

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Construção Civil

MARCO ANTONIO FURTADO YAMADA

Comissionamento de sistemas prediais de água quente

São Paulo

2021

MARCO ANTONIO FURTADO YAMADA

Comissionamento de sistemas prediais de água quente

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Inovação na Construção Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Helena de Oliveira

São Paulo

2021

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

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 17 de maio de 2021.

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

Catálogo-na-publicação

Yamada, Marco Antonio Furtado
Comissionamento de sistemas prediais de água quente / M. A. F.
Yamada -- São Paulo, 2021.
222 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Versão Corrigida.

1.Comissionamento 2.Sistemas prediais de água quente 3.Eficiência energética 4.Uso eficiente da água I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Nome: YAMADA, Marco Antonio Furtado

Título: Comissionamento de sistemas prediais de água quente

Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

YAMADA. M. A. F. **Comissionamento de sistemas prediais de água quente**. 2021. 222 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

RESUMO

YAMADA. Marco Antonio Furtado. Comissionamento de sistemas prediais de água quente. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

A busca pela melhoria do desempenho e pela redução do impacto ambiental das edificações implica no uso de tecnologias e processos mais avançados. O emprego dessas tecnologias, no entanto, aumenta a complexidade dos sistemas prediais e traz consigo uma maior necessidade de planejamento e controle das fases do processo construtivo, além de maior capacitação das equipes de operação. Além disso, essa complexidade acarreta um risco de aumento do índice de patologias nas edificações que, mesmo naquelas de menor complexidade, tendem a ser altos. Essas patologias têm origem em todas as fases do processo construtivo e podem ter impacto sobre o desempenho da edificação durante toda sua vida útil. O comissionamento tem como objetivo caracterizar, evidenciar e atingir os requisitos estabelecidos pelo proprietário do projeto, melhorar o desempenho e a eficiência da edificação, além de reduzir as possíveis falhas do processo construtivo. Logo, a busca pela melhoria do desempenho das edificações necessita de uma abordagem estruturada em todas as fases do processo construtivo, bem como de sua operação. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver as atividades para o comissionamento de sistemas prediais de água quente. O método utilizado foi a pesquisa exploratória sobre os temas, entrevistas com especialistas e visitas a campo para a definição e verificação dos testes de entrega do sistema. Os resultados apontam que é possível comissionar os sistemas prediais de água quente, porém é necessário fazer uma adaptação dos requisitos, critérios e métodos presentes em diversas normas técnicas vigentes para que o processo seja passível de execução. Também foi possível observar que ainda existe uma necessidade de ajuste dos estruturantes do processo, a exemplo de normas técnicas, regulamentação, capacitação da mão de obra, entre outros. Com os resultados espera-se fomentar a prática de comissionamento de edificações, bem como detalhar e estruturar as atividades envolvidas no comissionamento dos sistemas prediais de água quente, com o objetivo de melhorar o desempenho e a eficiência das edificações.

Palavras-chave: Comissionamento. Sistemas prediais de água quente. Eficiência energética. Uso eficiente da água.

ABSTRACT

YAMADA. Marco Antonio Furtado. Commissioning of hot water building systems. Dissertation (Masters) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

The improvement of the building's performance level and the reduction of its environmental impact require the use of advanced technology and processes. The insertion of such technologies increases the complexity of the building's mechanical, electrical and plumbing systems, and therefore increases the need of planning, detailing and controlling the phases of the construction process, as well as the training of the building operation and maintenance staff. In addition, this increased complexity implies in a higher chance of errors, which can cause a higher incidence of pathologies in the buildings, which even in lower complexity buildings, tends to be high. Those pathologies can arise from any of the stages of the building process and can have an impact over the building's performance throughout all its lifespan. Therefore, the search for higher building performance and efficiency levels requires a structured approach of all the stages of the building process, as well as its operation. The commissioning process has the aims to establish, provide evidence and reach the performance requirements that are set by the project owner, improving the building's performance and efficiency and reducing the errors that arise from the construction and operation process. The current document presents a research of the commissioning of hot water plumbing systems. The research was performed by an exploratory research of the themes related to the subject, interviews with specialists and field visits to verify the system's functional performance tests. The results show that it is possible to perform the commissioning process in hot water plumbing systems, however there's a need to make adjustments in the current requirements, criteria and evaluation methods presented by the technical standards in order to for the process to be executable. In addition, it was possible to see the there is a need of improvement the technical and regulatory structures of the domestic market, such as technical standards, regulation and building and operation staff training, amongst others. The results are expected to promote the practice of building commissioning, provide a structured and detailed approach of the activities of the commissioning process of hot water plumbing systems, with the goal of improving building's performance and efficiency levels.

Keywords: Commissioning. Hot water systems. Energy efficiency. Water efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Distribuição das patologias verificadas em edifícios residenciais.....	2
Figura 1.2	- Importância atribuída aos defeitos construtivos pelos usuários.....	3
Figura 1.3	- Etapas da pesquisa.....	6
Figura 1.4	- Estrutura da dissertação.....	7
Figura 2.1	- Fluxograma dos subsistemas do sistema predial de água quente.....	10
Figura 2.2	- Exemplo de sistema de aquecimento com aproveitamento de energia solar em circuito indireto com aquecedores de acumulação.....	11
Figura 2.3	- Fontes de energia utilizadas para aquecimento de água para banho no Brasil.....	13
Figura 2.4	- Evolução do fator de conversão da eletricidade entre 1970 e 2009.....	14
Figura 2.5	- Simulação da curva de carga residencial por item: perfil nacional médio.....	15
Figura 2.6	- Projeção da participação das fontes de energia para aquecimento de água.....	17
Figura 2.7	- Exemplos de sistemas de aquecimento do tipo direto.....	18
Figura 2.8	- Exemplos de sistemas de aquecimento do tipo indireto.....	18
Figura 2.9	- Componentes de utilização com aquecedores instantâneos elétricos integrados - (a) chuveiro elétrico e (b) torneira elétrica.....	20
Figura 2.10	- Aquecedor instantâneo a gás.....	22
Figura 2.11	- Sistema de aquecimento central com aquecedor instantâneo elétrico.....	22
Figura 2.12	- Aquecedor de acumulação a gás.....	23
Figura 2.13	- Sistema de aquecimento conjugado.....	26
Figura 2.14	- Coletor solar plano.....	27
Figura 2.15	- Sistema de aquecimento solar com circulação natural.....	28
Figura 2.16	- Sistema de aquecimento solar com circulação forçada.....	28

Figura 2.17 - Vazões de projeto na seção 1 (coluna), seção 2 (ramal de alimentação) e seção 3 (ramal de distribuição), obtidas pelo método probabilístico e pela NBR 5626, com a variação da população.....	32
Figura 2.18 - Vazões de projeto na seção 1 (coluna), seção 2 (ramal de alimentação) e seção 3 (ramal de distribuição), obtidas pelo método probabilístico e pela NBR 5626, com a variação do tempo de banho.....	32
Figura 2.19 - Vazões de projeto na seção 1 (coluna), obtidas pelo método probabilístico e pela NBR 5626, com a variação do tempo de banho e período de pico de duas horas.....	33
Figura 2.20 - Sistema de aquecimento solar em circuito indireto com reservatório térmico, complementação com aquecedores individuais e medição individualizada de água.....	34
Figura 2.21 - Sistema de aquecimento solar em circuito indireto, com fonte complementar de calor central.....	35
Figura 2.22 - Exemplo de medidor de calor.....	36
Figura 3.1 - Estrutura hierárquica do desempenho da edificação e de suas partes.....	38
Figura 3.2 - Método de especificação de desempenho e avaliação dos resultados obtidos pelo emprego das soluções para atendimento de requisitos.....	42
Figura 3.3 - Interrelação entre os custos de qualidade e o indicador de conformidade.....	44
Figura 3.4 - Regra de Sitter.....	45
Figura 3.5 - Interrelação entre os custos de qualidade e o esforço de qualidade.....	46
Figura 4.1 - Relação entre comissionamento e recomissionamento e outras disciplinas em função da etapa do ciclo de vida da edificação.....	52
Figura 4.2 - Relação entre retrocomissionamento e outras disciplinas em função da etapa do ciclo de vida da edificação.....	52

Figura 4.3	- Fases do edifício e as etapas do processo de comissionamento.....	54
Figura 4.4	- Relação de documentos gerados por fase e etapa do comissionamento.....	56
Figura 5.1	- Atividades abordadas para elaboração dos requisitos de projeto do proprietário e critérios de desempenho do sistema predial de água quente.....	57
Figura 5.2	- Exemplo de tubulações com flechas excessivas causando segregação de ar e água.....	61
Figura 5.3	- Ramais suspensos de água quente e fria com tubulação flexível.....	61
Figura 5.4	- Exemplo de montagem do dispositivo de ensaio de impacto de utilização e limite.....	62
Figura 5.5	- Tubulação instalada sob piso elevado.....	63
Figura 5.6	- Tubulações aparentes instaladas acima do piso.....	64
Figura 5.7	- Variação de pressão em válvula de descarga de fechamento rápido.....	66
Figura 5.8	- Comportamento da sobrepressão em função do tempo de fechamento.....	68
Figura 5.9	- Exemplo de ramal de água quente com comprimentos longos.....	68
Figura 5.10	- Eficácia do componente amortecedor de sobrepressão.....	69
Figura 5.11	- Manômetros com ponteiro de arraste.....	70
Figura 5.12	- Vaso de expansão.....	71
Figura 5.13	- Braço de flexão em derivação de ramal e em mudança de direção de tubulação.....	72
Figura 5.14	- Erro de especificação de junta de expansão.....	73
Figura 5.15	- Exemplo de sistema com componentes de segurança a pressão.....	75
Figura 5.16	- Temperatura de superfície de misturadores para chuveiro (a) sem tecnologia para resfriamento de superfície e (b) com tecnologia para resfriamento de superfície.....	76

Figura 5.17 - Verificação da temperatura das superfícies da conexão do misturador para lavatório com câmera termográfica - vista geral.....	76
Figura 5.18 - Verificação da temperatura das superfícies da conexão do misturador para lavatório com câmera termográfica - detalhamento da (a) temperatura da válvula de bloqueio de manutenção e (b) temperatura do flexível.....	77
Figura 5.19 - Verificação da temperatura das superfícies do misturador para lavatório com câmera termográfica - vista geral.....	77
Figura 5.20 - Verificação da temperatura das superfícies do misturador para lavatório com câmera termográfica - detalhamento do (a) corpo do misturador e (b) alavanca de acionamento.....	78
Figura 5.21 - Verificação da temperatura das superfícies do acabamento dos registros de gaveta com câmera termográfica - (a) vista geral e (b) temperatura da canopla.....	78
Figura 5.22 - Tempo de exposição por tipo de queimadura e temperatura	79
Figura 5.23 - Influência da oscilação da vazão de água quente na temperatura da água misturada (TQ = 40°C).....	81
Figura 5.24 - Influência da oscilação da vazão de água quente na temperatura da água misturada (TQ = 55°C).....	81
Figura 5.25 - Influência da oscilação da vazão de água quente na temperatura da água misturada (TQ = 70°C).....	82
Figura 5.26 - Danos causados por vazamentos (a) na laje e (b) no forro	83
Figura 5.27 - Comportamento da pressão durante o teste de estanqueidade.....	84
Figura 5.28 - Comportamento da pressão durante o teste de estanqueidade tipo A em tubulações plásticas de acordo com a regulamentação da Inglaterra e do País de Gales.....	85
Figura 5.29 - Comportamento da pressão durante o teste de estanqueidade tipo B em tubulações plásticas de acordo com a regulamentação da Inglaterra e do País de Gales.....	85
Figura 5.30 - Queda de pressão no teste de estanqueidade em tubulações plásticas - (a) pressão inicial e (b) pressão final..	86

Figura 5.31 - Conexão com o gerador de água quente para testes.....	88
Figura 5.32 - Ramais de retorno provisórios para execução do teste de estanqueidade em unidades sem ramal de recirculação de água quente.....	89
Figura 5.33 - Perda de estanqueidade na solda da conexão da tubulação de cobre com água a 60°C (edifício 2).....	92
Figura 5.34 - Perda de estanqueidade na solda da conexão de tubulação de cobre com água a 40°C.....	93
Figura 5.35 - Perda de estanqueidade na junta de dilatação com água a 50°C devido a danos no componente (edifício 1).....	93
Figura 5.36 - Gráfico de simultaneidade de água quente.....	95
Figura 5.37 - Exemplos de misturadores não compensadores (a) duplo comando par lavatório, (b) monocomando para lavatório, (c) duplocomando para chuveiro, (d) monocomando para chuveiro, (e) pré misturador para lavatório.....	99
Figura 5.38 - Comportamento da temperatura da água quente ao longo do dia.....	99
Figura 5.39 - Exemplo de curvas de perda de carga de aquecedores.....	100
Figura 5.40 - Oscilação da vazão da água misturada devido a alteração da condição de simultaneidade.....	100
Figura 5.41 - Exemplos de misturadores auto compensadores: (a) balanceador de pressão para lavatório, (b) termostático para lavatório, (c) balanceador de pressão para chuveiro, (d) termostático para chuveiro.....	101
Figura 5.42 - Exemplo de expectativa de comportamento da temperatura da água misturada em válvulas termostáticas.....	103
Figura 5.43 - Válvulas redutoras de pressão instaladas nos andares.....	106
Figura 5.44 - Válvulas redutoras de pressão instaladas nos andares - projeto.....	107
Figura 5.45 - Bancada de teste prescrita pela NBR 15206 para verificação da vazão mínima de operação de chuveiros.....	108
Figura 5.46 - Desenho esquemático dos componentes empregados no sistema de medição.....	109

Figura 5.47 - Aparelhagem instalada em campo.....	109
Figura 5.48 - Manômetros instalados na saída do aquecedor.....	110
Figura 5.49 - Curva de perda de carga para o modelo de aquecedor especificado.....	112
Figura 5.50 - Curvas de vazão para o chuveiro 1990.C com restritor de vazão.....	114
Figura 5.51 - Curvas de vazão para o chuveiro 1990.C sem restritor de vazão.....	114
Figura 5.52 - Esquema de sistema de recirculação total para prevenir estagnação de água.....	118
Figura 5.53 - Exemplo de sistema de água quente com previsão de instalação de aquecimento solar com trechos mortos em (a) projeto e (b) execução.....	119
Figura 5.54 - Gamas de frequência: infrassons, audível, ultrassom.....	122
Figura 5.55 - Curvas de ponderação.....	123
Figura 5.56 - Tipos de ruído: (a) contínuo, (b) intermitente, (c) impulsivo e (d) flutuante aleatório.....	124
Figura 5.57 - Fixação para tubulações com amortecedores para reduzir a propagação de ruídos (a) instalação e desenho e (b) desenho esquemático.....	126
Figura 5.58 - Bombas e pressurizadores fixados em (a) amortecedores e (b) bases amortecedoras.....	127
Figura 5.59 - Bomba conectada ao sistema por ligações flexíveis.....	127
Figura 5.60 - Função de desempenho versus tempo, descrevendo a durabilidade de um produto em determinadas condições ambientais.....	129
Figura 5.61 - Curvas de regressão para tubos (a) CVPC e (b) PP-R.....	133
Figura 5.62 - Tubulação de distribuição de água quente exposta a raio ultravioleta.....	134
Figura 5.63 - Instalação de componentes de bloqueio e retenção em altura.....	135
Figura 5.64 - Medidor de água quente (a) velocimétrico, (b) volumétrico e (c) ultrassônico.....	139

Figura 5.65 - Exemplo de componentes para recirculação para aquecedores instantâneos a gás.....	144
Figura 5.66 - Redução do consumo advinda do conserto de vazamentos - unidades localizadas no Campus Universitário da UNICAMP.....	145
Figura 5.67 - Vazamento em aparelho sanitário.....	145
Figura 5.68 - Efeito da pressão hidráulica nas perdas de água.....	146
Figura 5.69 - Eficiência no uso de água - redução normativa dos volumes de descarga de bacias sanitárias.....	147
Figura 5.70 - Chuveiro com tecnologia de injeção de ar e jato pulsado.....	148
Figura 5.71 - Aparelho para teste de força de jato de acordo com a ASME A112.18.1 - (a) vista isométrica e (b) esquema de montagem.....	149
Figura 5.72 - Aparelho para teste de dispersão do jato de acordo com a ASME A112.18.1- (a) vista isométrica e (b) esquema de montagem.....	149
Figura 5.73 - Exemplo de faixas de vazão e pressão para chuveiros eficientes de acordo com a ASME A112.18.1.....	150
Figura 5.74 - Exemplos de (a) ENCE e (b) Selo Conpet para aquecedores de passagem.....	152
Figura 5.75 - Exemplos de (a) ENCE e (b) Selo Procel para aquecedores e chuveiros elétricos.....	153
Figura 5.76 - Evolução da média das perdas específicas de energia em reservatórios térmicos (kWh/mês/litro).....	154
Figura 5.77 - Evolução da produção específica de energia em coletores solares (kWh/mês/m ²).....	154
Figura 5.78 - Exemplo de uma ENCE para o PBE Edifica.....	156
Figura 5.79 - Perfil de demanda de gás combustível do reservatório de água quente de um sistema central coletivo.....	158
Figura 6.1 - Etapas previstas no modelo conceitual proposto por Ishida (2015).....	162
Figura 6.2 - Etapas abordadas na pesquisa.....	163

Figura 6.3	- Etapas abordadas na pesquisa para o estabelecimento dos OPRs.....	164
Figura 6.4	- Atividades abordadas para verificação de conformidade com os requisitos estabelecidos.....	177
Figura 6.5	- Atividades abordadas para desenvolvimento das diretrizes para os manuais.....	200
Figura 6.6	- Atividades abordadas durante o desenvolvimento das diretrizes para o plano de capacitação e treinamento.....	203

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Classificação dos subsistemas do edifício de acordo com a ISO 19208:2016.....	8
Tabela 4.1	- Requisitos de desempenho estabelecidos pela NBR 15575-1.....	39
Tabela 4.2	- Exemplos de custos de controle de qualidade.....	43
Tabela 4.3	- Exemplos de custos de falha de controle de qualidade.....	44
Tabela 5.1	- Requisitos de segurança.....	58
Tabela 5.2	- Requisitos de sustentabilidade.....	59
Tabela 5.3	- Requisitos de habitabilidade.....	59
Tabela 5.4	- Condições especificadas para aplicação dos testes.....	63
Tabela 5.5	- Coeficientes médios de dilatação térmica.....	71
Tabela 5.6	- Critérios normativos de estanqueidade de tubulações de sistemas prediais de água quente.....	87
Tabela 5.7	- Resultados de testes em colunas de distribuição de água quente com água com temperatura elevada.....	91
Tabela 5.8	- Fatores de armazenamento em função do volume de água quente consumido no horário de pico.....	95
Tabela 5.9	- Tempo de respostas e oscilações permitidas pelas normas ASSE.....	102
Tabela 5.10	- Tempos de espera de referência de acordo com a SIA 385/3:1991.....	103
Tabela 5.11	- Tempos de espera máximo de acordo com a VDI 6003:2004.....	104
Tabela 5.12	- Distribuição de água quente na edificação.....	105
Tabela 5.13	- Resultado dos ensaios com temperatura de água quente a 43°C.....	110
Tabela 5.14	- Resultado dos ensaios com temperatura de água quente a 43°C e aquecedor de 36L/min.....	113
Tabela 5.15	- Resultado dos ensaios com temperatura de água quente a 60°C.....	113
Tabela 5.16	- Efeito da temperatura em bactérias do tipo <i>Legionella</i>	120

Tabela 5.17	- Níveis de pressão sonora máximos em dormitórios de acordo com a NBR 15575-6.....	128
Tabela 5.18	- Vida útil de projeto (VUP).....	130
Tabela 5.19	- Efeito das falhas no desempenho.....	131
Tabela 5.20	- Categoria de vida útil de projeto para partes do edifício.....	131
Tabela 6.1	- Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil.....	131
Tabela 6.2	- Critérios para o estabelecimento da VUP das partes do edifício (ABNT, 2013b).....	132
Tabela 6.3	- Resumo dos critérios de desempenho das certificações ambientais para o uso eficiente da água.....	138
Tabela 6.4	- Tipos de desperdício, definições, causas e exemplos.....	143
Tabela 6.5	- Vazões máximas de referência para a conservação de água de acordo com a atividade.....	150
Tabela 6.6	- Impactos atuantes em tubulações aparentes.....	165
Tabela 6.7	- Periodicidade das atividades de manutenção dos sistemas prediais de água quente.....	201
Tabela 6.8	- Unidades de Competência sugeridas para capacitação de profissionais de execução.....	204
Tabela 6.9	- Classificação dos profissionais aptos a executar serviços em sistemas prediais em conformidade com a NBR 5626 (ABNT, 2020a).....	204
Tabela 6.10	- Atividades de manutenção e tipos de profissionais para manutenção de sistemas prediais de água quente.....	205

