços calculados de acordo com a variação da temperatura (tabelas 8 a 13) mostraram que quanto maior a temperatura, maiores os esforços aos quais as tubulações estão submetidas. Entretanto, observa-se que os esforços calculados com os dados da Amanco 2010, apresentam diferenças em relação aos calculados com dados ensaiados, sendo menores os esforços apresentados pelo Amanco 2010.

Constatou-se que a rede de tubulação de todo o sistema de abastecimento de água quente do estudo de caso abordado nesta pesquisa trabalhou com níveis de pressões inferiores ao valor limite recomendado pelo fabricante.

As deflexões máximas calculadas segundo equações de vigas e comparadas com flechas máximas no valor de referência de 2% do comprimento entre apoios segundo Amanco 2010, apresentaram os seguintes resultados:

- i) Para 35°C, tanto nos cálculos com dados ensaiados quanto com os dados do manual Amanco 2010, somente seriam compatíveis as flechas calculadas com as permitidas a partir de 20 cm entre apoios;
- ii) Para 45°C, somente a partir de 80 cm entre apoios, e;
- iii) Para 55° C, a partir de 120 cm entre apoios.

Por esse parâmetro (flechas), condições de distâncias entre apoios diferentes destas, não são indicadas pelo manual técnico supracitado.

Os momentos fletores calculados, tanto com os dados obtidos em ensaios quanto com os dados do manual técnico Amanco 2010, apresentam uma crescente entre as temperaturas de 35°C, 45°C e 55°C. Entretanto, os momentos fletores calculados com dados ensaiados mostraram-se maiores em kgf x cm do que os calculados com os dados fornecidos pelo

manual. É importante observar que à medida que a distância entre apoios aumenta, os momentos fletores nas “vigas” diminui, ou seja, as distâncias entre os apoios são inversamente proporcionais às forças às quais as conexões estão submetidas, bem como os respectivos momentos fletores.

E finalmente, as tensões de tração e compressão calculadas também apresentam a característica que tanto com os dados obtidos em ensaios quanto com os dados do manual técnico Amanco 2010, apresentam uma crescente entre as temperaturas de 35°C, 45°C e 55°C. E, da mesma forma que os momentos fletores, as tensões obtidas através dos cálculos realizados com dados ensaiados apresentam tensões maiores em kgf/cm<sup>2</sup> do que os realizados com dados fornecidos pelo manual Amanco 2010. A mesma observação pode ser feita: à medida que a distância entre apoios aumenta, as tensões nas “vigas” diminuem, ou seja, as distâncias entre os apoios são inversamente proporcionais às forças às quais as conexões estão submetidas, bem como os respectivos momentos fletores e suas tensões de tração e compressão.

Os esforços aplicados na conexão “Tê” quando montados como pontos fixos, conforme mostra a figura 32, para conexões de 32 mm submetidas a temperaturas de 55° C podem alcançar valores até 697,92 kgf (com dados fornecidos pelo manual Amanco). O valor médio de ruptura para essas conexões é de 787 kgf, conforme os dados observados na tabela 5. Isso indica que, com os dados Amanco 2010, como os valores de ruptura estão bem próximos dos calculados, é possível que os trechos de pontos fixos estejam sendo submetidos a esforços que levem a condições favoráveis à ruptura (FCO, 2010). Já os cálculos realizados com dados obtidos em ensaios, mostram que os pontos fixos que possuem distâncias entre apoios menores que 20 cm, estão sendo submetidos a esforços que levam à ruptura.

A ancoragem do tubo na dilatação sob condições variáveis de temperaturas e pressões, pelos estudos e cálculos realizados, apresenta que a distância é inversamente proporcional à força aplicada.

Os cálculos, segundo esforços estruturais, mostraram que as tensões de tração e compressão suportadas pelo material PPR, que devem ser inferiores a 166,67 Kgf / cm<sup>2</sup>, em conexões “Tê” devem ter apoios com distâncias superiores a: 12 cm para 35°; 15 cm para 45° e 20 cm para 55°, para evitar a ruptura da tubulação. Já os cálculos segundo dados Amanco 2010, mostraram que as tensões de tração e compressão suportadas pelo material PPR, inferiores a

166,67 Kgf / cm<sup>2</sup>, em conexões “Tê” devem ter apoios com distâncias superiores a: 15 cm para 35°; 20 cm para 45° e 25 cm para 55°, para evitar a ruptura da tubulação.