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	4
1.2	METODOLOGIA.....	5
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	6
2	SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE	8
2.1	SISTEMAS PREDIAIS.....	8
2.2	SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA.....	10
2.2.1	Fontes de energia	12
2.2.2	Aquecimento direto e indireto	17
2.2.3	Tipologia dos sistemas de aquecimento	19
2.2.4	Aquecimento instantâneo	21
2.2.5	Aquecimento por acumulação	23
2.2.6	Sistemas conjugados	25
2.2.7	Sistemas de aquecimento solar	26
2.3	DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE.....	30
2.3.1	Medição individualizada	30
3	QUALIDADE E DESEMPENHO	37
3.1	DESEMPENHO.....	37
3.2	CONTROLE DE PRODUÇÃO E CUSTOS DE QUALIDADE.....	42
4	COMISSIONAMENTO	50
5	DESEMPENHO DOS SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE	57
5.1	REQUISITOS DE DESEMPENHO DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE.....	58
5.2	CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE.....	60
5.2.1	Resistência mecânica das tubulações suspensas	60
5.2.2	Resistência mecânica das tubulações aparentes	62
5.2.3	Resistência a sobrepessões	65
5.2.4	Resistência a dilatação térmica dos componentes	70
5.2.5	Risco de explosão	73
5.2.6	Risco de queimaduras por contato	74
5.2.7	Risco de escaldamento do usuário	79
5.2.8	Estanqueidade das tubulações do sistema	82
5.2.9	Geração e armazenamento de água quente	94
5.2.10	Distribuição e uso de água quente	97
5.2.11	Proteção sanitária da água potável	116
5.2.12	Desempenho acústico	121
5.2.13	Durabilidade e vida útil de projeto	129
5.2.14	Manutenibilidade e acessibilidade do sistema	134
5.2.15	Uso eficiente da água	137

5.2.16	Eficiência energética - geração e distribuição de água quente.....	152
5.2.17	Flexibilidade e adaptabilidade.....	159
6	RESULTADOS.....	162
6.1	REQUISITOS DE PROJETO DO PROPRIETÁRIO E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE (CX-A 002 - OPR).....	163
6.1.1	Resistência mecânica das tubulações suspensas.....	164
6.1.2	Resistência mecânica das tubulações aparentes.....	165
6.1.3	Resistência a sobrepensões.....	165
6.1.4	Resistência a dilatação térmica dos componentes.....	166
6.1.5	Risco de explosão.....	166
5.1.6	Risco de queimaduras por contato.....	167
6.1.7	Risco de escaldamento do usuário.....	167
6.1.8	Estanqueidade das tubulações do sistema.....	168
6.1.9	Geração e armazenamento de água quente.....	168
6.1.10	Distribuição e uso de água quente.....	170
6.1.11	Proteção sanitária da água potável.....	170
6.1.12	Desempenho acústico.....	171
6.1.13	Durabilidade e vida útil de projeto.....	172
6.1.14	Manutenibilidade e acessibilidade do sistema.....	172
6.1.16	Uso eficiente da água.....	174
6.1.16	Eficiência energética - geração e distribuição de água quente.....	175
6.1.17	Flexibilidade e adaptabilidade.....	176
6.2	VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE.....	176
6.2.1	Plano de comissionamento (CX-B-001 - PCX).....	177
6.2.2	Análise da base de projeto (CX-B-002 - BoD).....	178
6.2.3	Plano de testes e inspeções (CX-D-003).....	190
6.3	MANUAIS DE EXECUÇÃO E OPERAÇÃO (CX-C-002).....	200
6.3.1	Especificações do manual de operação.....	201
6.3.2	Especificações do manual de execução.....	202
6.4	PLANO DE CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO (CX-D-004).....	203
7	CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES.....	207
7.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	207
7.2	CONCLUSÕES.....	210
	REFERÊNCIAS.....	212

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e o adensamento populacional nos centros urbanos requerem uma maior demanda por energia e água, o que implica em maiores investimentos em geração e distribuição de energia elétrica e captação, tratamento e de distribuição de água. As edificações demandam cerca de 24% da energia elétrica produzida (ELETROBRÁS, 2007) e 22% de toda água potável disponível no país (ANA, 2016).

Entre os usos finais de energia elétrica em edificações, uma parcela considerável da mesma é utilizada para o aquecimento de água, representando cerca de 6% do consumo total de energia elétrica gerada. Além disso, devido à alta potência energética necessária para seu funcionamento, o chuveiro elétrico contribui com 46% da demanda de pico e 30% da demanda no período de ponta (TOMÉ, 2014).

Neste contexto é possível observar duas necessidades complementares: o aumento da eficiência do consumo energético e a diversificação das fontes de energia empregadas para o aquecimento de água. A eficiência energética de chuveiros elétricos é superior a 95% (INMETRO, 2017), de modo que a redução do consumo por meio do aumento da eficiência energética dos produtos empregados é inviável e ineficiente. Assim, é necessário abordar esse desafio pela diversificação das fontes de energia, a exemplo de sistemas de água quente alimentados por gás combustível, energia solar ou por outras medidas similares. De acordo com a Eletrobrás (2007) essas duas fontes de energia combinadas têm uma participação inferior a 10% do total das fontes energéticas utilizadas para o aquecimento de água em residências, enquanto mais de 75% da população utiliza chuveiros elétricos.

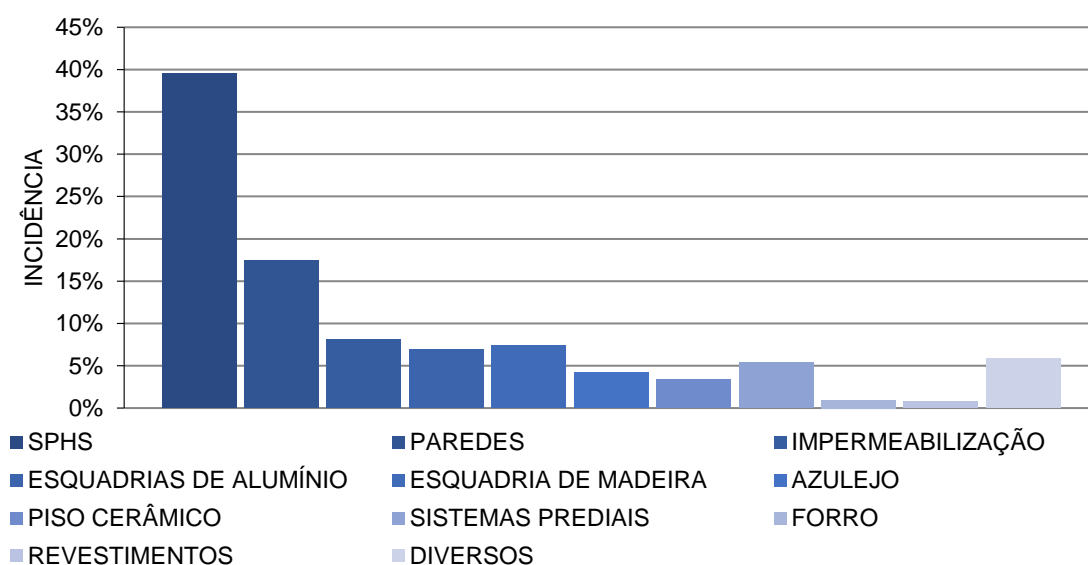
Ao mesmo tempo, o consumo de água de sistemas que contam com chuveiros elétricos é relativamente baixo quando comparado com aqueles utilizados em sistemas de aquecimento central, uma vez que a vazão de água consumida tende a ser limitada pela potência elétrica do aparelho. Assim, a substituição de sistemas de aquecimento individual por sistemas de aquecimento central tende a gerar um aumento no consumo de água. Além disso, a utilização de sistemas de aquecimento central pode incorrer em um maior desperdício de energia e de água, uma vez que a distribuição de água quente é mais ineficiente devido a distância que ela percorre desde a fonte de aquecimento até o ponto de consumo.

O desempenho e a eficiência do sistema predial de água quente, tanto nos aspectos energéticos quanto hídricos, possuem relação direta com a sua concepção, projeto, execução e operação. Para obter uma maior eficiência e melhor desempenho, o sistema precisa empregar componentes de maior nível tecnológico tanto para a gestão desses insumos como para a redução do consumo de água e de energia. Isso traz uma maior complexidade ao sistema e implica em uma menor tolerância a erros e a imprecisão, que podem gerar uma maior incidência de patologias na edificação.

Ressalta-se que diversas patologias não são facilmente identificadas durante a fase de execução ou no ato de entrega da edificação. Algumas são ocultas, porém passíveis de verificação através de testes durante o processo de construção, a exemplo da ruptura de conexões de colunas de distribuição ou de ramais de água quente, causada por erros de dimensionamento de reservatórios e de juntas de expansão. Outras são latentes e só podem ser identificadas após a ocupação da edificação, a exemplo da eficácia de diversas medidas para se obter eficiência no uso da água e da energia.

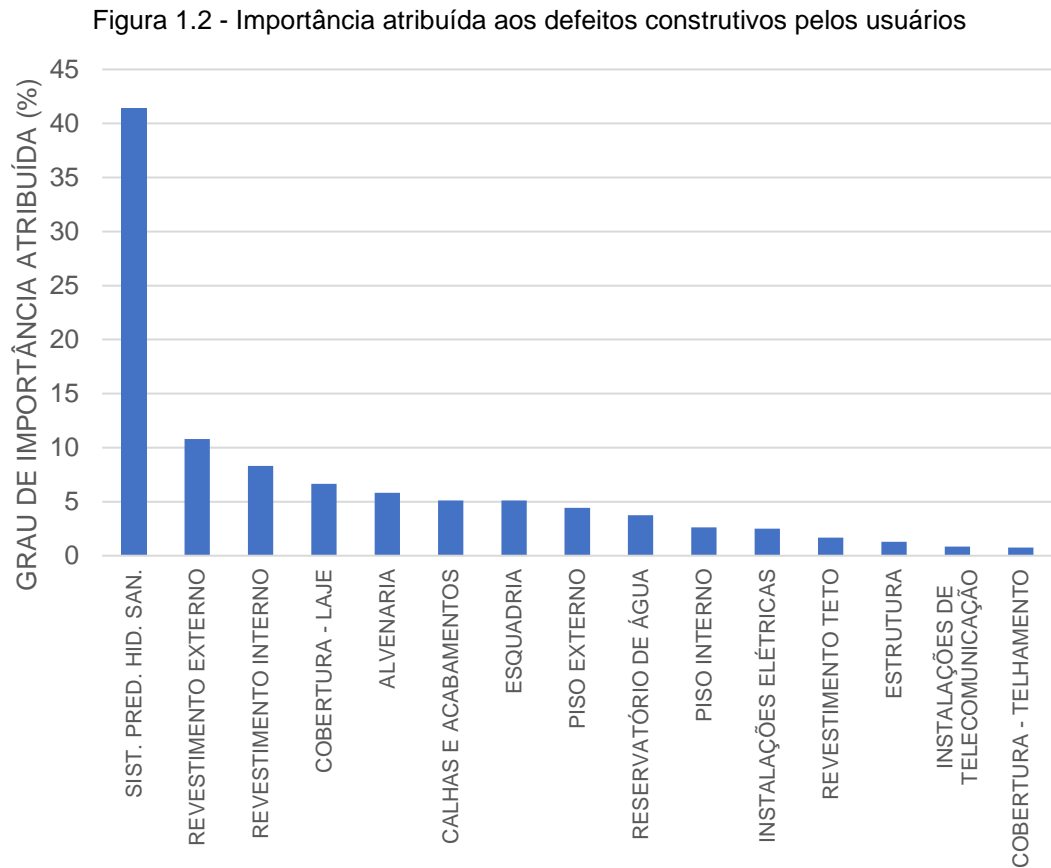
A avaliação da incidência de patologias em edificações através de APO (Avaliação Pós-Ocupação) ainda carece de pesquisas de maneira mais frequente e estruturada. No entanto, conforme verificado por Bernardes et al. (1998), as patologias nos sistemas prediais corresponderam a 39,5% de todas as patologias encontradas em 52 edificações no Rio de Janeiro, conforme ilustrado na Figura 1.1.

Figura 1.1 - Distribuição das patologias verificadas em edifícios residenciais



Fonte: Bernardes et al. (1998).

Em pesquisas conduzidas por Athanazio e Trajano (1998), em que a importância atribuída pelos usuários aos defeitos construtivos encontrados em edificações foi verificada, 50% dos entrevistados apontaram sistemas prediais como o ponto de maior relevância, conforme apresentado na Figura 1.2.



Fonte: Athanazio e Trajano (1998).

Conforme avaliado por Benedicto (2009), é necessário lembrar que os usuários são leigos e não têm conhecimento da operação do sistema, de modo que é possível que diversas patologias não tenham sido identificadas pelos entrevistados.

Ressalta-se que sistemas mais complexos necessitam de uma equipe de operação com maior nível de capacitação. Caso isso não ocorra, é provável que as consequências sejam as citadas anteriormente - um alto índice de patologias e elevado consumo de água e de energia e, nesse caso, causadas por erros de operação ao invés de erros de projeto ou de execução. Além disso, devido a quantidade de intervenientes nesse processo, as falhas podem ter origem na falta ou no erro de comunicação entre os profissionais envolvidos, bem como na falta de parâmetros e atribuições claras da responsabilidade dos envolvidos no processo.

Em todos os casos descritos, tentar solucionar essas falhas abordando apenas uma das fases da vida útil da edificação, em maior ou menor grau, tende a ser ineficiente ou ineficaz, de modo que a solução necessita de uma abordagem sistêmica.

Uma das soluções para essas falhas é o Comissionamento, que pode ser conceituado como um processo que tem como objetivo garantir e evidenciar o atendimento aos requisitos do proprietário do edifício, documentar as fases do ciclo de vida do edifício e capacitar os profissionais de operação (ISHIDA, 2015). Ao estabelecer formalmente as necessidades dos usuários, os requisitos de desempenho para a edificação e exigir que os diversos projetistas e profissionais envolvidos busquem meios para atender ao mesmo, o sistema pode ser otimizado, tanto no aspecto de eficiência, quanto no aspecto de qualidade esperada. Observa-se que a documentação e a atribuição das responsabilidades e atividades de cada um dos intervenientes permitem melhor rastreabilidade e controle do processo, de maneira que os erros de comunicação entre os profissionais sejam reduzidos.

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo desenvolver o comissionamento de sistemas prediais de água quente para edifícios residenciais, com o intuito de melhorar o desempenho, a eficiência energética, a eficiência hídrica, reduzir as falhas, a necessidade de retrabalho e a incidência de patologias.

1.1 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O trabalho tem como objetivo desenvolver as atividades para a execução do comissionamento de sistemas prediais de água quente, ou seja, os requisitos de projeto de proprietário e o método de verificação de conformidade, o que inclui o plano de comissionamento, a análise da base de projeto e as verificações em campo, além das diretrizes para capacitação e o desenvolvimento das diretrizes os manuais de operação do sistema. As justificativas para o desenvolvimento de pesquisas sobre o tema proposto são:

- a alta incidência de patologias nos sistemas prediais hidráulicos e sanitários;
- a melhoria da qualidade e do desempenho do sistema predial de água quente;
- o aumento crescente da complexidade dos sistemas prediais de água quente;
- a necessidade de maior eficiência no uso de água e de energia em edificações, bem como a diversificação das fontes energéticas para o aquecimento de água;

- a relação entre eficiência energética, eficiência hídrica e o desempenho do sistema predial de água quente com a concepção, projeto, execução e operação da edificação;
- a necessidade de mais pesquisas sobre o tema Comissionamento.

1.2 METODOLOGIA

O modelo de comissionamento empregado como base para o desenvolvimento das atividades foi definido por meio de pesquisa exploratória durante a fase de revisão bibliográfica. O intuito dessa etapa é definir quais as etapas e atividades do processo, em nível macro, deveriam ser realizadas para comissionar um sistema predial de água quente. Para isso, foi conduzida uma pesquisa sobre os modelos empregados para o comissionamento, considerando que existem poucas pesquisas sobre o tema em território nacional devido ao caráter inovador do tema.

Após a definição do modelo empregado para o comissionamento, as etapas e atividades necessárias para executar o processo em um sistema de água quente foram estabelecidas e desenvolvidas. Essa etapa têm a função de definir quais aspectos, ou seja, os requisitos e critérios de desempenho, seriam comissionados e como comissioná-los, ou seja, os métodos de verificação dos requisitos e critérios estabelecidos.

A metodologia para definição dos requisitos, critérios e métodos de verificação e as atividades oriundas do modelo empregado foram desenvolvidas por meio de pesquisa exploratória e entrevistas com especialistas nos campos correlacionados, que envolvem consultores de comissionamento, construtoras, projetistas, empresas de instalação de sistemas prediais, fabricantes de componentes, entre outros.

Em casos específicos, em que houve a necessidade de avaliação dos resultados em campo após a pesquisa exploratória, a exemplo de testes de verificação dos requisitos e critérios estabelecidos nas etapas anteriores, foram realizadas visitas em campo nos locais onde eles serão executados. No caso da inexistência de bibliografia, os métodos de verificação foram propostos pelo autor, em conjunto com especialistas no assunto e, quando possível, verificados em campo.

Nota-se que para executar diversas etapas do Comissionamento é necessário que haja um objeto a ser comissionado, ou seja, a execução de um estudo de caso, uma

vez que algumas etapas estão ligadas às especificidades do projeto em questão. Exemplos dessas atividades são a identificação da equipe de comissionamento e a definição do escopo e orçamento para comissionamento, bem como a atualização da Base de Projeto (BoD) e dos Requisitos de Projeto de Proprietário (OPR's), que são etapas específicas a um projeto em si. Uma vez que essa pesquisa não tem a intenção ser um estudo de caso, estas etapas não serão abordadas.

Na Figura 1.3 está apresentado um fluxograma resumindo as etapas da pesquisa.

Figura 1.3 - Etapas da pesquisa



Fonte: Autor (2021).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação de mestrado está estruturada em 6 capítulos, conforme descrito a seguir.

O Capítulo 1 traz uma introdução sobre o panorama do mercado no momento da elaboração da pesquisa, bem como os problemas mais encontrados, que impulsionaram a pesquisa elaborada, os aspectos metodológicos, o objetivo da pesquisa e a estrutura do trabalho.

Os Capítulos 2, 3 e 4 contêm a revisão bibliográfica dos conceitos que possuem maior relação com o tema da pesquisa, além de explorar o modelo conceitual para comissionamento de sistemas prediais que foi utilizado como base para as atividades subsequentes.

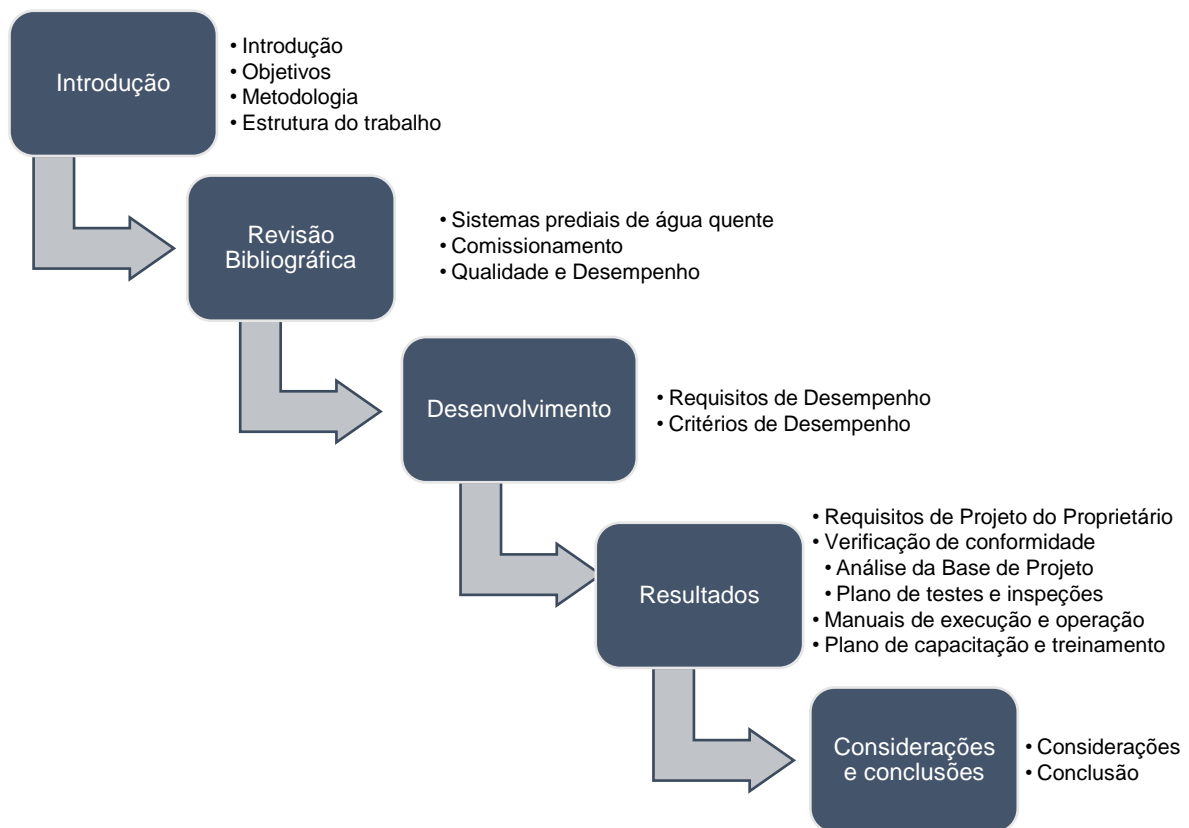
O Capítulo 5 discorre sobre os requisitos e critérios de desempenho dos sistemas de água quente, bem como seus métodos de verificação. Essa etapa, que teve caráter de pesquisa exploratória e de verificações em campo, tem como função estabelecer a base para o desenvolvimento dos resultados que foram obtidos.

O Capítulo 6 descreve os resultados obtidos pelas pesquisas e consolida os resultados obtidos nos produtos do comissionamento, conforme a estrutura aplicada para o processo em questão.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões obtidas, as discussões sobre a pesquisa e propostas para futuras atividades a serem elaboradas sobre o tema.

Na Figura 1.4 está apresentada a estrutura da dissertação.

Figura 1.4 - Estrutura da dissertação



Fonte: Autor (2021).

2 SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE

Este capítulo apresenta os sistemas prediais de água quente com ênfase para os tópicos relacionados aos pontos que têm maior relação com o tema da presente pesquisa.

2.1 SISTEMAS PREDIAIS

As edificações são compostas de diversos subsistemas complementares entre si. Esses sistemas podem ser classificados de acordo com a sua função, conforme descrito na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Classificação dos subsistemas do edifício de acordo com a ISO 19208:2016

SUBSISTEMA	
Estrutura	Fundações
	Superestrutura
Envoltória Externa	Sob o nível do solo
	Sobre o nível do solo
Divisores de espaços externos (Vedações externas)	Verticais
	Horizontais
	Escadas
Divisores de espaços internos (Vedações internas)	Verticais
	Horizontais
	Escadas
Serviços (Instalações)	Suprimento e disposição de água
	Controle térmico e ventilação
	Suprimento de gás
	Suprimento de energia elétrica
	Telecomunicações
	Transporte mecânico e eletromecânico
	Transporte pneumático e por gravidade
Segurança e proteção	

Fonte: ISO 19208 (ISO, 2016).

A concepção da edificação e de seus subsistemas deve considerar as expectativas e requisitos dos usuários e ocupantes, bem como a inter-relação entre os próprios subsistemas, de modo a obter uma harmonia funcional (GONÇALVES e OLIVEIRA, 1998). De acordo com Graça (1985), a harmonia funcional é a inter-relação homem - edifício - ambiente, em que os diversos subsistemas interagem com o usuário e com o meio em qual esses se encontram.

Os sistemas prediais são sistemas físicos, integrados a um edifício, que têm por finalidade dar suporte às atividades dos usuários, suprindo-os com os insumos prediais necessários e propiciando os serviços necessários para o desenvolvimento das atividades na edificação (GONÇALVES, 2018).

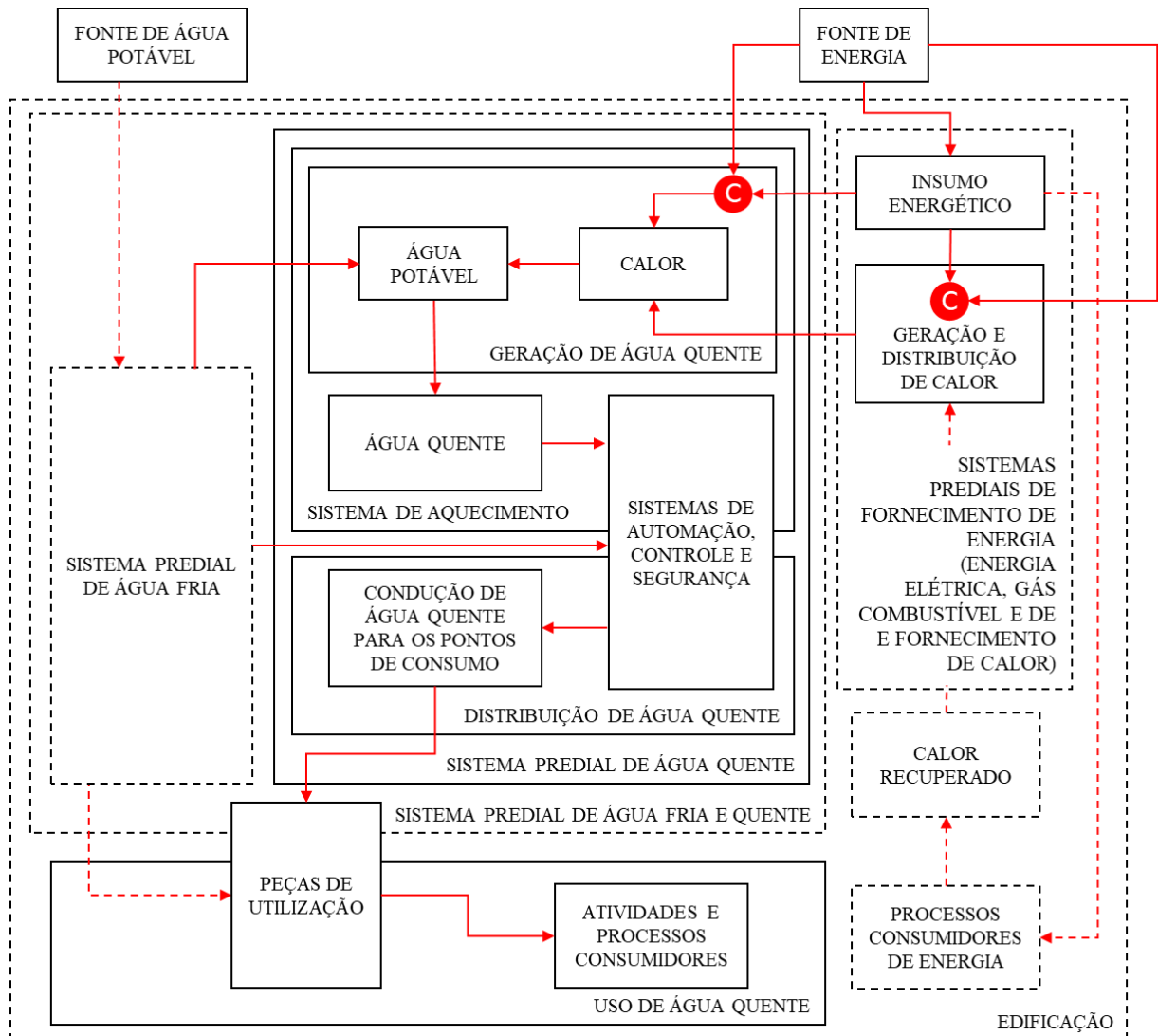
No caso dos sistemas de água quente, que são parte integrante dos sistemas de suprimento e de disposição de água, sua função é o fornecimento de água para o uso humano em quantidade e temperatura adequada para a execução das atividades e processos consumidores executados no local.

Ressalta-se que a classificação dos sistemas prediais de suprimento de água em “sistema de água fria” e “sistema de água quente” de maneira separada deve ser feita com cautela, uma vez que os sistemas de água fria e quente são partes de um sistema único e integrado. Desse modo, a abordagem analítica tende a incorrer em erro, uma vez que, na realidade, os limites entre esses sistemas são inexistentes e o desempenho de uma parte têm influência direta na outra.

Evidencia-se esse fato, principalmente, nos pontos de uso de água, onde as atividades e processos consumidores são executados. A água quente raramente é utilizada sem a mistura com a água fria, logo nos pontos de consumo são instaladas válvulas ou registros misturadores. Esses componentes permitem o controle e ajuste da temperatura, pressão e vazão da água. Nesses pontos ambos os subsistemas de suprimento de água potável (fria e quente) estão em contato direto, de modo que os sistemas necessitam apresentar um funcionamento harmônico para que as atividades sejam executadas de maneira adequada e segura.

O sistema predial de água quente pode ser separado em subsistemas menores, de acordo com a sua função, conforme apresentado no fluxograma da Figura 2.1.

Figura 2.1 - Fluxograma dos subsistemas do sistema predial de água quente



Fonte: Autor (2021).

2.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de aquecimento de água é o conjunto de componentes que tem como função gerar água quente para atender a demanda dos processos consumidores executados na edificação.

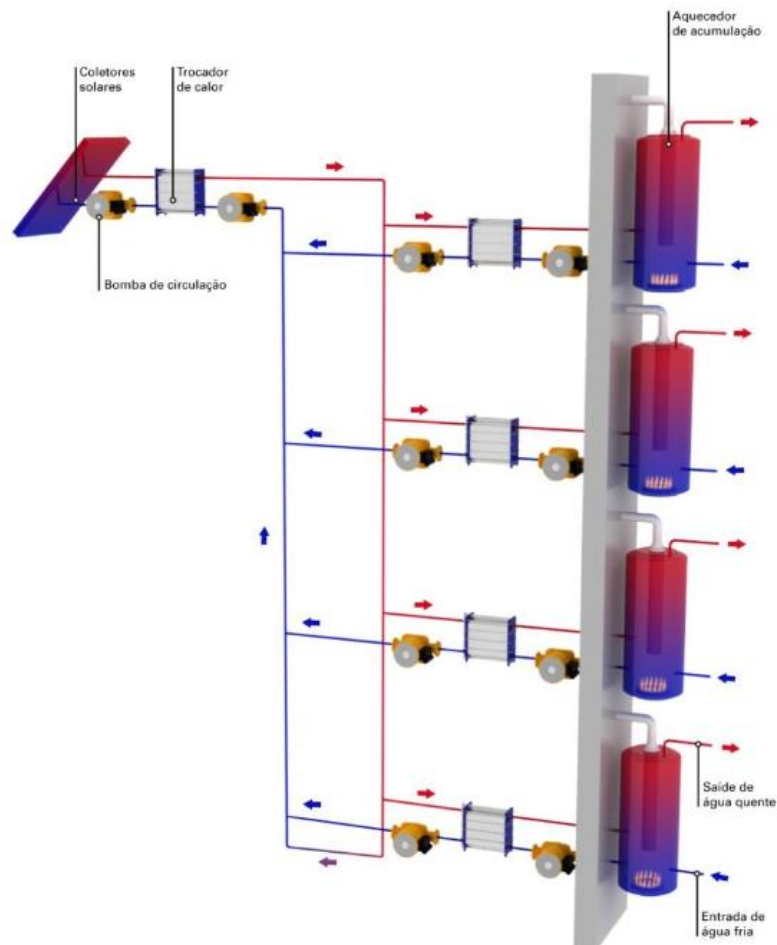
A geração de água quente é feita por meio da transferência do calor para a água potável que será utilizada nas atividades e processos consumidores. O calor é obtido pela conversão dos insumos energéticos em calor ou pelo uso do calor presente na edificação, rejeitado por outros processos e atividades.

A classificação do sistema de aquecimento geralmente é feita em função de quatro características principais, sendo essas:

- a fonte de energia (solar, gás natural, eletricidade etc.);
- o meio de fornecimento de calor para a água a ser consumida (direto ou indireto);
- o tipo ganho de calor da água ou os aquecedores empregados (instantâneo, acumulação, pré-aquecimento ou conjugado);
- a tipologia do sistema de distribuição de água quente para os pontos de consumo (individual, central privado ou central coletivo).

Deve-se observar que um sistema de aquecimento pode ser uma combinação de diversas dessas características, o que dificulta sua classificação de forma simples. A Figura 2.2 possui uma ilustração de um sistema de aquecimento que é alimentado por gases combustíveis e energia solar, possui fornecimento de calor direto e indireto e apresenta ganho de calor para pré-aquecimento por trocadores de calor e aquecedores de acumulação.

Figura 2.2 - Exemplo de sistema de aquecimento com aproveitamento de energia solar em circuito indireto com aquecedores de acumulação



Os próximos itens abordam cada uma dessas características de modo separado.

2.2.1 Fontes de energia

O processo de aquecimento de água requer calor, sendo que este pode ser advindo da conversão de insumos energéticos em calor ou de outras fontes disponíveis. A escolha está diretamente relacionada a disponibilidade delas no local da edificação e na edificação em si, bem como a concepção do próprio sistema.

Os insumos energéticos mais empregados para a geração de calor são a eletricidade, os gases combustíveis, seja do tipo Gás Natural (GN) ou Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), óleos combustíveis ou lenha. A conversão desses insumos em calor, geralmente, é feita por um equipamento específico, que são os aquecedores.

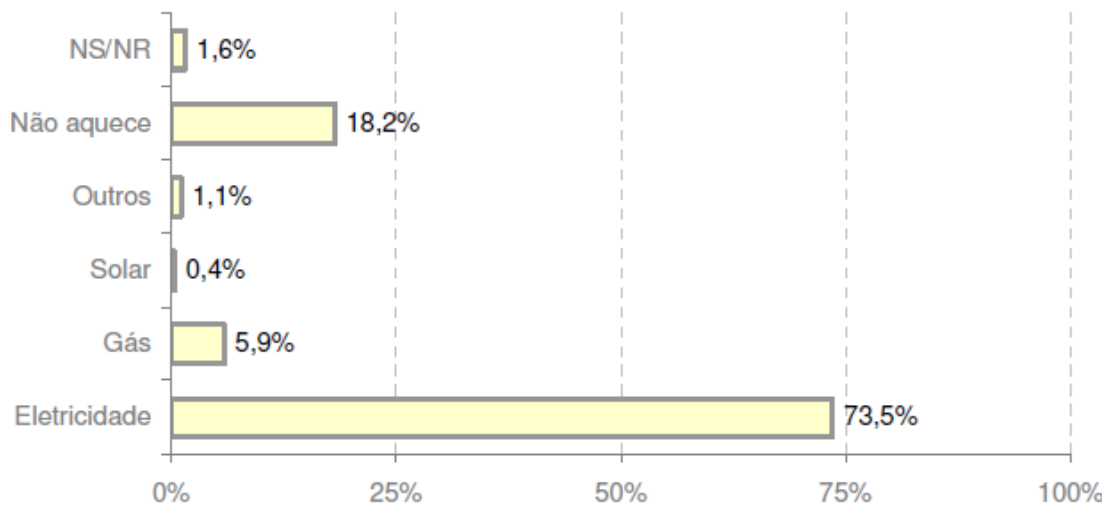
O aquecimento da água também pode ser feito empregando diretamente o calor, sem a conversão de insumos energéticos em calor no ponto de transmissão de calor para o sistema de água quente. Esse calor é fornecido por um sistema predial específico que não é parte integrante do sistema de água quente.

Nesse caso, o calor também é obtido por meio do uso de insumos energéticos, além de, possivelmente, calor rejeitado por outros sistemas ou aproveitado de outras fontes de energia. Exemplos dessas fontes são processos que ocorrem na edificação, como o calor rejeitado por sistemas de refrigeração ou sistemas de cogeração de energia, ou mesmo obtido pelo aproveitamento da energia solar.

Devido a políticas públicas estabelecidas no século 20, a rede de distribuição elétrica brasileira foi expandida de maneira considerável. O censo elaborado pelo IBGE em 2010 aponta que 98,73% dos entrevistados possuíam energia elétrica (IBGE, 2010).

A alta disponibilidade de energia elétrica fez com que seu uso para o aquecimento de água tenha se tornado amplo em relação a outras fontes. Na Figura 2.3 está apresentada a participação das fontes de energia empregadas para o aquecimento de água para banho no território nacional, em que o termo “NS/NR” corresponde a “Não Sabe/Não Lembra”.

Figura 2.3 - Fontes de energia utilizadas para aquecimento de água para banho no Brasil



Fonte: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - Ano base 2005 - Classe residencial (Eletrobrás, 2007).

De acordo com a Eletrobrás (2007), 99,6% do uso de eletricidade para aquecimento de água é feito majoritariamente por meio de chuveiros elétricos. Este equipamento é composto por um chuveiro com um sistema de aquecimento integrado. Esse sistema de aquecimento é do tipo instantâneo, pontual e, geralmente, é empregado sem nenhum tipo de pré-aquecimento da água.

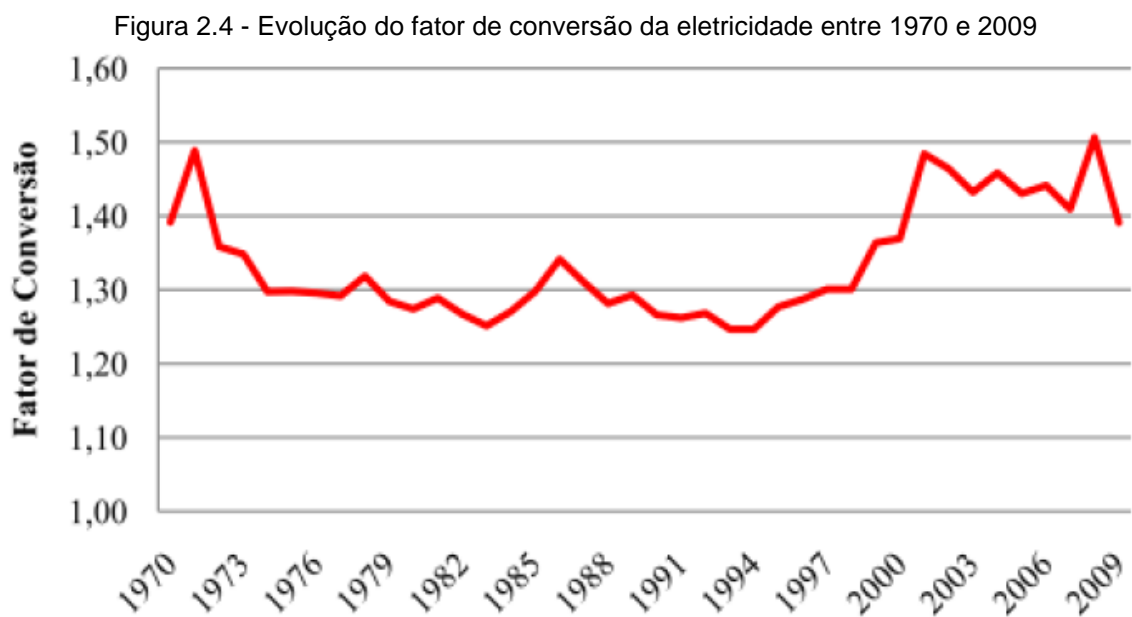
A potência elétrica demandada por este tipo de componente difere em função do modelo, sendo que os componentes disponíveis no mercado e avaliados pelo Inmetro apresentam uma potência entre 2,5 e 8,0 kW e uma eficiência energética superior a 95% (INMETRO, 2017). Observa-se que o rendimento energético do aquecimento elétrico é alto, fazendo com que o desenvolvimento de modelos com maior eficiência energética seja uma medida ineficaz para obter uma redução do consumo de energia.

O consumo de energia para o processo de aquecimento deve ser avaliado em nível macro, englobando desde o processo de geração de energia da fonte em questão até seu uso final. Analisando o consumo de energia deste sistema de aquecimento no ponto de uso, devido sua alta eficiência, ele é mais eficiente que sistemas a gás no aspecto energético. Ao mesmo tempo, quando se considera a energia primária, sistemas a gás podem ser mais eficientes que o sistema elétrico (MAGUIRE et al., 2013; SANTOS, 2011).

O transporte de energia elétrica pela rede de distribuição implica em um determinado nível de perdas energéticas, que varia de acordo com a intensidade da potência

demandada em um determinado instante. Com o aumento da potência transmitida, essa perda se intensifica.

Os fatores de conversão de consumo de energia no ponto final para energia primária foram calculados por Santos (2011), que ressalta que esse fator é alterado dependendo do cenário econômico do país, conforme apresentado na Figura 2.4. Essa variação ocorre pela necessidade de atender a demanda de energia por meio da geração em usinas térmicas, causada pela falta de disponibilidade de geração de energia pelas usinas hidroelétricas em um determinado instante.