Os cálculos de esforços estruturais, comparando aqueles realizados com os dados obtidos em ensaios com os realizados com dados do fabricante (AMANCO, 2010), apresentou maiores tensões para os diâmetros de 20 mm, enquanto que para os diâmetros de 25 mm, apresentou valores semelhantes e para diâmetros de 32 mm apresentou valores inferiores.

Pela análise dos resultados é possível verificar que acima de 27 cm de distância entre os apoios, para todos os diâmetros (20 mm, 25 mm e 30 mm) e temperaturas (de 35° até 55° C), as conexões ficam resguardadas com tensões de tração e compressão abaixo da tensão de ruptura.

## 8. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta pesquisa não foram contempladas todas as possíveis configurações estruturadas. Existem outras posições para os apoios, como por exemplo, como uma viga engastada (quando existe um apoio fixo e outro deslizante), ou uma viga com dois apoios sendo um deles em uma extremidade e outro no centro da viga. Ambos os exemplos estão apresentados no manual Amanco 2010.

Seria interessante a realização, em pesquisas futuras, dos cálculos realizados nesta pesquisa, porém, utilizando-se de programas computacionais que considerem elementos finitos, para que se possa comparar os resultados.

## 9. REFERÊNCIAS

- AMANCO. *Manual Técnico Linha Amanco PPR para Condução de Água Quente e Fria*. Set, 2010.
- AQUATHERM. *Predial Aquatherm Tubos e Conexões*. Tigre. Joinville: AQUATHERM, 2011.
- AQUATHERM. *Thermal expansion in piping systems – New Solutions to an age old Engineering Challenge*. Radeberg: AQUATHERM, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5020: Tubos de cobre sem costura para uso geral – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5626: Instalação Predial de Água Fria*. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5648: Tubos e conexões de PVC –U com junta soldável para sistemas prediais de água fria -Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5680: Dimensões de tubos de PVC rígido*. Rio de Janeiro: ABNT, 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6318: Tubos leves de Cobre, sem costura, para condução de água*. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7198: Projeto e execução de Instalações Prediais de Água Quente*. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7417: Tubo extraleve de cobre, sem costura, para condução de água e outros fluidos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7542: Tubo de cobre médio e pesado, sem costura, para condução de águas*. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7665: Sistemas para adução e distribuição de água – Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004: Resíduos Sólidos – classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15813-1: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria. Parte 1: Tubos de polipropileno copolímero random (PP-R) tipo 3- Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15939: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria – Polietileno Reticulado (PEX)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TUBOS POLIOLEFÍNICOS E SISTEMAS. *Manual de Boas Práticas – Módulo 7: Linha de efluentes industriais*, São Paulo: ABPE, 2013.

BENEDICTO, S. M. O. *Desempenho de sistema predial de água quente*. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos – Centro de Ciências Exatas e de tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, 2009.

BRANDÃO, R. G. *Estudo de viabilidade da utilização de PVC, PEX e PPR em empreendimentos multifamiliares*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica. Programa de Graduação em Engenharia Civil, 2010.

BUSATTO, Vicente & Filho, apud ZOELLNER, K. *A incidência da utilização do chuveiro elétrico na geração de água quente nas edificações*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005.

CAETANO, *Distribuição, Obras e Urbanismo*. São Paulo. Disponível em: <[http://www.caetano.com.br/caetano\\_tubos/pt/index.php?GTR\\_VARS\\_acesso=modulos/news\\_com\\_categoria/detNoticia.php&GTR\\_VARS\\_codnoticia=276](http://www.caetano.com.br/caetano_tubos/pt/index.php?GTR_VARS_acesso=modulos/news_com_categoria/detNoticia.php&GTR_VARS_codnoticia=276)> Acesso em: 12 Nov. 2014 às 22:41hs.

COLUMBU, S., ANTONILLI, F., LEZZERINI, M., MIRIELLO, D., ADEMBRI, B., BLANCO, A. (2014). Provenance of marbles used in the Heliocaminus Baths of Hadrian's Villa (Tivoli, Italy). *Journal of Archeological Science*, n.49, p. 332-342, May 2014.

COMPANHIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS DE SERGIPE (CEHOP). *Tubos e Conexões de Ferro Fundido*, 2004. Disponível em: <<http://187.17.2.135/orse/especificacoes.asp>> Acesso em: 08 Set. 2014.

CONCEIÇÃO, A. P. Estudo da incidência de falhas visando a melhoria da qualidade dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários. *Universidade Federal de São Carlos - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia*. São Paulo, 2007.