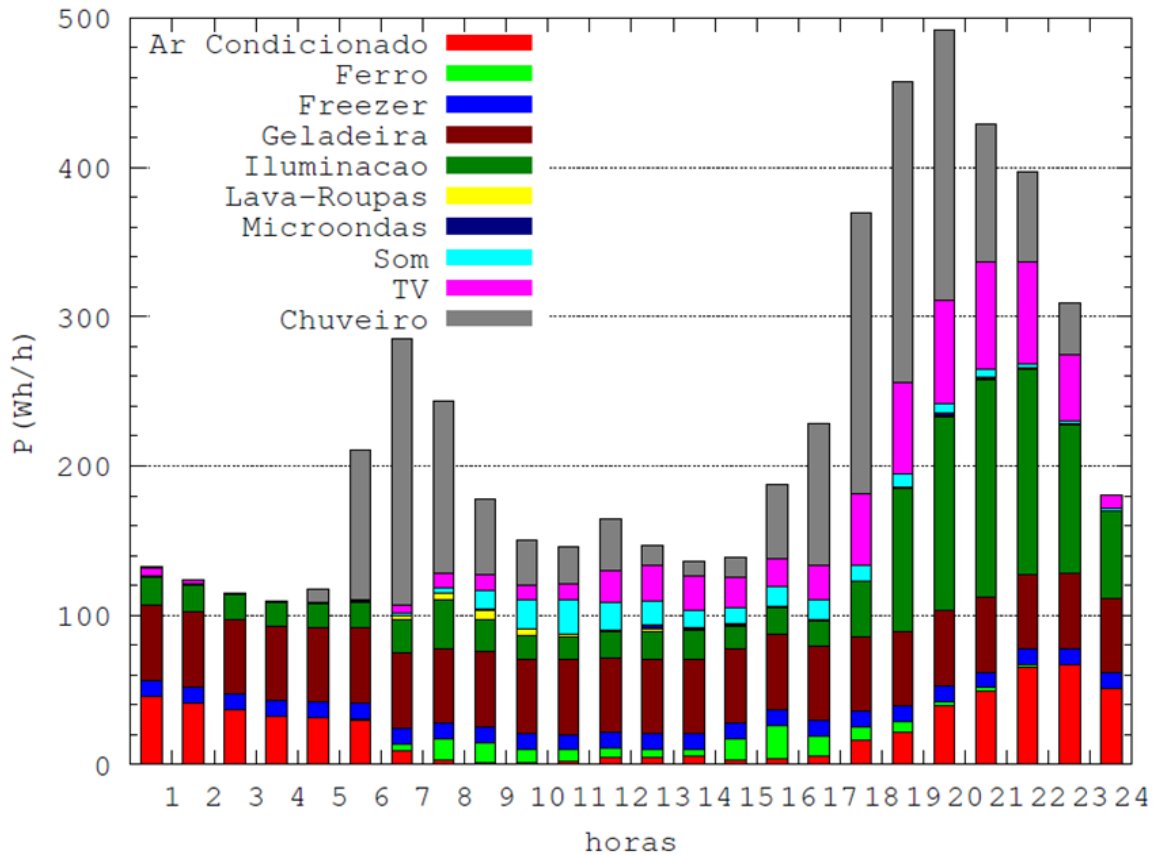


Fonte: Santos (2011).

De acordo com o Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2014), é esperado que exista uma tendência de redução da participação da geração de energia elétrica proveniente das usinas hidroelétricas no futuro. Desse modo, o fator pode variar entre 1,49 e 1,75 (SANTOS, 2011).

O consumo majoritário de energia para aquecimento de água é dado pela atividade de banho. Esta atividade é feita em períodos específicos e em um intervalo curto de tempo, que coincide com o uso massivo de outros eletrodomésticos e de sistemas de iluminação em maior intensidade. Esse período, onde existe uma demanda massiva de energia, é chamado de consumo de pico e pode ser observado na Figura 2.5.

Figura 2.5 - Simulação da curva de carga residencial por item: perfil nacional médio



Fonte: Tomé (2014).

Os sistemas de geração e de distribuição de energia elétrica necessitam ser dimensionados para atender a demanda durante o período de pico, além de possuírem um coeficiente de segurança. Isso causa um aumento considerável nos investimentos necessários para atender a demanda por energia da população brasileira. Devido à alta potência energética demandada pelo chuveiro elétrico, este aparelho contribui com 46% da demanda de pico e 30% da demanda no período de ponta (TOMÉ, 2014).

Dentro do segmento residencial, como agravantes a esse cenário é necessário mencionar a tendência de crescimento e adensamento populacional, o aumento da taxa de urbanização e o aumento do potencial aquisitivo da população, que tende a demandar mais energia elétrica (ELETROBRÁS, 2007).

Esses fatores implicam que, dentro do contexto atual, a demanda por energia elétrica tende a crescer e o consumo no período de pico tende a se intensificar. Para atender essa demanda pode-se aumentar a oferta, por meio do aumento da capacidade de geração e da melhoria do sistema de distribuição de energia elétrica, promover um

aumento da eficiência do uso de energia ou substituir o uso de eletricidade por outros insumos energéticos para determinadas atividades ou processos consumidores, a exemplo do emprego de gases combustíveis ou do calor proveniente da energia solar para o aquecimento de água (CHAGURI, 2009).

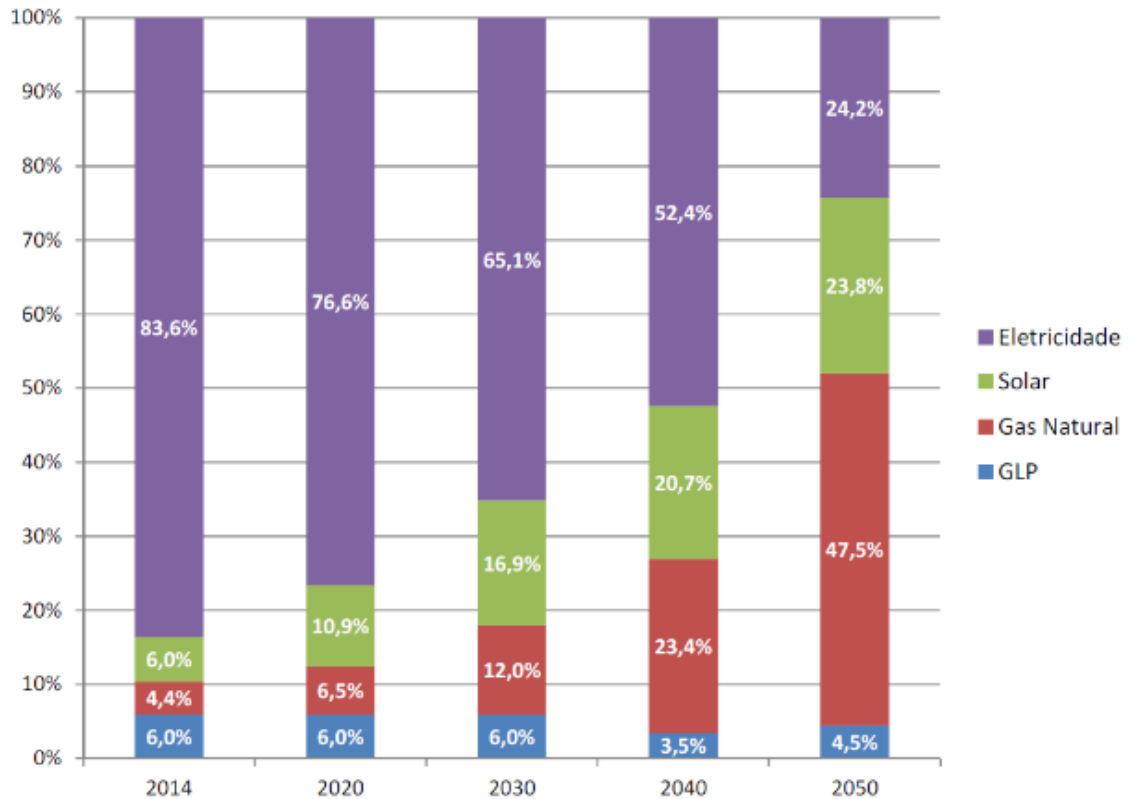
De acordo com a ANP (2009), a rede de distribuição de gás natural não teve expansão considerável antes de 1990 devido, principalmente, à baixa disponibilidade deste insumo em território nacional, bem como a priorização da expansão de outros setores da infraestrutura. A partir do ano 2000, com a operação do gasoduto Brasil-Bolívia (GASBOL) e a descoberta e início da exploração de novas bacias de petróleo, em especial na região sudeste do Brasil, pode-se observar um aumento na disponibilidade de gás natural em território nacional, o que impulsionou a construção de gasodutos e a disponibilidade desse insumo para o mercado (ANP, 2009).

O uso do gás natural para fins domésticos incorre na necessidade de uma rede de distribuição de gás com maior capilaridade, o que aumenta ainda mais os investimentos em infraestrutura. Assim, o uso desta fonte de energia é mais predominante na região Sudeste, devido a maior densidade populacional da região, que reduz os investimentos em distribuição capilar, além de condições climáticas favoráveis ao uso desta fonte de energia para aquecimento de água, que aumenta a demanda por gás natural (BNDES, 2006).

A distribuição do GLP é feita por transporte motorizado em recipientes metálicos (botijões), o que dificulta o uso deste insumo para o aquecimento de água devido a necessidade de reabastecimento constante. Além disso, devido ao histórico de políticas públicas estabelecidas anteriormente, a utilização desse insumo para uso doméstico ficou majoritariamente restrita a atividade de cocção, sendo que usos mais amplos para esta fonte foram poucos explorados (FOSSA, 2012).

A tendência de redução da participação do emprego de energia elétrica para aquecimento de água é observada no Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2014). Na Figura 2.6 está apresentada a tendência de evolução da participação das fontes de energia para o aquecimento de água.

Figura 2.6 - Projeção da participação das fontes de energia para aquecimento de água



Fonte: Brasil (2014).

Nota-se que a tendência de substituição do uso de eletricidade por gás natural e energia solar para o aquecimento de água é intencional, de modo a permitir que o uso de energia elétrica seja feito para outras atividades e processos e com períodos de pico mais suaves. O uso dessas fontes para o aquecimento de água implica em uma alteração no sistema de aquecimento de água, em que a geração de água quente é feita de maneira central, seja coletiva ou privada, ao invés de pontual.

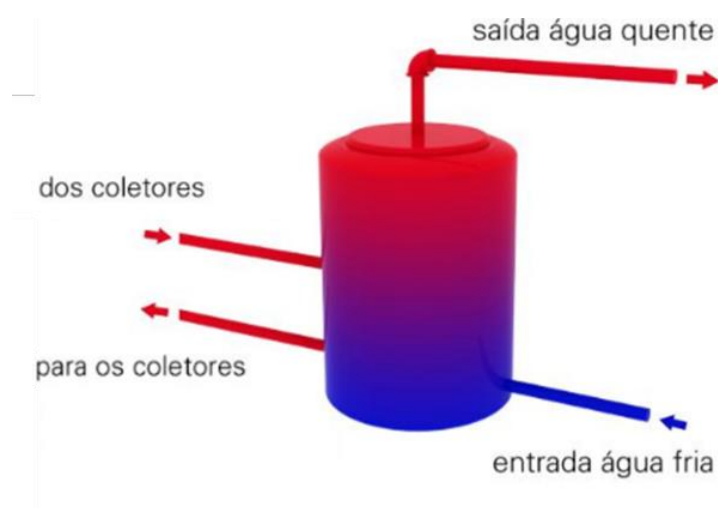
A alteração possui um impacto direto na concepção e na complexidade dos sistemas de água quente, trazendo diversos desafios que são necessários superar, a exemplo de maior risco de escaldamento do usuário, do risco da proliferação de bactérias do tipo *Legionella*, além da necessidade de compatibilidade com sistemas de medição individual de água, entre outros.

2.2.2 Aquecimento direto e indireto

O aquecimento da água pode ser feito de duas formas. A primeira é a transmissão do calor obtido pela conversão dos insumos energéticos diretamente para a água, sem

um meio intermediário. Nesse caso, o aquecimento é classificado como direto. Um exemplo de um aquecedor direto está ilustrado na Figura 2.7.

Figura 2.7 - Exemplo de sistemas de aquecimento do tipo direto



Fonte: adaptado de Comgás e Abrinstal (2011).

No caso do uso de um meio intermediário para a transmissão de calor entre a fonte geradora de calor e a água que será consumida pelos processos consumidores, classifica-se o sistema como indireto. Esses dois tipos de sistemas estão exemplificados na Figura 2.8.

Figura 2.8 - Exemplo de sistemas de aquecimento do tipo indireto



Fonte: adaptado de Comgás e Abrinstal (2011).

Observa-se que o uso de um sistema de aquecimento indireto implica na inserção de um sistema predial de geração e distribuição de calor na edificação. Esse novo

sistema deve apresentar um desempenho harmônico ao sistema de água quente, uma vez que existe uma interface direta entre eles. Ao mesmo tempo, este sistema não é parte integrante do sistema de água quente e deve ser abordado separadamente ao mesmo, uma vez que sua função é similar a dos sistemas energéticos.

O uso do calor exclusivamente para o aquecimento da água potável empregada para fins sanitários (geração de água quente) é uma prerrogativa exclusivamente do projeto, uma vez que o calor produzido pode ser empregado de diversos modos, a exemplo de aquecimento instantâneo, acumulação ou pré-aquecimento, além de para outros fins, a exemplo de sistemas de climatização.

O uso da água como fluido de transmissão nos sistemas de fornecimento de calor é feito uma vez que, para que a distribuição de calor pelo sistema seja eficiente, o fluido empregado para a transmissão deve apresentar (a) alta condutividade térmica, (b) alta capacidade térmica, (c) baixa viscosidade e (d) baixo coeficiente de expansão (TREIS, 1991). Essas características, atreladas ao baixo custo e a disponibilidade no local, são presentes na própria água, fazendo com que ela seja o meio mais empregado para a distribuição de calor. Nota-se que, nesse caso, a função da água não é igual àquela empregada para consumo humano, logo suas características não necessitam ser a mesma. Por exemplo, o uso de etilenoglicol ou propileno glicol é comum nos sistemas de distribuição de calor expostos para evitar o congelamento da água.

O sistema de aquecimento é composto de diversos componentes, sendo que o principal é o aquecedor. Esses componentes têm como função converter os insumos energéticos em calor ou aproveitar o calor de outras fontes e transmiti-lo para a água. O tipo de aquecimento é classificado de acordo com seu funcionamento, sendo os principais tipos o aquecimento instantâneo e de acumulação.

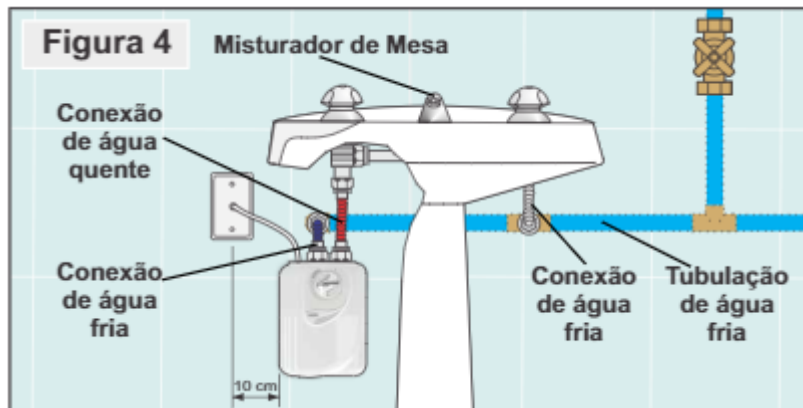
2.2.3 Tipologia dos sistemas de aquecimento

Tradicionalmente, o sistema de aquecimento é classificado em função da quantidade de pontos de utilização e de unidades autônomas abastecidas, sendo que ele pode ser feito para alimentar um ponto único de consumo, mais de um ponto de consumo ou mais de uma unidade autônoma.

Sistemas que alimentam apenas um ponto de consumo são classificados como sistemas de aquecimento pontual ou individual. Esse tipo de sistema utiliza,

majoritariamente, sistemas de aquecimento do tipo instantâneo, com calor proveniente de uma fonte de energia elétrica integrado a própria peça de utilização, ou seja, chuveiros ou torneiras elétricas. Também existem sistemas individuais em que a geração de água quente não se encontra integrada ao componente de utilização. Esses componentes estão ilustrados na Figura 2.9.

Figura 2.9 - Componentes de utilização com aquecedores instantâneos elétricos integrados e não integrados - (a) chuveiro elétrico, (b) torneira elétrica e (c) aquecedor de ponto



Fonte: Hydra Corona (2018) e Cardal (2018)

Uma vez que a água é aquecida no próprio ponto de consumo ou próximo a ele, este tipo de sistema apresenta como vantagens a disponibilidade de água quente quase imediata, sem tempo de espera até que a água alcance a temperatura desejada, além de fornecimento constante. Além disso, quando o sistema de aquecimento é integrado ao componente de utilização, o sistema não necessita de uma rede de tubulações para a condução da água quente até o ponto de consumo.

Como desvantagem pode-se citar a necessidade de alimentação de energia elétrica em todos os pontos de consumo que utilizam água quente, fazendo com que a extensão do sistema que fornece os insumos energéticos tenda a ser maior que a extensão dos sistemas centrais.

Os sistemas que geram água quente para mais de um ponto de consumo são classificados com sistemas centrais. Os sistemas centrais podem ser privados, quando alimentam apenas uma unidade autônoma, ou coletivos, quando alimentam mais de uma unidade autônoma.

Esse tipo de sistema apresenta como vantagem a concentração dos componentes de geração de água quente em menos ambientes, fazendo com que o sistema predial que distribui os insumos energéticos (gás, energia elétrica etc.) seja menos extenso. Ao mesmo tempo, esse tipo de sistema requer uma tubulação para a condução de água quente, além de componentes específicos para automação, controle e segurança do sistema.

2.2.4 Aquecimento instantâneo

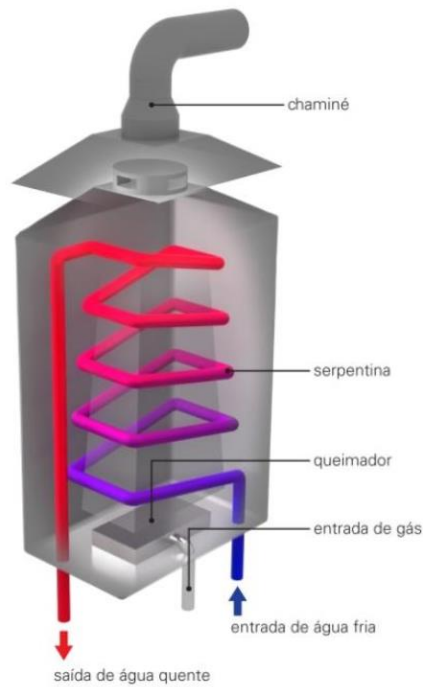
A principal característica do aquecimento instantâneo da água é o acionamento ou a transmissão de calor do componente pelo fluxo de água no sistema. Este tipo de aquecimento apresenta funcionamento apenas sob demanda, evitando a necessidade de armazenamento de água quente.

Geralmente, este tipo de componente possui uma potência energética alta, de modo a proporcionar um ganho de temperatura súbito e elevado para a água alcançar a temperatura de operação desejada. Quando o fluxo de água cessa, o aquecedor é desligado e a transmissão de calor cessa.

O aumento de temperatura é fornecido a uma vazão limitada de água, que é função da potência e do rendimento energético do componente e varia de acordo com o modelo e características do sistema em questão. Assim, os sistemas de aquecimento do tipo instantâneo apresentam limitação de fornecimento em relação a sua potência útil, uma vez que a vazão de água a ser aquecida e o ganho de temperatura são limitadas pelo equipamento.

Os principais componentes de um aquecedor instantâneo a gás, conhecido como aquecedor de passagem, estão ilustrados na Figura 2.10.

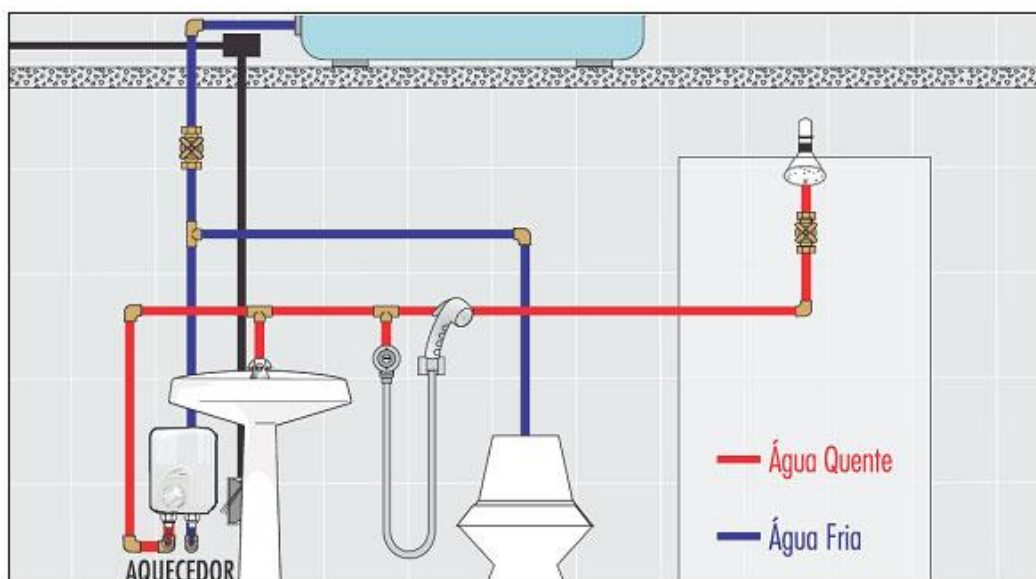
Figura 2.10 - Aquecedor instantâneo a gás



Fonte: Comgás e Abrinstal (2011).

Deve-se notar que o aquecimento instantâneo não se limita a aquecedores de gás. Outros tipos de aquecedores, abastecidos por outros tipos de insumos energéticos ou fontes de calor, pertencem à mesma categoria. Na Figura 2.11 está apresentado um exemplo de sistema com aquecedor instantâneo elétrico instalado em um sistema de aquecimento central.

Figura 2.11 - Sistema de aquecimento central com aquecedor instantâneo elétrico



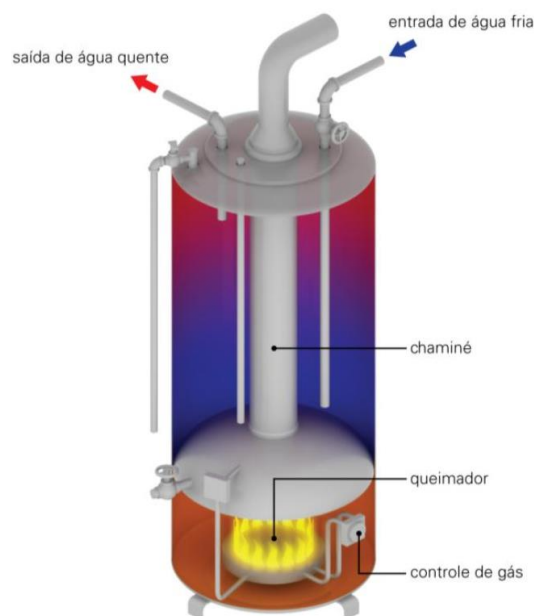
Fonte: Cardal (2018).

2.2.5 Aquecimento por acumulação

Sistemas de acumulação armazenam a água em uma temperatura elevada para fornecimento posterior, quando houver demanda pelo sistema. Esse tipo de componente aquece a água gradativamente até que ela alcance a temperatura limite que é ajustada no aquecedor, que geralmente é maior que a temperatura de uso da água.

A geração de calor dos sistemas de acumulação pode ser feita por meio da conversão de um insumo energético em calor pelo próprio componente ou por um componente externo. Na geração de calor pelo próprio aquecedor, o componente conta com um queimador, no caso de aquecedores a gás, por uma resistência elétrica interna, no caso de sistemas elétricos (CHAGURI, 2009) ou por um trocador de calor interno, no caso de sistemas indiretos. Um aquecedor de acumulação a gás e seus principais componentes estão exemplificados na Figura 2.12.

Figura 2.12 - Aquecedor de acumulação a gás



Fonte: Comgás e Abrinstal (2011).

O acionamento desse tipo de aquecimento é dado pela queda de temperatura da água armazenada, que é mensurada por sensores integrados ao componente ou instalados no sistema de aquecimento.

Nesse tipo de sistema o fornecimento de água fica limitado ao volume de água armazenado e, em menor grau, pela potência energética do componente, uma vez

que o aquecedor também é acionado quando existe consumo. Sendo assim, não existe uma limitação de vazão de água quente intrínseca a potência do componente, fazendo com que esse tipo de sistema possa fornecer água com maior vazão para o sistema.

Ressalta-se que o volume de água armazenada é limitado, fazendo com que a demanda só possa ser atendida por um período, uma vez que após o consumo de água quente é necessário aquecer a água novamente. O tempo necessário para o aquecedor reaquecer a água é a capacidade de recuperação do sistema, que deve ser observada durante a especificação e projeto do sistema de aquecimento.

O armazenamento de água também tem diversos efeitos no funcionamento do sistema e do próprio reservatório. A água armazenada no reservatório possui uma temperatura heterogênea, uma vez que a densidade da água é inversamente proporcional a sua temperatura. Devido a redução da densidade da água, em uma determinada seção horizontal do reservatório, a água apresenta uma temperatura maior do que a água presente nas seções abaixo dela. Esse fenômeno é conhecido como estratificação. Ao mesmo tempo, a água presente nas seções superiores troca calor com a água nas seções inferiores causando uma homogeneização da temperatura e, conseqüentemente, uma redução do nível de estratificação da água do reservatório (PETRUCCI, 1998).

Na realidade, o comportamento do reservatório de água quente é alternado constantemente entre os dois modelos em função das características de temperatura e vazão do sistema em um dado instante (ARRUDA, 2004).

A estratificação tem um papel determinante na operação do sistema de aquecimento de água, especialmente aqueles que utilizam energia solar, uma vez que o processo de transmissão de calor para a água é mais eficiente quando existe uma diferença maior entre a temperatura da água e da superfície do coletor.

Arruda (2004) observa que o rendimento do coletor é reduzido em função do acréscimo de temperatura da água na sua entrada, que ocorre devido ao aumento da temperatura da água nas camadas mais fundas do reservatório, fazendo com que a manutenção da estratificação seja indispensável para obter a eficiência ótima do sistema. Han et al. (2009), aponta que o ganho de eficiência da energia armazenada em função do aumento da estratificação do reservatório pode variar entre 6 e 20%.

Além disso, a estratificação também implica que, uma vez que a saída de água do reservatório para consumo é feita pela parte superior, a água consumida sempre será a água com temperatura mais elevada (PETRUCCI, 1998).

Ao mesmo tempo, a estratificação implica que parte do volume de água do reservatório não alcança a temperatura de operação do sistema e que a temperatura da água quente apresenta um certo nível de variação durante o seu uso, uma vez que a água admitida após o consumo apresenta uma temperatura inferior àquela já aquecida. Essa variação é função das características do reservatório, da vazão demandada em dado instante, do volume armazenado além da posição do reservatório (horizontal ou vertical).

O armazenamento da água aquecida também implica em perdas térmicas da água para o ambiente. Os reservatórios de água quente são construídos com uma camada de isolante térmico para reduzir essas perdas, porém elas ainda existem e, dependendo do modelo do reservatório em questão, elas podem ser consideráveis (SOWMY, 2007).

2.2.6 Sistemas conjugados

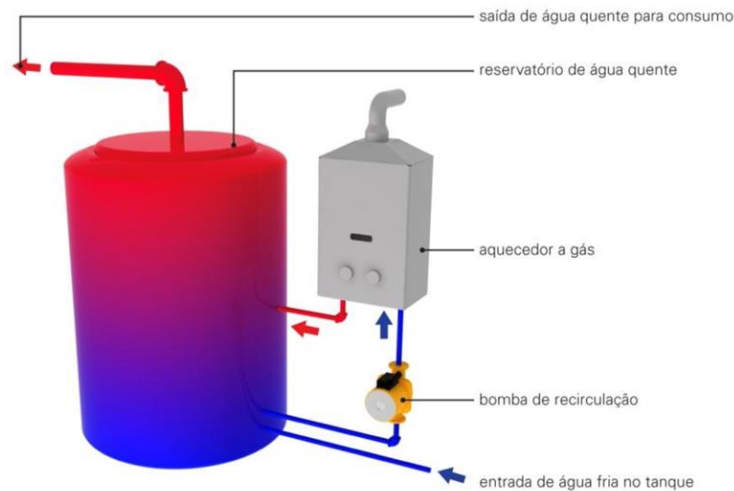
A geração ou o aproveitamento de calor por uma fonte externa ao reservatório pode ser feita por aquecedores ou trocadores de calor. A combinação de sistemas de acumulação e instantâneos é conhecida como sistemas conjugados.

Esse tipo de sistema apresenta como vantagens o fornecimento de uma alta vazão de água quente, devido a disponibilidade de água quente armazenada, por um período mais extenso de tempo e com uma alta capacidade de recuperação do sistema, devido ao uso de um sistema instantâneo de alta potência.

Devido a essas características, esse tipo de sistema geralmente é empregado em edificações de maior porte ou cuja demanda de água quente ocorre em picos de magnitude considerável, onde um sistema apenas de acumulação ou instantâneo não conseguiria suprir a demanda sem perda de desempenho.

Na Figura 2.12 está ilustrado um sistema de aquecimento conjugado que combina um reservatório térmico com um aquecedor instantâneo a gás.

Figura 2.13 - Sistema de aquecimento conjugado



Fonte: Comgás e Abrinstal (2011).

Diversas outras configurações são possíveis, empregando tanto mais de um aquecedor instantâneo e mais de uma fonte de calor para atendimento das demandas do sistema, como no caso da energia solar.

2.2.7 Sistemas de aquecimento solar

Os sistemas de aquecimento solar têm como função aproveitar a radiação solar, transformá-la em calor e transmiti-lo a água. Dessa maneira o uso de outros insumos energéticos para o aquecimento da água pode ser reduzido, o que permite obter maior eficiência energética por meio do uso de um insumo energético (radiação solar) que não possui custo e possui baixo impacto ambiental.

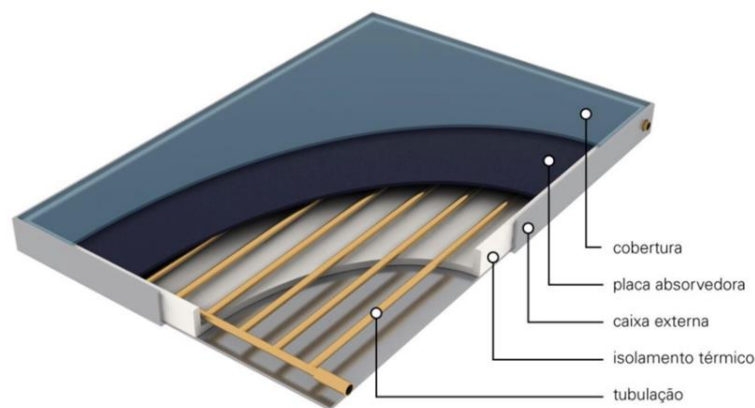
Ao mesmo tempo, devido ao caráter intermitente da disponibilidade deste tipo de fonte de energia, ela precisa ser utilizada em conjunto com um insumo energético auxiliar para não incorrer em períodos em que não há disponibilidade de água quente devido à ausência de insolação no local. Além disso, ela implica necessariamente no uso de reservatórios de acumulação e um sistema de água quente central, que incorre em perdas térmicas tanto no armazenamento quanto na distribuição da água quente.

A conversão da radiação solar em calor é feita por coletores solares, que são componentes compostos por tubos para a condução da água a ser aquecida e uma placa absorvedora escura, de modo que a radiação solar seja absorvida com maior eficiência. Com a passagem da água pela tubulação, que fica em contato direto com

a superfície de coleta, ocorre a transferência de calor da superfície coletora para a água.

Existem diversos tipos de coletores, porém os mais empregados para aquecimento de água para fins domésticos são os coletores planos. Os coletores planos buscam maximizar a área de coleta de radiação solar. Devido ao contato da superfície de coleta e das outras superfícies do coletor com o ar ambiente, bem além de sua maior área de contato com o meio externo, o sistema perde uma parcela do calor captado para o ambiente por convecção. Para reduzir essa parcela o coletor é construído com uma cobertura de vidro na parte superior, além de isolantes térmicos na parte inferior (GUARIENTE, 2005). Os principais componentes de um coletor solar plano estão descritos na Figura 2.14.

Figura 2.14 - Coletor solar plano



Fonte: Comgás e Abrinstal (2011).

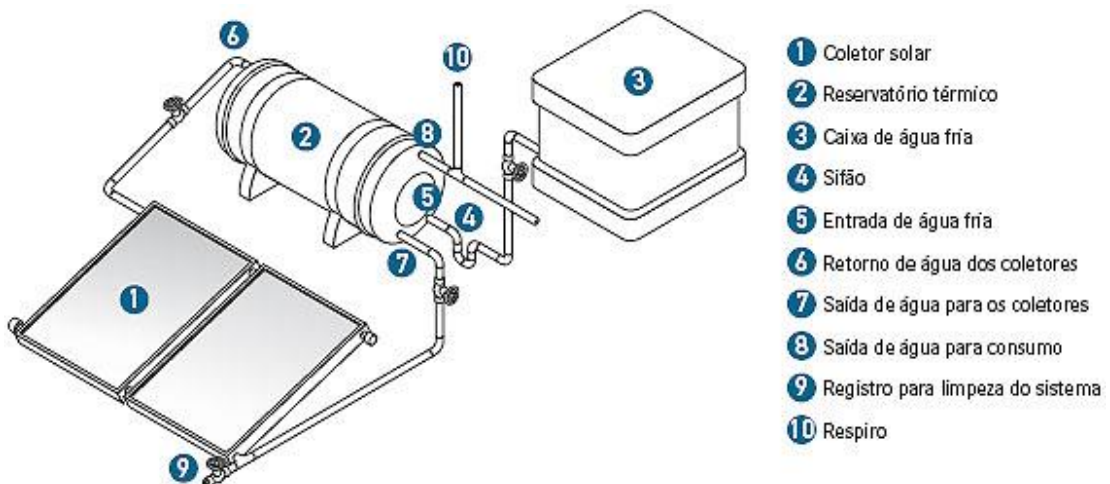
O processo de aquecimento da água ocorre pelo fluxo da água com temperatura inferior a temperatura da superfície de coleta pela tubulação interna dos coletores. Esse fluxo pode ser obtido de maneira passiva ou ativa.

Sistemas com circulação passiva, ou sistemas de circulação natural, fazem uso da convecção natural da água quente, causada pela diferença de densidade entre o fluido mais quente e mais frio. As tecnologias passivas apresentam um custo de construção e operação menor que os sistemas de tecnologia ativa.

Ao mesmo tempo, a circulação passiva possui limitações construtivas relativas à perda de carga imprimida pelo sistema e a diferença entre a altura entre o reservatório e os coletores, que podem impedir o fluxo de água adequado pelo sistema, bem como a necessidade de posicionar o reservatório acima dos coletores solares. Logo, em

sistemas mais extensos e que necessitam de maior flexibilidade para o posicionamento dos componentes, o uso de sistemas de circulação passiva é de difícil aplicação. Um exemplo de um sistema que emprega circulação natural está ilustrado na Figura 2.15.

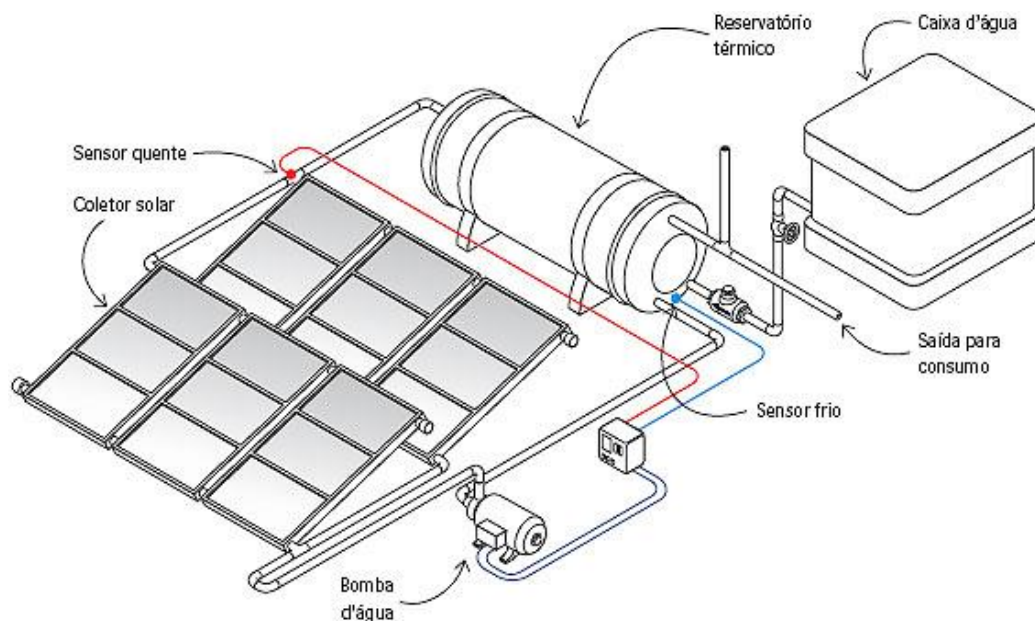
Figura 2.15 - Sistema de aquecimento solar com circulação natural



Fonte: Carvalho (2009).

Os sistemas ativos, ou sistemas de circulação forçada, utilizam uma bomba de recirculação de água pelo sistema para obter o fluxo de água necessário para a transferência de calor entre os coletores e a água, conforme ilustrado na Figura 2.16.

Figura 2.16 - Sistema de aquecimento solar com circulação forçada



Fonte: Carvalho (2009).

Considerando que a bomba requer tanto energia quanto um sistema de automação e controle para seu funcionamento, o uso deste tipo de sistema incorre em custos maiores de implantação e operação, além de consumirem energia para a operação do conjunto motor-bomba. O emprego da bomba permite maior flexibilidade para o projeto, uma vez que não existe a limitação de altura e posição do reservatório, bem como uma extensão maior para a tubulação.

O melhor rendimento do sistema de aquecimento solar ocorre quando existe um equilíbrio entre a vazão de alimentação dos coletores, o acréscimo da temperatura da água pelos coletores e o perfil de temperatura da água do reservatório (ARRUDA, 2004). Na pesquisa do autor citado, o sistema com circulação natural apresentou melhor equilíbrio entre essas variáveis que os sistemas com circulação forçada, fazendo com que a eficiência energética desse tipo de sistema tenha sido superior.

Ressalta-se que os fatores apontados são diretamente influenciados por fatores de uso do sistema. O consumo da água quente reduz a temperatura do reservatório devido a admissão de água fria no sistema, o que pode aumentar o nível de estratificação do reservatório, melhorando a eficiência do sistema. Ao mesmo tempo, dependendo do momento em que a água fria for admitida no sistema e dos ajustes de acionamento da fonte de energia auxiliar, também é possível que a admissão de água fria acione a fonte auxiliar de energia para geração de calor. Isso incorre na redução da estratificação do reservatório, na redução da eficiência do sistema e no aumento de consumo dos insumos energéticos. Arruda (2004), aponta que o controle do acionamento da fonte auxiliar é um dos fatores determinantes para a eficiência do sistema. Conclusões similares foram feitas por Sangoi (2015).

Diversas pesquisas foram realizadas no Brasil para verificar a economia gerada pelo uso de sistemas de aquecimento solar, a exemplo de Giglio et al. (2014), Giglio (2015) e Naspolini et al. (2010). As pesquisas citadas apresentam uma disparidade entre os resultados obtidos, sendo que a economia foi positiva ou negativa em casos similares. Ressalta-se que os autores citados avaliaram o consumo de energia no ponto de consumo, sem analisar o consumo de energia primária.

Sobre a eficiência real do sistema, ou seja, a redução do consumo primário de energia, o uso de chuveiros elétricos pode apresentar resultados mais eficientes que o uso de sistemas centrais a gás, mesmo com aquecimento solar. Isso ocorre, principalmente, devido à baixa vazão de água aquecida pelo chuveiro elétrico, o que implica em uma

potência menor exigida pelo sistema de aquecimento, bem como características climáticas da região em que a edificação se insere, o perfil de consumo de uso e as características do sistema de aquecimento (SANGOI, 2015).

Ressalta-se que eficiência do sistema de aquecimento solar tem relação direta com o perfil de uso de água quente da edificação, que dificilmente pode ser previsto. A eficiência desse tipo de sistema, mesmo em edificações com tipologias e sistemas iguais, pode apresentar diferenças consideráveis. Essa característica, que é inerente ao sistema de aquecimento solar, deve ser levada em consideração durante o projeto e a concepção do sistema de água quente, sendo que o projeto deveria buscar meios para que o sistema se adeque as características de uso para obtenção de resultados ótimos.

2.3 DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE

O subsistema de distribuição de água quente tem como função conduzir a água quente gerada pelo sistema de aquecimento até os pontos de utilização, onde serão realizadas as atividades e processos consumidores de modo seguro e eficiente.

Para isso, são empregados tubos, materiais isolantes, válvulas e máquinas de fluxo para garantir a vazão, pressão e temperatura adequadas. A distribuição de água quente pode ser feita de inúmeras maneiras, tanto dentro das unidades autônomas quanto fora delas, no caso de sistemas centrais coletivos.

Em todos os casos, a presença de um sistema de água quente na edificação implica em um sistema mais complexo que aqueles presentes em edificações apenas com água fria devido a necessidade de harmonia entre os diversos sistemas prediais. Isso, em conjunto com as recentes tendências de mercado, principalmente a necessidade de medição individualizada, traz desafios que necessitam ser abordados.

2.3.1 Medição individualizada

Tradicionalmente, nos sistemas de aquecimento central coletivo, a distribuição de água quente era feita por diversas colunas de distribuição internas as unidades autônomas, que alimentavam os diferentes ambientes das unidades. Essa configuração evitava a passagem de tubos horizontais dentro das unidades, o que apresenta vantagens construtivas. Além disso, a presença da coluna de distribuição

dentro de cada banheiro permite reduzir a extensão linear entre o ponto de consumo e a coluna de distribuição, reduzindo o tempo de espera pela água quente após o acionamento das peças de utilização.

Com a demanda por medição individualizada, principalmente em edificações residenciais, os sistemas passaram a ser projetados de modo que a alimentação seja feita por apenas um ramal, com o intuito que a medição do consumo de água seja feita por apenas um hidrômetro. Essa alteração possui impactos significativos no sistema predial de água quente.

Primeiramente, é necessário ressaltar que o hidrômetro deve ser especificado em função da faixa de vazão de alimentação do trecho, logo as vazões de projeto necessitam ter maior aderência as vazões de operação. No caso de superdimensionamento ou subdimensionamento da vazão de projeto, o medidor apresentará erros de medição do consumo.