CREDER, H. C., apud MARTINEZ, C. B.; VIANA, E. M. F.; FARIA, M. T. C.; JUNIOR, A. A. B. Análise de Esforços Sobre Tubulações e Conexões de Sistemas de Abastecimento Residencial de Água Quente. In: *Simpósio Iberoamericano de Redes de Água, Esgoto e Drenagem (SEREA)*, Brasil: 2012.

DESIGN GUIDE. *Residential PEX Water Supply Plumbing Systems*. Irving/Texas: Plastic Pipe Institute (PPI). Nov. 2006.

EUROPEAN STANDARD. EN ISO 15874-1. *Plastics piping systems for hot and cold water installations – Polypropylene (PP) – Part 1: General (ISO 15874-1: 2003)*. Brussels: ISO, 2003.

FOCHEZATTO, A.; GHINIS, C. P. *Determinantes do crescimento da Construção Civil no Brasil e no Rio Grande do Sul: evidências da análise de dados em painel*. In: 5º Encontro de Economia Gaúcha, Brasil: 2010.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. 4a Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

FUNDAÇÃO CRISTIANO OTONI. *Relatório - Ensaaios em Sistemas de Abastecimento de Água Quente*. Belo Horizonte: FCO, 2010.

GEELS, Frank. Co-evolution of technology and society: The transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850-1930)-a case study in multi-level perspective. *Technology In Society*, n.27, p.363-397, Eindhoven, 2006.

GNIPPER, S. F. *Patologias mais frequentes em sistemas hidráulico-sanitários e de gás combustível de edifícios residenciais em Curitiba 2007*. In: Anais do X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais. São Carlos, 29-30 agosto de 2007.

GNIPPER, S. F.; MIKALDO JR, J. *Patologias frequentes em sistemas hidráulico-sanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto*. In: Anais do X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais. São Carlos, 29-30 agosto de 2007.

HELLYER, apud LANDI, F.R. A Evolução Histórica das Instalações Hidráulicas. Boletim técnico da *Escola Politécnica da USP*- Departamento de engenharia de construção Civil. São Paulo, 1993.

HUNTER, apud LANDI, F.R. A Evolução Histórica das Instalações Hidráulicas. *Boletim técnico da Escola Politécnica da USP* - Departamento de engenharia de construção Civil. São Paulo, 1993.

ILHA, M. S. O.; GONÇALVEZ, O. M. *Sistemas Prediais de Água Fria*. Texto Técnico TT/PCC/08. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

ILHA, M. S. O.; GONÇALVEZ, O. M.; KAVASSAKI, Y. *Sistemas Prediais de Água Quente*. Texto Técnico TT/PCC/09. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

INTERNATIONAL STANDARD. *ISO 527-2*, Plastics – Determination of Tensile Properties – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics. Geneva: ISO 1996.

INTERNATIONAL STANDARD. *ISO 10508*, Thermoplastics pipes and fittings for hot and cold water systems. First Edition. Geneva: ISO, 1995.

INTERNATIONAL STANDARD. *ISO 15875*, Plastic Pipe Systems for hot and cold water installations. Brussels: ISO, 2003.

LANDI, F.R. A Evolução Histórica das Instalações Hidráulicas. *Boletim técnico da Escola Politécnica da USP*- Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: 1993.

MARTINEZ, C. B.; VIANA, E. M. F.; FARIA, M. T. C.; JUNIOR, A. A. B. Análise de Esforços Sobre Tubulações e Conexões de Sistemas de Abastecimento Residencial de Água Quente. In: *Simpósio Iberoamericano de Redes de Água, Esgoto e Drenagem* (SEREA), Brasil: 2012.

MARTINS, M. S.; HERNANDES, A. T.; AMORIM, S. V. Ferramentas para melhoria do processo de execução dos sistemas hidráulicos prediais. 2003. In: *Anais do III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção*. São Carlos, p 16-19, 16-19, setembro de 2003.

NASCIMENTO, O. L.; MANSUR, A. A.; MANSUR H. S. *Avaliação de processo corrosivo em tubulação predial de cobre: uma abordagem microestrutural*. 2005. Trabalho Técnico 80 disponível em: < <http://www.mrci.com.br/> Acesso em: 09 Set. 2014 às 18:58hs.

NAYYAR, M. L., *Piping Handbook*. 7th ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2000.

NUNES, L. R.; RODOLFO, JR. A.; ORMANJI, W. *Tecnologia do PVC*, 2ª Edição, Braskem, 2006.