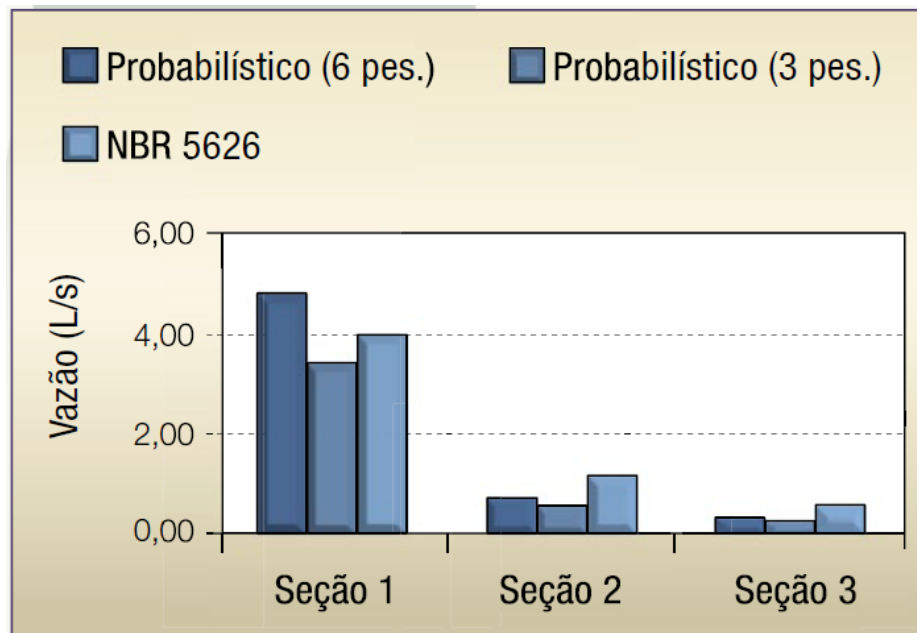
Também é possível observar que as faixas de vazão de operação de uma unidade alimentada por um ramal único são diferentes de uma unidade alimentada por diversas colunas. Logo, o método empregado para determinação das vazões em projeto também necessita ser alterado.

O emprego do método dos pesos, que foi amplamente utilizado para a estimativa das vazões de sistemas que contam com múltiplas colunas, apresenta diferenças consideráveis com métodos probabilísticos abertos, que possuem maior aderência as vazões de operação nessa aplicação.

Simulações feitas por Oliveira (2008), onde a vazão de projeto das colunas de distribuição, ramais de distribuição e de alimentação foram calculados tanto pelo método dos pesos quanto pelo método probabilístico aberto para uma edificação residencial, apontam uma disparidade considerável entre os valores calculados pelos diferentes métodos, conforme ilustrado nas Figuras 2.17, 2.18 e 2.19.

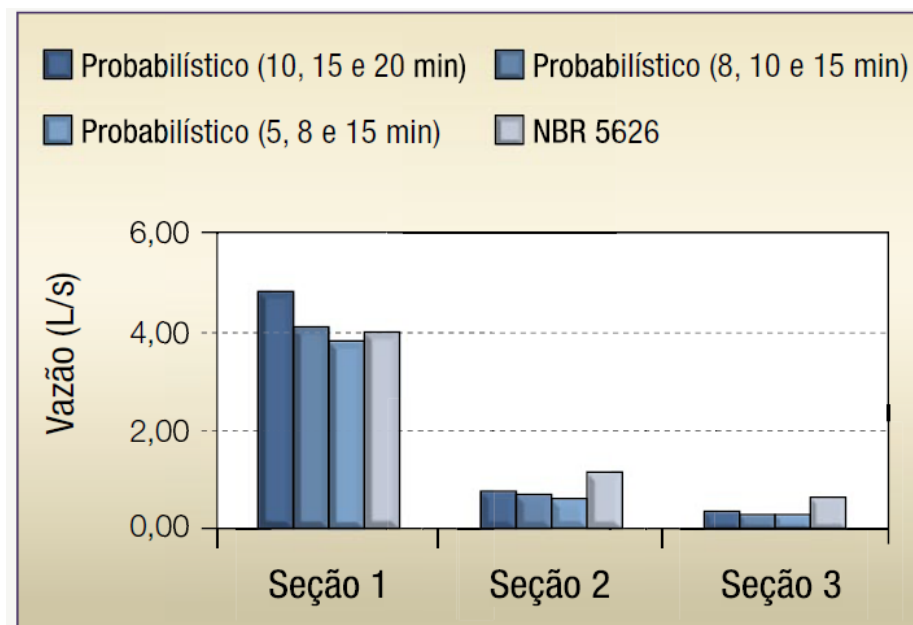
As figuras em questão apresentam as diferenças obtidas em função das alterações das variáveis de número de habitantes, extensão do período de pico e tempo de banho. Na Figura 2.17 e 2.18, as variáveis do método probabilístico t_{min} , t_{prov} e t_{max} são os tempos de banho considerados para a simulação.

Figura 2.17 - Vazões de projeto na seção 1 (coluna), seção 2 (ramal de alimentação) e seção 3 (ramal de distribuição), obtidas pelo método probabilístico e pela NBR 5626, com a variação da população



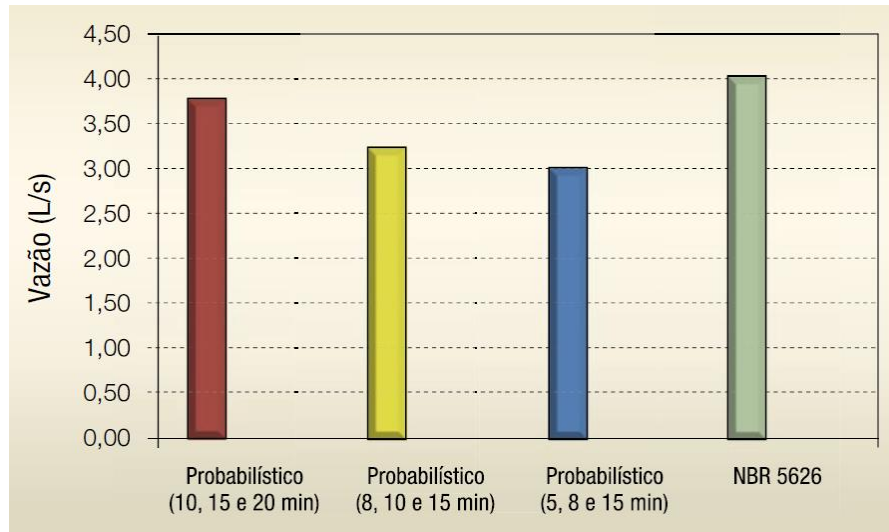
Fonte: Oliveira, 2007.

Figura 2.18 - Vazões de projeto na seção 1 (coluna), seção 2 (ramal de alimentação) e seção 3 (ramal de distribuição), obtidas pelo método probabilístico e pela NBR 5626, com a variação do tempo de banho



Fonte: Oliveira, 2007.

Figura 2.19 - Vazões de projeto na seção 1 (coluna), obtidas pelo método probabilístico e pela NBR 5626, com a variação do tempo de banho e período de pico de duas horas



Fonte: Oliveira (2007).

Também é necessário observar que a alimentação por um ramal único tende a aumentar a distância linear entre o ponto de consumo e a fonte de água quente, o que incorre em um aumento no tempo de espera pela água quente, bem como em desperdício de água. Nota-se também que o emprego de produtos economizadores de água que possuem vazões reduzidas, a exemplo de misturadores para lavatório com arejadores ou restritores de vazão, pode agravar esta condição.

Esse tempo de espera pode ser reduzido pelo emprego de um sistema de recirculação de água quente. Esse sistema pode ser instalado tanto externo a unidade, no caso de sistemas de aquecimento central coletivo, quanto interno a unidade, no caso de ramais de distribuição com maior extensão linear ou de vazões reduzidas no ponto de uso. Essa medida implica no uso de uma ou mais bombas de recirculação, além de um sistema de automação para evitar que a recirculação aconteça de maneira permanente e incorra em um alto consumo de energia.

Pode-se observar duas tendências, sendo elas a medição individualizada e, conforme abordado anteriormente, o uso de energia solar para aquecimento de água. Ambas são impulsionadas pela demanda por maior eficiência no uso dos insumos pela edificação. Nota-se que a junção delas dentro do mesmo sistema pode criar dificuldades, uma vez que o sistema de aquecimento solar implica na necessidade de um sistema de aquecimento central coletivo. No caso de ramais mais extensos internos a unidade existe a necessidade do sistema de recirculação interno a unidade,

criando uma condição incompatível com o sistema de medição setorizada, que contabilizaria o fluxo de água recirculado como consumo.

Para solucionar esse desafio é possível fazer o uso de sistemas de aquecimento solar com um circuito indireto, que permite a medição apenas da água fria e evita a necessidade de um sistema central coletivo de geração de água quente. A fonte de energia auxiliar pode ser projetada para ser instalada de modo coletivo ou privado (internamente as unidades), conforme exemplificado na Figura 2.20 e na Figura 2.21.

Figura 2.20 - Sistema de aquecimento solar em circuito indireto com reservatório térmico, complementação com aquecedores individuais e medição individualizada de água

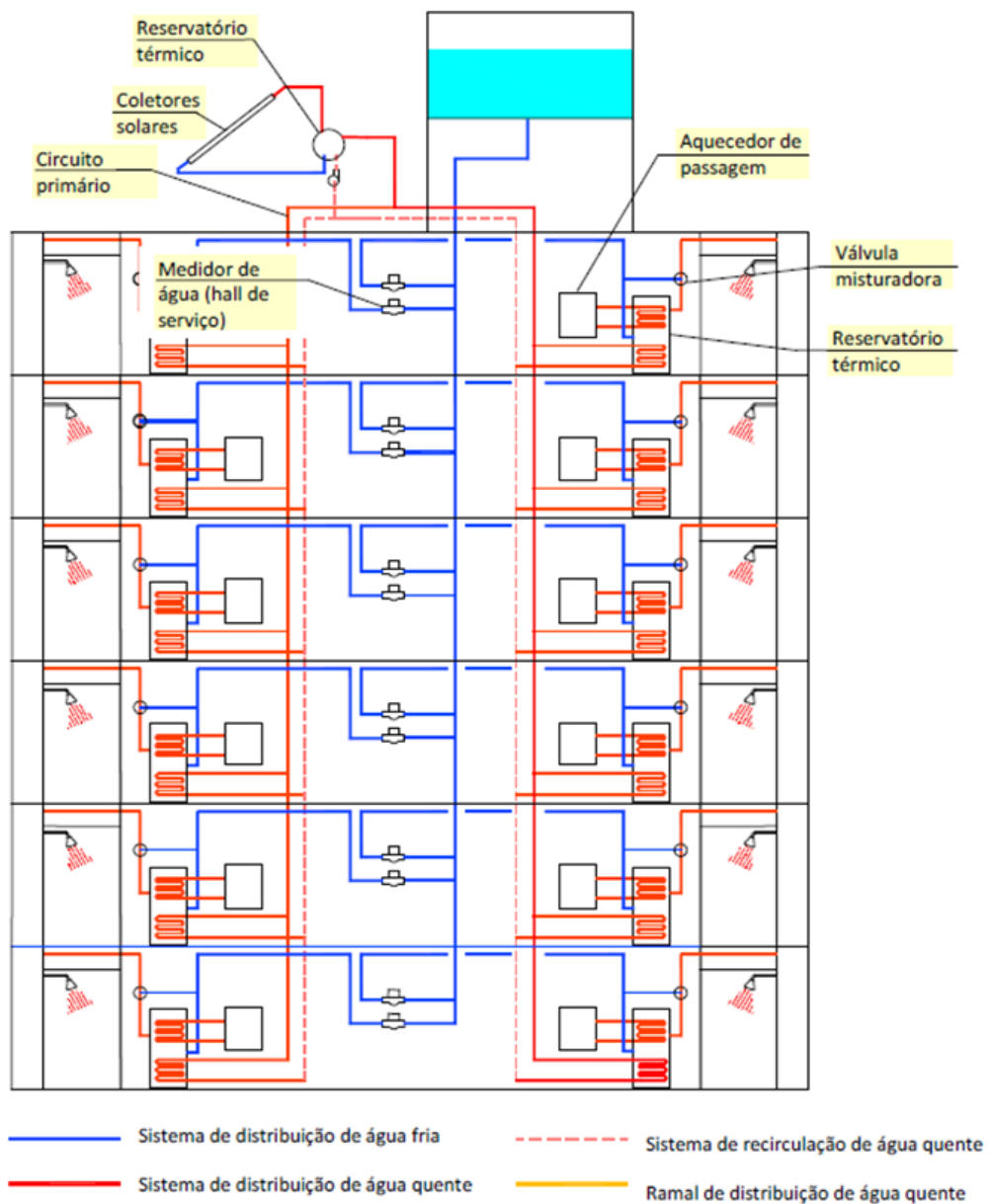
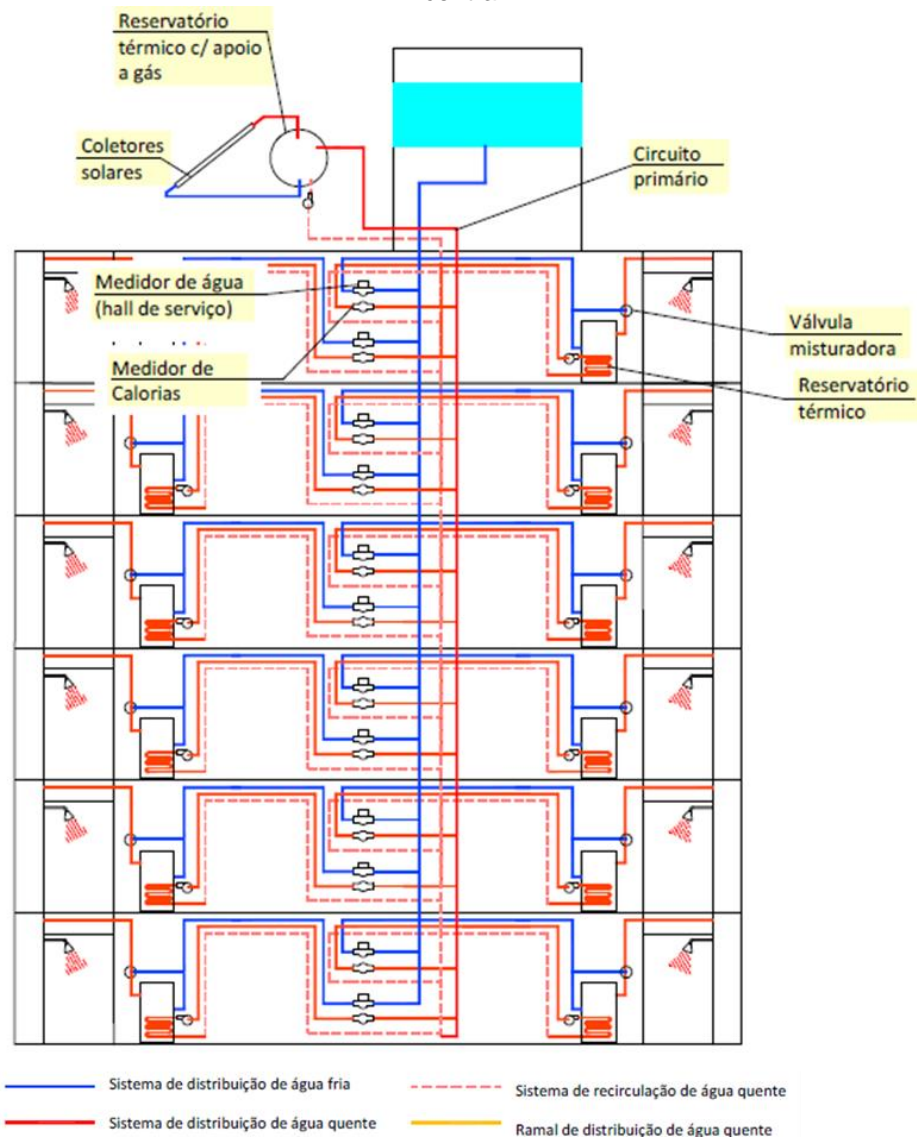


Figura 2.21 - Sistema de aquecimento solar em circuito indireto, com fonte complementar de calor central

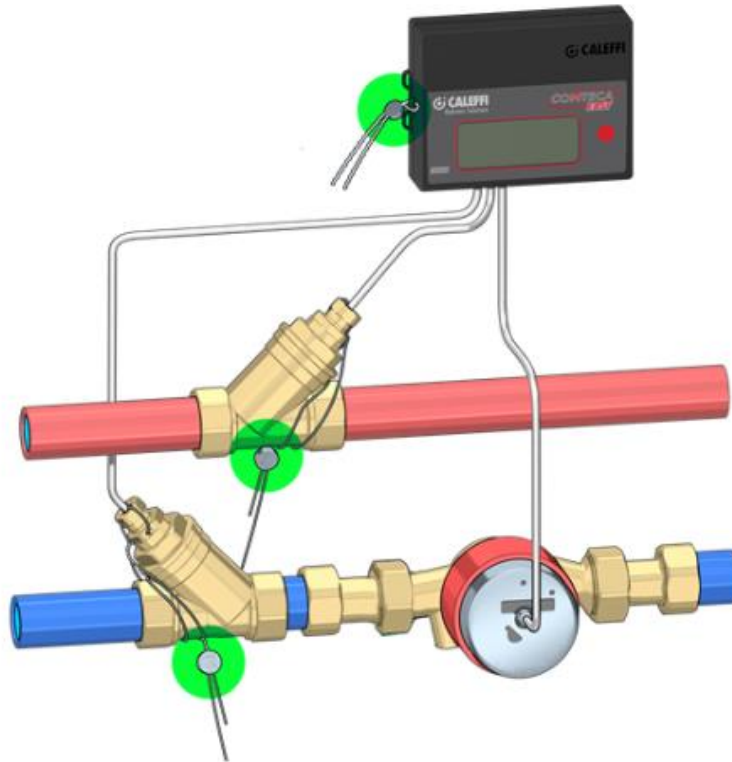


Fonte: Farina, Ilha e Oliveira (2008)

Outra maneira de abordar essa situação seria não classificar o aquecimento de água como um sistema indireto e abordar o fornecimento de calor como um serviço provido por um sistema predial separado. Nesse caso, o sistema de água quente seria da tipologia central privado e o insumo consumido para o aquecimento de água seria o próprio calor, ao invés de gás combustível ou eletricidade.

De maneira análoga ao consumo de outros insumos, cria-se a necessidade de medir o calor utilizado para o aquecimento de água, uma vez que a distribuição e uso do mesmo não é igual entre as unidades. Um exemplo de um medidor de calor está ilustrado na Figura 2.22.

Figura 2.22 - Exemplo de medidor de calor



Fonte: Caleffi (2020).

Os sistemas de medição de calor são compostos, geralmente, por dois sensores de temperatura, um sensor de vazão e uma central de medição. Os sensores de temperatura são instalados a montante e a jusante do trocador de calor, geralmente na entrada da unidade, e o medidor de vazão pode ser instalado em qualquer posição entre os sensores de temperatura.

Com esses três sensores mede-se a vazão de água e a diferença de temperatura entre os dois sensores, causada pela troca de calor entre a água e o trocador. Uma vez que o calor específico da água é conhecido, é possível medir a potência consumida pela troca de calor que é contabilizada pela central de medição.

Ressalta-se que a inclusão de mais um sistema de medição e mais um insumo na edificação aumenta sua complexidade, reforçando a necessidade de comissionamento dos sistemas prediais, especialmente o de água quente.

3 QUALIDADE E DESEMPENHO

Conforme verificado anteriormente, o comissionamento tem relação direta com a qualidade e o desempenho da edificação. Ambos os assuntos são discutidos a décadas, de modo que seus conceitos sofreram modificações e uma evolução considerável.

O termo “Qualidade” é definido de diversas maneiras que, geralmente, estão associadas à satisfação do cliente com um determinado bem, seja este um produto ou um serviço. Atualmente, o conceito mais aceito é o proposto por Juran e Gryna (1991), que define a qualidade como adequação ao uso pretendido.

Esse conceito implica em dois aspectos complementares que precisam ser observados. O primeiro é que o bem em questão, quando utilizado, deve atender à função esperada dele, ou seja, o desempenho. O segundo, é que ele não pode possuir defeitos. Logo, deve-se avaliar se, ao produzir o bem, o processo de execução não teve influências negativas sobre o desempenho que é esperado dele.

Este capítulo aborda os dois tópicos de modo sucinto, de modo a demonstrar a relação entre eles e o tema de pesquisa.

3.1 DESEMPENHO

A *International Organization for Standards* (ISO) define desempenho da edificação como "a habilidade de cumprir as funções requisitadas dentro das condições de uso pretendidas ou o comportamento quando em uso, ou impacto em condições econômicas, no meio ambiente, sociedade ou qualidade de vida" (ISO, 2016, p.2). De acordo com a NBR 15575-6 (ABNT, 2013c, p.6), desempenho é definido como o “comportamento em uso de uma edificação e seus subsistemas”.

O desempenho da edificação e de seus sistemas depende diretamente da interrelação entre os sistemas e os usuários, bem como o ambiente em qual a edificação está inserida. O resultado dessas interações, sejam elas harmoniosas ou dissonantes, adequadas ou inadequadas, é o desempenho do sistema e, conseqüentemente, da edificação.

O estudo do desempenho de edificações, em âmbito internacional, teve início nas décadas de 1960 e 1970 por diversas entidades (MITIDIARI, 1998). A importância do

assunto fez com que o CIB criasse um comitê específico para o tema e realizasse o primeiro simpósio sobre o assunto em 1972 (OKAMOTO, 2015).

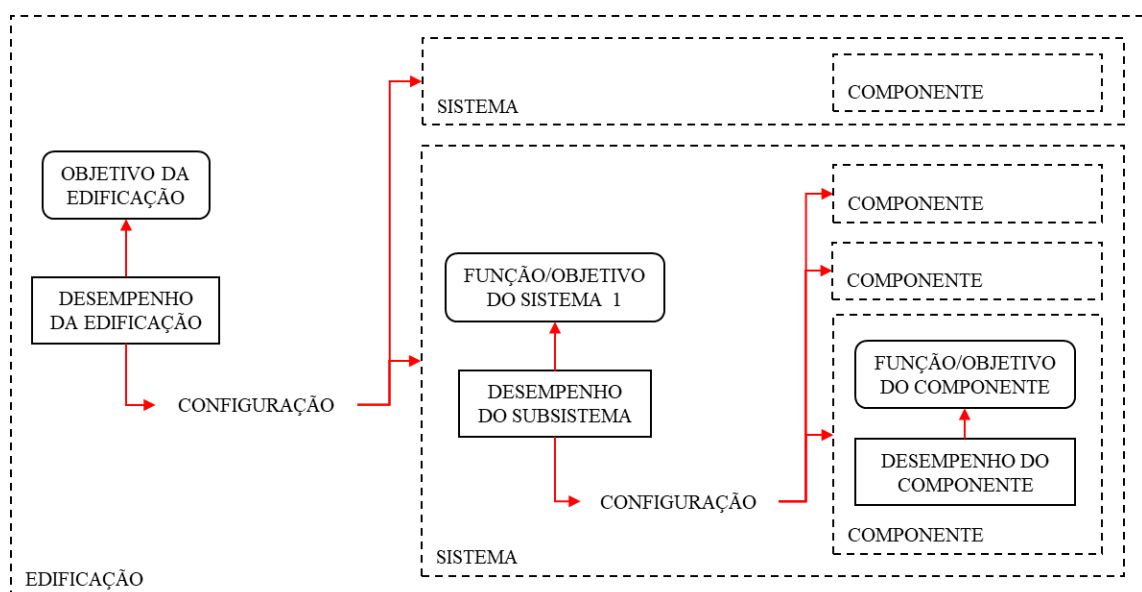
A ISO publicou as primeiras normas técnicas sobre o desempenho de edificações na década de 1980, a exemplo da ISO 6240, ISO 6241 e ISO 7162 (ISO, 1980; ISO, 1984; ISO, 1992). Em 2016 essas normas foram atualizadas e consolidadas na norma ISO 19208 (ISO, 2016), que apresenta um modelo conceitual para a especificação de requisitos de desempenho de edificações e seus subsistemas.

De acordo com a ISO 19208 (ISO, 2016), o desempenho pode ser classificado em quatro categorias, sendo elas:

- a reação aos agentes, sejam estes de qualquer natureza ou origem, desde que eles sejam relevantes e possam afetar o desempenho da edificação;
- a influência nas atividades humanas;
- o impacto na sociedade;
- a alteração do desempenho ao longo do tempo.

Na Figura 3.1 está ilustrado um fluxograma com as relações da edificação com seus subsistemas e componentes. Nela está ilustrado que cada nível de abstração (componente, sistema e edificação) apresenta um desempenho que serve a uma função ou objetivo, cuja configuração forma uma abstração maior que também apresenta um desempenho que serve a uma função ou objetivo maior. A somatória dessas interações é entendida como o desempenho da edificação.

Figura 3.1 - Estrutura hierárquica do desempenho da edificação e de suas partes



Fonte: Adaptado de ISO 19208 (ISO, 2016).

No Brasil, a demanda pela avaliação de desempenho de edificações teve início principalmente na década de 1970, devido a necessidade de avaliação de novas tecnologias pelo Banco Nacional da Habitação (MITIDIARI, 1998). Nesse período houve um crescente processo de urbanização, que causou um aumento no déficit habitacional e, conseqüentemente, uma necessidade de maior produtividade e racionalização na indústria da construção. Esses fatores impulsionaram o processo de inovação tecnológica que, devido à falta de critérios técnicos aplicáveis a tecnologias novas, incorreu no desenvolvimento e construção de edificações com diversas patologias (GONÇALVES et al., 2003).

Tendo em vista este cenário, o Banco Nacional da Habitação buscou o Instituto de Pesquisas Tecnológica (IPT) para elaborar as diretrizes de avaliação das edificações de modo mais amplo e com uma abordagem ao desempenho, uma vez que os requisitos estabelecidos para as mesmas até o momento tinham um caráter prescritivo (GONÇALVES et al., 2003). As pesquisas elaboradas pelo IPT e diversos outros pesquisadores contribuíram fazendo com que, entre outros avanços, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicasse a NBR 15575 (ABNT, 2013b), que normaliza o desempenho de edificações.

A norma em questão é composta por seis partes, sendo que a última avalia os sistemas prediais (ABNT, 2013c). O documento também faz diversas referências às normas técnicas dos subsistemas da edificação, a exemplo da NBR 5626 (ABNT, 2020a), que rege sistemas prediais de água fria e quente. De acordo com a NBR 15775-1 (ABNT, 2013b), os requisitos de desempenho a serem atendidos estão dispostos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Requisitos de desempenho estabelecidos pela NBR 15575-1

ITEM	SEGURANÇA	HABITABILIDADE	SUSTENTABILIDADE
	Segurança estrutural	Estanqueidade	Durabilidade
	Segurança contra o fogo	Desempenho térmico	Manutenibilidade
	Segurança no uso e operação	Desempenho acústico	Impacto ambiental
Requisito		Desempenho lumínico	
		Saúde, higiene e qualidade do ar	
		Funcionalidade e acessibilidade	
		Conforto tátil e antropodinâmico	

Fonte: ABNT (2013b).

Os requisitos estabelecidos nas três normas citadas devem ser atendidos para que a edificação apresente o nível de desempenho esperado pelas normas técnicas. De maneira análoga, falhar em atender um determinado requisito de desempenho incorre em uma não-conformidade (risco potencial) ou em uma patologia (problema real) (GNIPPER, 2010). De acordo com o auto, geralmente, o entendimento sobre os termos “patologia” e “não-conformidade” estão atrelados a atendimentos aos requisitos textualmente expressos em legislação específica, regulamentação ou norma técnica.

Ao mesmo tempo, o atendimento aos requisitos normativos e regulamentações aplicáveis não implica, obrigatoriamente, que o sistema atende ao desempenho esperado pelo usuário ou exigido pelo proprietário da edificação em questão. Isso ocorre uma vez que as normas estabelecem requisitos mínimos a serem atendidos, que podem estar aquém da expectativa do usuário.

Na pesquisa conduzida por Benedicto (2009), em que o desempenho do sistema predial de água quente foi avaliado em dois edifícios por meio de estudos de caso, pode-se observar que todos os requisitos presentes nas normas aplicáveis na data da pesquisa foram atendidos. Mesmo assim, a satisfação dos usuários com o sistema de água quente foi de apenas 58% no primeiro edifício e 87% no segundo.

Assim, é comum que diversas expectativas dos usuários ou proprietários da edificação não sejam avaliadas integralmente pelas normas técnicas ou regulamentações. Uma vez que o desempenho real da edificação independe da existência de normas técnicas, diversos outros requisitos de desempenho necessitam ser atendidos para satisfazer as exigências dos usuários dentro das condições de uso do sistema.

Ressalta-se que as normas técnicas passam por um processo de atualização periódico devido a evolução do estado da arte e a necessidade de melhoria contínua. A normalização de todos os aspectos de um componente, processo ou sistema, em todas suas nuances, é virtualmente impossível ou impraticável. Assim, é comum que determinados aspectos do desempenho de um bem, seja este um produto ou um serviço, não sejam abordados. Isso ocorre devido as regras do processo normativo, pela falta de consenso entre os participantes, falta de métodos ou critérios de avaliação, ou mesmo pela possível inobservância ou falta de conhecimento consolidado sobre o tema.

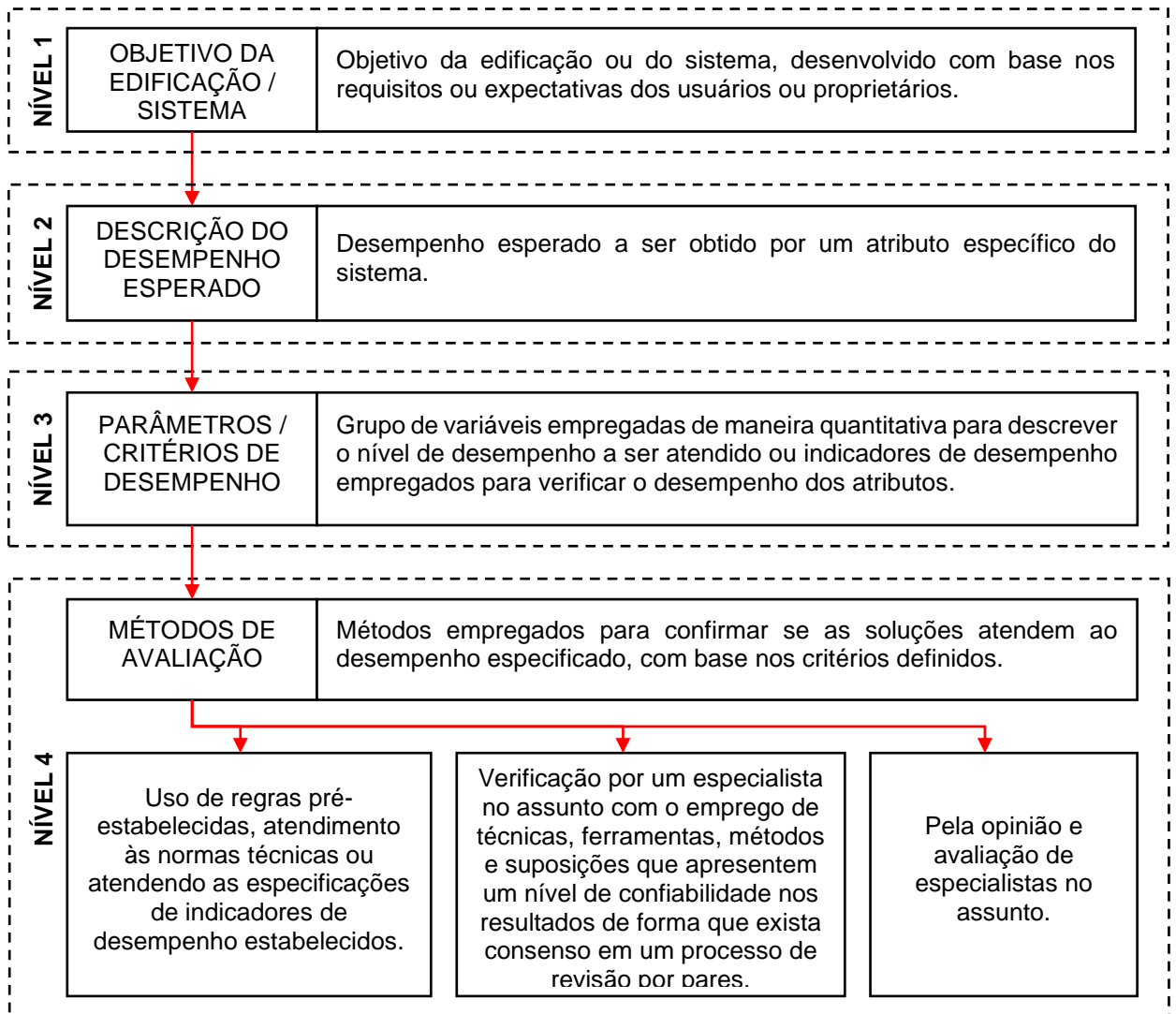
Pode-se exemplificar esse fato pela inexistência de um tempo máximo pela espera de água quente, bem como a inexistência de requisitos e critérios para eficiência energética e hídrica do sistema de água quente nas normas técnicas aplicáveis aos sistemas de água quente na NBR 5626 (ABNT, 2020a). Esses critérios de desempenho ainda não são contemplados nessa norma técnica no momento dessa pesquisa.

O estabelecimento dos requisitos de desempenho deve ser feito de modo claro e objetivo considerando diversos fatores, sendo que dentre eles ressalta-se:

- a identificação dos usuários dos sistemas;
- o levantamento das exigências e necessidades dos usuários;
- a definição das condições de exposição do sistema;
- o estabelecimento dos requisitos de desempenho;
- o estabelecimento dos critérios de desempenho;
- a definição dos métodos de avaliação.

Sendo assim, a ISO 19208 (ISO, 2016) apresenta um modelo para o estabelecimento dos requisitos de desempenho, conforme demonstrado na Figura 3.2. O modelo apresentado permite que o desempenho estabelecido seja estabelecido de maneira clara e de modo que, após a implantação das soluções, ele seja passível de verificação.

Figura 3.2 - Método de especificação de desempenho e avaliação dos resultados obtidos pelo emprego das soluções para atendimento de requisitos



Fonte: Adaptado de ISO 19208 (ISO, 2016).

Dentro do contexto do comissionamento esta abordagem é de extrema importância, uma vez que ela permite que os objetivos, requisitos e critérios de desempenho sejam estabelecidos e depois verificados durante as diferentes fases do ciclo de vida da edificação.

3.2 CONTROLE DE PRODUÇÃO E CUSTOS DE QUALIDADE

De acordo com Crosby (1993) a qualidade deveria ser mensurada em termos financeiros. Para isso, é necessário realizar uma avaliação dos custos envolvidos tanto para atender os requisitos especificados quanto os custos de não os cumprir. Besterfield (1990) propõe que os custos da qualidade sejam empregados como forma

de avaliação global do sistema de gestão da qualidade, considerando que ela promove o atendimento ou a melhoria do desempenho estabelecido quanto a redução dos custos de produção.

A classificação de custos da qualidade mais utilizada na literatura atual é a utilizada por Juran e Gryna (1991), onde os custos são agrupados em duas classes e quatro grupos.

A primeira classe contém os custos de controle de qualidade, que englobam os custos de prevenção de erros e avaliação de não conformidade da produção do bem em questão. Essa classe contempla todos os custos envolvidos tanto para evitar que falhas ocorram quanto para verificar se elas ocorreram, desde o projeto até a entrega do bem ou serviço. Na Tabela 3.2 estão exemplificados os custos de controle de qualidade.

Tabela 3.2 - Exemplos de custos de controle de qualidade

CLASSE	TIPO	DESCRIÇÃO
Custo de controle	Custos de prevenção	Desenvolvimento de soluções em projeto; Revisão e melhoria de projetos; Controle de processo de produção; Avaliação e qualificação de fornecedores; Manutenção preventiva de equipamentos; Recrutamento de mão de obra qualificada e capacitação da mão-de-obra;
	Custos de avaliação	Desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias; Círculos de qualidade (PDCA); Coleta, análise e divulgação de dados sobre qualidade; Testes e inspeção de materiais recebidos e da produção em andamento; Insumos utilizados na produção, inspeção e testes; Supervisão de atividades de testes e inspeção; Manutenção e depreciação de equipamentos e ferramentas; Teste e inspeção do bem acabado.

Fonte: adaptado de Juran e Gryna (1991).

A segunda classe contém os custos de falhas de controle, ou seja, os custos que caso a produção fosse perfeita não existiriam, conforme afirmado por Juran e Gryna (1991). Essa classe possui dois grupos de falhas que contemplam, principalmente, a correção de defeitos de execução e a solução de falhas pós-execução, bem como suas consequências. As falhas internas são aquelas que são detectadas após a produção, porém antes da entrega do bem. As falhas externas são aquelas que são detectadas apenas após a entrega do bem, englobando assistência técnica, retrabalho, perda de

marca, danos ao patrimônio, materiais, custos administrativos etc. Na Tabela 3.3 estão descritos alguns exemplos de custos de falha de controle.

Tabela 3.3 - Exemplos de custos de falha de controle de qualidade

CLASSE	TIPO	DESCRIÇÃO
Custo de falhas de controle	Custo das falhas internas	Custos de perdas e retrabalho devido a não conformidade; Reparo a danos aos sistemas e a edificação; Inspeção e testes dos bens defeituosos; Custos de atraso de entrega;
	Custo das falhas externas	Custos de perdas e retrabalho devido a não conformidades; Reparo a danos aos sistemas e a edificação, bem como a bens de terceiros; Inspeção e testes dos bens defeituosos; Custos de atraso de entrega; Custos administrativos de atendimento ao cliente e assistência técnica; Indenizações resultantes da venda de produtos com defeito; Danos a marca e perda comerciais.

Fonte: adaptado de Juran e Gryna (1991).

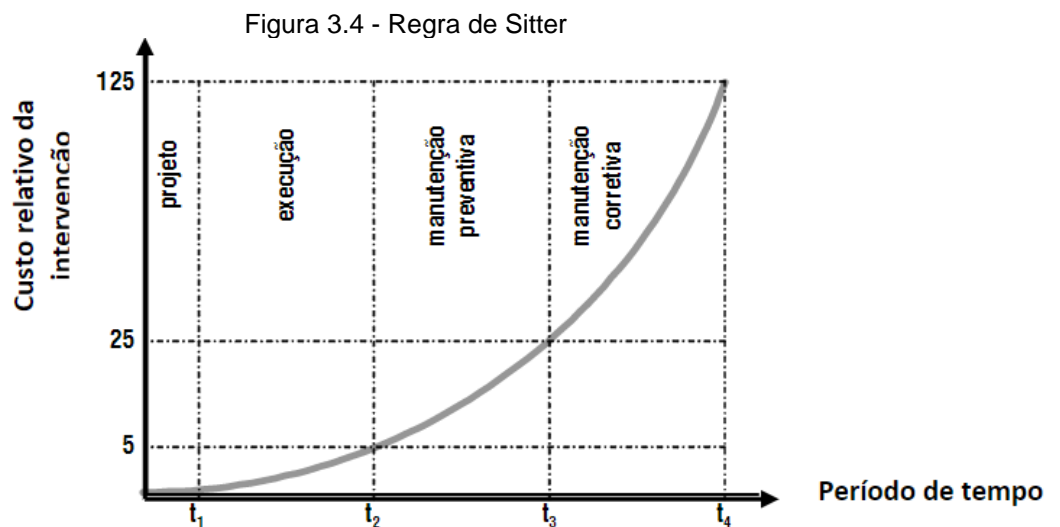
O custo total da qualidade é dado pela somatória de todos estes custos. O esforço que é feito para atender a determinado requisito, ou seja, o aumento da alocação de investimentos em controle e avaliação de qualidade tende a ser acompanhado pela redução dos custos de falhas de controle de qualidade. Na Figura 3.3 está ilustrado um exemplo de interrelação entre os custos de qualidade e a conformidade com os requisitos de projeto.

Figura 3.3 - Interrelação entre os custos de qualidade e o indicador de conformidade



Fonte: Juran e Gryna (1991).

Nota-se que o gráfico disposto na Figura 3.3 tem caráter conceitual. Isso ocorre uma vez que a proporção entre os custos de controle e os custos de falha de controle variam de acordo com a atividade e a patologia em questão. Esses fatores alteram o formato da curva, fazendo com que o ponto ótimo seja variável e particular a cada requisito. Ao mesmo caso tempo, geralmente, os custos de correção tendem a ser maiores que os custos de prevenção, conforme previsto pela Regra de Sitter e ilustrada na Figura 3.4.

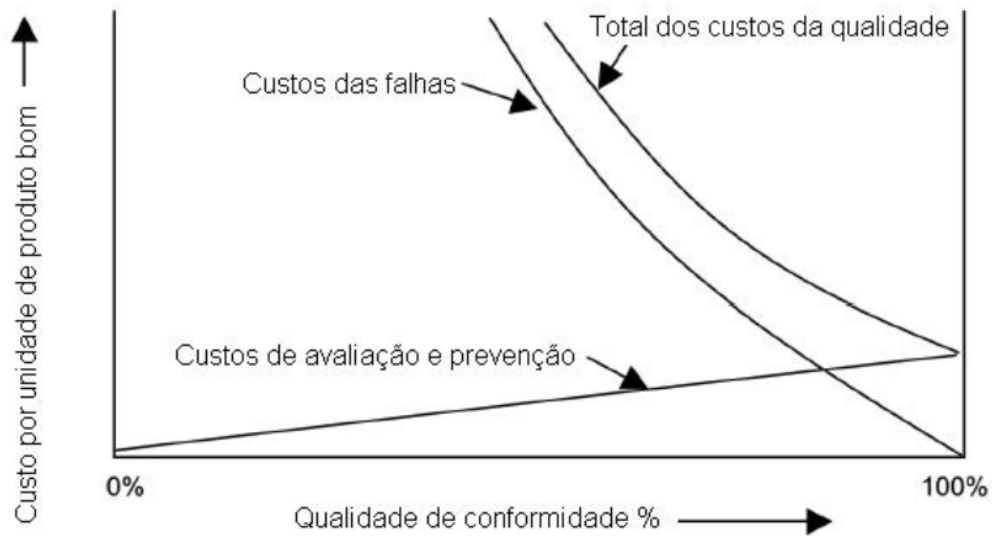


Fonte: Santos e Beber (2007) apud Gnipper (2010).