PEX do Brasil. *Racionalizando a Construção*. Disponível em:< <http://www.pexdobrasil.com.br/> > Acesso em: 09 Set. 2014 às 18:58hs.

PORTO, R. M. *HIDRÁULICA BÁSICA*. Departamento de Hidráulica e Saneamento Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos: Publicação EESC-USP, 1998.

PROCOBRE, Instituto Brasileiro do Cobre. *O Cobre nas Instalações Hidráulicas*. 2006. Disponível em:<[http://www.ladried.net/arquivo/manuais/manual\\_de\\_instalacoes\\_eletricas.pdf](http://www.ladried.net/arquivo/manuais/manual_de_instalacoes_eletricas.pdf)> Acesso em: 09 Set. 2014 às 18:58hs.

RAMOS, H. R. *Manutenção de Sistemas Hidráulicos Prediais*- Manual de intervenção preventiva. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2010.

REALI, M.; MORUZZI, R.;PICANÇO,A.;CARVALHO, K. Instalações prediais de Água Fria. *Apostila do Departamento de Hidráulica e Saneamento*. São Carlos, Ago. 2002.

REIS, R. P. A. *Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário*. Goiania: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás, set. 2007.

ROOK, T. The Development and Operation of Roman Hypocausted Baths. *Journal of Archeological Science*, London, n. 5, p.269-282, 1978.

SECONVI-SP apud PALIARI, J. C. *Metodologia Para a Coleta e Análise de Informações Sobre Consumos e Perdas de Materiais e Componentes nos Canteiros de Obras de Edifícios*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ago., 1999.

SINDUSCON – PA. *O CONSTRUIR- 86º Encontro nacional da Indústria da Construção*. Boletim Informativo nº 104. Belém: SINDUSCON-PA. Maio, 2014.

SOARES, D. A. F., *Patologias em Sistemas Hidráulicos, Prediais e de Prevenção Contra Incêndio*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2010.

SOLKEN, W. *Explore the World of Piping – Definition and details of Butt Weld Fittings*. Disponível em: <[http://www.wermac.org/fittings/buttweld\\_fittings\\_part3.html](http://www.wermac.org/fittings/buttweld_fittings_part3.html)>. Acesso em: 27/09/2014.

SUPER GREEN, PPR (Polipropileno Randômico). *Tubos, Conexões e Acessórios para Água Fria e Quente*. São Paulo: Comexport, 2010.

TAELE, apud LANDI, F.R. A Evolução Histórica das Instalações Hidráulicas. *Boletim técnico da Escola Politécnica da USP- Departamento de Engenharia de Construção Civil*. São Paulo, 1993.

TELLES, P. C. S., *Tubulações Industriais Cálculo*. 9ª Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2006.

THE LANCET. Hexamethylentramine. In: *Systemic Infections, Philippine Journal of Science*, p. 1231-1232, July 1912.

THIELSCH H.; CONE F. M., Failures and Failure Prevention in Process Piping. In: *First International Symposium on Process Industry Piping*. Orlando/Florida, pp. 16/1 – 16/54, Dez. 1993.

TIGRE. *Predial Água Fria Catálogo Técnico – Soldável e Roscável*, 2008.

TIGRE. *Predial Aquatherm* . Catálogo Técnico, 2011.

TIGRE. *PEX Tigre – Linha Água Fria e Quente*. Ficha Técnica, 2011.

TIGRE. *Predial PEX Tigre – Monocamada Multicamada*. Catálogo Técnico, 2009.

TIGRE. *Termofusão*. Ficha Técnica, PPR, Out., 2013.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. *Fundamentos de Mecânica das Estruturas*. Texto de apoio. São Paulo: Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, 2009.

WIKIPÉDIA. *Cavitação*. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Cavita%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 21 Nov. 2014 às 19:15hs.

WIKIPÉDIA. *Sanitários Públicos no Império Romano*. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Imp%C3%A9rio\\_Romano](http://pt.wikipedia.org/wiki/Imp%C3%A9rio_Romano)>. Acesso em: 15 Nov. 2014 às 22:31hs.

WISE AND CROFT, apud LANDI, F.R. A Evolução Histórica das Instalações Hidráulicas. *Boletim técnico da Escola Politécnica da USP* - Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1993.

WORKMAN, L. *PVC Piping Systems- Helpful Tips for Avoiding Problems*. Illinois: Plastic Pipe and Fitting Association, 2011.

ZOELLNER, K. *A incidência da utilização do chuveiro elétrico na geração de água quente nas edificações*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Dez. 2005.