O entendimento que um maior custo de controle é preferível a um maior custo de falha de controle levou a diversas correntes de pensamento sobre a gestão da qualidade, a exemplo do *Total Quality Management* (TQM), proposto por Feigenbau (1956), e ao *Total Production Management* (TPM), proposto por Juran e Gryna (1991).

Nesses casos, o controle de qualidade é feito de maneira integral, de modo a reduzir a quantidade de não conformidades para um valor virtualmente nulo, principalmente quando os custos de controle total tendem a ser menores que o custo da ocorrência de uma não conformidade. Um exemplo de uma curva de custos de qualidade que demonstra esse caso está ilustrado na Figura 3.5.

Figura 3.5 - Interrelação entre os custos de qualidade e o esforço de qualidade



Fonte: Juran e Gryna (1991).

O cenário ilustrado na Figura 3.5, onde o menor custo ocorre quando a conformidade com os critérios é verificada integralmente, por mais que seja ideal, não ocorre de modo universal, uma vez que os custos de controle de qualidade e de solução de falhas tendem a aumentar em proporções diferentes.

Considerando a complexidade das edificações e de seus subsistemas, incluindo todas as atividades, materiais e componentes necessários para sua produção, a verificação integral de todos os requisitos tende ser ineficiente do ponto de vista financeiro e operacional. Logo, dentro de um universo extenso de ações a serem tomadas e considerando que os recursos disponíveis são finitos, a decisão deve buscar um equilíbrio entre o esforço necessário para atender o critério e o resultado obtido pelo esforço, de modo a resultar na escolha da melhor alternativa.

Logo, definir o nível de controle para cada um dos requisitos e critérios de desempenho estabelecidos, ou seja, sua hierarquização é fundamental para que os custos de qualidade sejam alocados de modo a prover resultados ótimos.

Definir o nível de controle estabelecido é, essencialmente, uma decisão a ser tomada pela organização. De acordo com Yoshiura et al. (2018), geralmente as decisões menos relevantes são feitas de modo prático, fazendo uso da avaliação mental do decisor, com base em conhecimento, experiência, riscos e outros fatores que o decisor julga ser relevante. Ao mesmo tempo, o cérebro humano é limitado quanto ao número de informações capaz de processar, fazendo com que existam limitações para

a tomada decisão dessa maneira, principalmente em quando o problema a ser analisado é complexo, fazendo com isso incorra em consequências adversas (Yoshiura et al., 2018). Dentro desse cenário, as decisões deveriam ser feitas por meio de um método que auxilie a tomada de decisões de maneira formal e sistemática, considerando a existência de diversas possibilidades, consequências e critérios a serem atingidos.

De acordo com Lobato (2005), as primeiras pesquisas sobre métodos de auxílio a decisão multicritério foram elaboradas na Europa e nos Estados Unidos na década de 1960, sendo que os primeiros métodos de decisão de multicritérios surgiram na década de 1970. Estes métodos foram denominados, de maneira ampla, de Análise Multicritério ou Método Multicritério de Auxílio a Decisão, adaptado do termo *Multiple Criteria Decision Aid* (MCDA).

Deve-se notar que a aplicação de métodos de decisão não exime o decisor de responsabilidade, uma vez que, na realidade, sua responsabilidade aumenta (BELTON e STEWART, 2002). Isso ocorre uma vez que a subjetividade está sempre presente no processo de decisão, que pode ser feita por uma ou mais pessoas, devido a experiências passadas, informações apresentadas e o próprio conhecimento dos decisores, bem como pela escolha do método de auxílio a decisão, que são diversos.

Os métodos apresentam classificações, sendo que, no primeiro nível, eles podem ser classificados como compensatórios ou não-compensatórios. Nos métodos compensatórios, a falha em atender a um critério pode ser compensada pelo melhor desempenho de outro. Nos métodos não-compensatórios isso não ocorre, logo uma falha não compensa a outra.

Aplicando isso ao tema em questão, observa-se que o desempenho mínimo do sistema em si é não-compensatório, uma vez que a expectativa mínima do usuário precisa ser atendida integralmente. Por exemplo, um sistema não poderia apresentar segurança contra o risco de explosão, porém não apresentar estanqueidade. A partir do mínimo esperado, o desempenho passa a ser compensatório. Um exemplo seria que, satisfeita a expectativa de durabilidade de uma tubulação, não seria estritamente necessário que ela fosse facilmente manutenível.

Ao mesmo tempo, a alocação dos custos de qualidade possui um caráter naturalmente compensatório, uma vez que não controlar um determinado processo

em detrimento de um controle mais rígido sobre outro pode trazer resultados ótimos, em função das consequências das falhas em questão.

Outro ponto que necessita ser observado é que diversas falhas, mesmo aquelas da mesma natureza, podem apresentar consequências diferentes. Um exemplo é uma falha de estanqueidade em uma tubulação enterrada, cuja ocorrência incorre em um aumento temporário no custo com água. Outro caso seria uma perda de estanqueidade em uma tubulação do ramal embutido em uma unidade residencial que causa danos consideráveis ao patrimônio do morador e em unidades adjacentes.

Nota-se que ambos os exemplos são relativos à mesma falha, porém com consequências díspares entre si. Desse modo, a determinação do nível de controle, mesmo para um mesmo requisito, deveria ser feita por meio de uma análise das consequências da falha, uma vez que existem falhas que podem ser facilmente identificadas, ter riscos baixos e consequências leves.

Esse método, que avalia as consequências das falhas e prioriza as ações a serem tomadas e o nível de controle sobre a qualidade do sistema, é conhecido como Análise de Modos de Falhas e Efeitos, traduzido do termo inglês *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA), que também deveria ser levado em consideração para definição do nível de controle de qualidade.

Nota-se que, em todos os casos descritos, os métodos dependem de dados de entrada ou objetos de estudo, nesse caso uma edificação, para serem aplicados. Os dados deveriam ser obtidos pelo emprego do histórico de incidência das falhas, ou pelo uso de uma edificação para análise, ou seja, um estudo de caso.

No caso do uso de dados históricos, eles seriam obtidos pelo histórico de falhas de empresas construtoras, com base nos chamados de assistência técnica e inspeções feitas em campo. Infelizmente esses dados não são disponíveis para conhecimento público nem presentes em pesquisas devido à natureza confidencial deles.

Além disso, existe uma necessidade de padronização da classificação das patologias, que atualmente são baseadas em requisitos normativos. Considerando que diversas normas técnicas não possuem uma estrutura clara para definir requisitos, critérios e métodos de verificação, o desenvolvimento de um banco de dados é difícil execução, uma vez que as informações não são normalizadas.

Outra maneira de obter essas informações poderiam ser por meio de estudos de Avaliação Durante Ocupação (ADO). Infelizmente a avaliação carece de padronização, de modo que as falhas encontradas podem não ser identificadas, conforme observado por Benedicto (2014).

Logo, para a definição da hierarquização dos requisitos e medidas a serem adotadas, sugere-se a condução de pesquisas com como requisitos e critérios claros, bem como métodos de avaliação padronizados.

4 COMISSIONAMENTO

A prática do comissionamento teve início no final da década de 1970 pelo governo canadense e, em poucos anos, o processo começou a ser empregado por instituições e empresas dos Estados Unidos da América (BCXA, 2018). Nos Estados Unidos o desenvolvimento do Comissionamento foi feito pela *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) no início da década de 1980, com a criação de um comitê de estudo de Comissionamento, porém com foco nos sistemas de climatização devido à natureza da atuação da entidade.

Com o sucesso obtido com o processo houve uma expansão para as atividades de comissionamento para os outros sistemas da edificação, a exemplo de sistemas de combate a incêndio, fachadas e vedações, iluminação e sistemas elétricos, sistemas hidráulicos e sanitários e outros subsistemas da edificação. Cada uma dessas atividades foi elaborada por suas respectivas entidades de classe, a exemplo de *National Fire Protection Association* (NFPA), *American Society of Testing and Materials* (ASTM) e a *National Institute of Building Sciences* (NIBS), a *American Society of Plumbing Engineers* (ASPE) e a *American Society of Sanitary Engineers* (ASSE) e a *Illumination Engineering Society* (IES).

Todas essas entidades trabalharam dentro do processo estabelecido pela ASHRAE, com variações em função de suas respectivas atividades. Atualmente, a maioria dos principais subsistemas da edificação possuem guias de comissionamento nos EUA, salvo exceções. A aplicação do processo em todos os subsistemas, ou seja, o comissionamento da edificação como um todo, é conhecido como *Whole Building Commissioning*.

Nas décadas subsequentes o Comissionamento foi adotado como ferramenta para garantia de qualidade por diversas entidades, como o *United States Green Building Council* (USGBC) e o governo norte americano (BCXA, 2018).

Poucas edificações e sistemas prediais foram comissionadas em território nacional, sendo a demanda impulsionada, principalmente, pela certificação ambiental para edificações LEED - *Leadership in Environmental and Energy Design* do *United States Green Building Council* (USGBC). Esta certificação foi desenvolvida nos Estados Unidos e possui requisitos que exigem o comissionamento de alguns sistemas, em

especial aquelas voltadas aos sistemas de climatização, que incluem os sistemas de água quente. No Brasil, o LEED foi empregado majoritariamente para a certificação de edificações comerciais e industriais, fazendo com que a prática de comissionamento de sistemas prediais de água quente seja relativamente nova, devido à baixa quantidade de edificações desse tipo que contam com esse tipo de sistemas.

Nesse contexto, o comissionamento, no momento do desenvolvimento desta pesquisa, ainda é uma prática incomum no mercado nacional, de modo que mesmo o termo em si ainda é alvo de dissenso por grande parte dos profissionais do mercado.

Na pesquisa elaborada por Ishida (2015), a autora apontou as diversas definições dadas pelas instituições, empresas e profissionais do mercado para o termo em questão. A consolidação das definições dadas pelos especialistas permite definir comissionamento como (Ishida, 2015, p. 35):

“(...) um processo para atender aos requisitos de projeto do proprietário, documentar as fases do ciclo de vida do edifício, capacitar os profissionais de operação e manutenção, com o objetivo de evitar falhas, diminuir desperdícios e retrabalhos, melhorar a qualidade, o desempenho e a sustentabilidade”.

Nesse aspecto ressalta-se que o nome dado ao processo apresenta variação em função do momento em que ele é iniciado. O comissionamento tem início na fase de concepção da edificação e término após um período pré-determinado, posterior a fase de entrega edificação, de modo a verificar se o desempenho previsto foi obtido.

No caso da execução das atividades de comissionamento após a edificação ou sistema ter sido comissionado, o processo é conhecido como recomissionamento. Essa atividade é feita, principalmente, para a manutenção ou melhoria do desempenho do sistema durante a fase de operação e após o término do comissionamento.

Na Figura 4.1 a relação entre o comissionamento e o recomissionamento e as disciplinas de coordenação de projeto, gerenciamento da execução, gestão de facilidades em função da etapa do ciclo de vida da edificação está ilustrada.

Figura 4.1 - Relação entre comissionamento e recomissionamento e outras disciplinas em função da etapa do ciclo de vida da edificação.

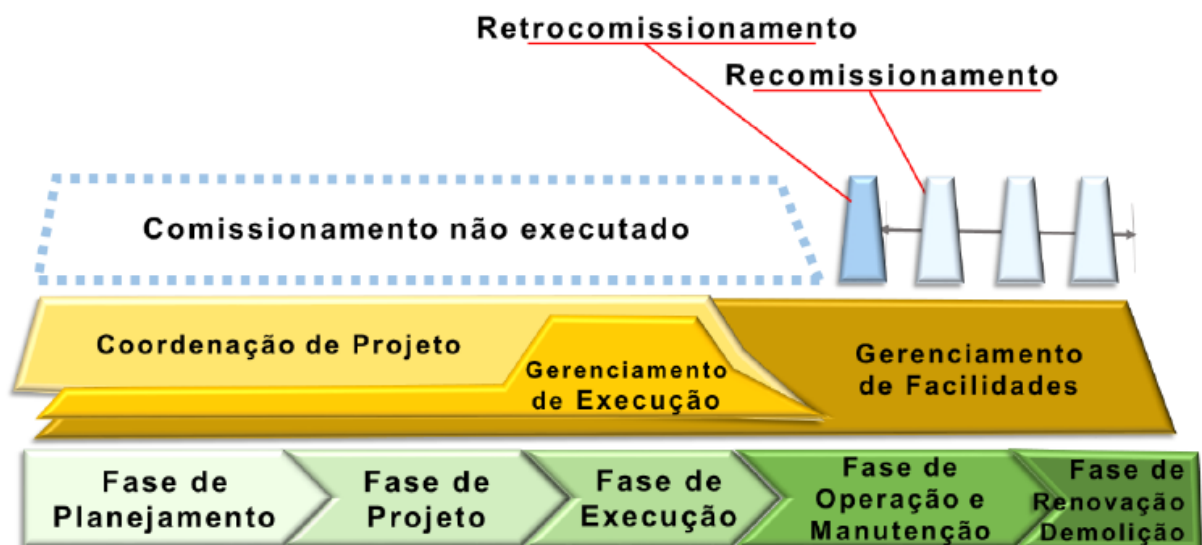


Fonte: Ishida (2015).

Caso a edificação ou sistema não tenha passado por um processo de comissionamento, o processo é conhecido como retrocomissionamento. Ele ocorre, principalmente, no caso de necessidade de melhorias no sistema, reformas extensas, falhas no desempenho esperado ou pela alteração no perfil de uso da edificação ou sistema em questão.

De maneira análoga a Figura 4.1, na Figura 4.2 apresenta-se uma ilustração com a relação entre o retrocomissionamento e as disciplinas correlatas em função da etapa do ciclo de vida da edificação.

Figura 4.2 - Relação entre retrocomissionamento e outras disciplinas em função da etapa do ciclo de vida da edificação.



Fonte: Ishida (2015).

O comissionamento é, em linhas gerais, um processo de controle de qualidade. Ele tem como objetivo principal garantir, dentro dos limites da razoabilidade, que as expectativas do contratante sejam atendidas quando o bem em questão for entregue. Para isso, as atividades que são necessárias para a concepção, projeto, produção e operação do bem necessitam ser feitas dentro de um processo metodológico, em que os resultados obtidos sejam verificáveis, transparentes e rastreáveis. Durante todo o processo é necessário que as expectativas sejam definidas, as soluções sejam propostas, avaliadas e aprovadas, bem como a produção seja controlada e os resultados obtidos sejam passíveis de verificação.

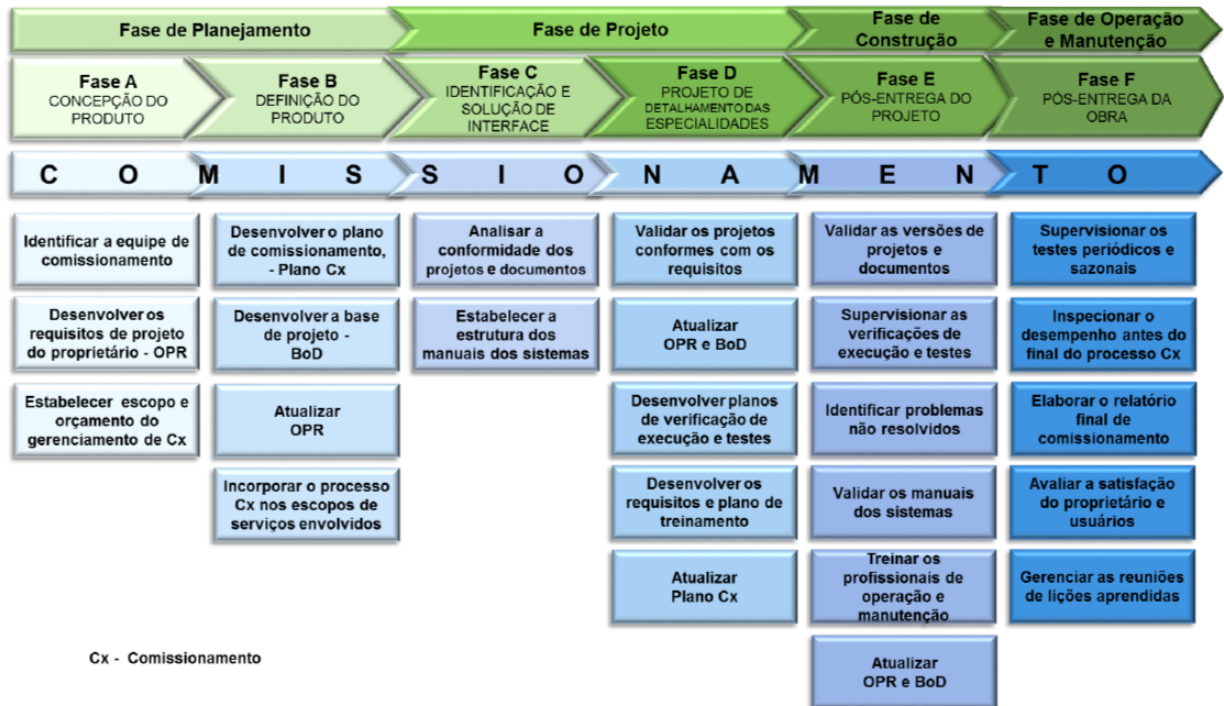
Uma vez que diversos aspectos só podem ser verificados durante a fase de operação da edificação e que existem disparidades naturais entre as premissas de projeto e as características reais de uso e operação da edificação, o comissionamento necessita se estender após o término da fase de produção do bem.

Também é necessário considerar que o desempenho depende diretamente da operação dos sub-sistemas da edificação, logo a equipe de manutenção necessita ser capacitada e necessita de suporte técnico para execução das atividades, como manuais de operação dos sistemas.

De acordo com Ishida (2015), o comissionamento possui três princípios básicos, sendo estes o estabelecimento dos requisitos de desempenho do projeto, o planejamento do comissionamento e a documentação do processo. Ele é feito por meio de uma série de atividades de caráter multidisciplinar, que são executadas durante as fases de planejamento, projeto, construção e operação e manutenção.

No Brasil, as atividades necessárias para execução do comissionamento foram consolidadas por Ishida (2015) e estão apresentadas na Figura 4.3.

Figura 4.3 - Fases do edifício e as etapas do processo de comissionamento



Fonte: Ishida (2015).

O comissionamento tem como ponto de partida a definição da equipe de comissionamento, bem como suas funções e responsabilidades. Recomenda-se que essa equipe seja multidisciplinar e conte com especialistas nos assuntos e com conhecimento sobre os sistemas a serem comissionados.

Após a definição da equipe de comissionamento, inicia-se a etapa de definição dos Requisitos de Projeto do Proprietário, ou OPR (*Owner's Project Requirements*), que tem a função de estabelecer as expectativas do proprietário sobre o desempenho do sistema e da edificação. Esta etapa, que tem uma função crucial no comissionamento, será utilizada como base para toda a concepção, projeto, execução e operação do sistema. Os requisitos estabelecidos neste documento devem ser claros e, quando possível, quantitativos para permitir que o projeto seja elaborado para atender os critérios estabelecidos. Devido a dinâmica do projeto, desde sua concepção até sua entrega, os OPR's têm caráter evolutivo.

Com a elaboração dos OPR's é possível estabelecer o Plano de Comissionamento, que tem como função apresentar a visão do comissionamento como um todo, considerando os meios de documentação, programação, as funções e

responsabilidades de cada um dos participantes e o estabelecimento das linhas de comunicação e coordenação (ISHIDA, 2015).

Com Plano de Comissionamento pronto inicia-se a Base de Projeto (BoD), em que uma abordagem técnica é empregada para definir as soluções propostas para atender aos OPR's estabelecidos. De acordo com Ishida (2015), pode-se entender essa etapa com a tradução dos OPR's em termos técnicos. Uma vez que as BoD's estão diretamente relacionadas com os OPR's elas também tem um caráter evolutivo ao longo do processo.

As soluções propostas pela equipe de projeto na BoD devem ser avaliadas por processo de revisão por pares, de modo que haja consenso entre as partes que elas irão proporcionar o desempenho esperado. Esse processo tem como função reduzir os riscos de falhas de desempenho, especialmente em questões onde o requisito é de difícil verificação durante a etapa de execução do sistema.

Nesse caso, tais falhas poderiam ter um impacto considerável nos custos devido a necessidade de retrabalho extenso, muitas vezes de caráter emergencial, uma vez que a edificação já se encontra em operação quando a falha pode ser detectada.

Exemplos de tais falhas seriam a estimativa das vazões de operação dos ramais de operação ou o dimensionamento do sistema de aquecimento de água. No primeiro caso, os erros podem incorrer na troca de tubulações, isolamento térmico, válvulas, bem como na reexecução de vedações e furações. No segundo pode ser necessário trocar reservatórios, aquecedores, trocadores de calor, alterar as vazões máximas de equipamentos sanitários, bem como temperaturas de operação da água quente. Em ambos os casos, os custos podem ser consideráveis, bem como a perda de desempenho.

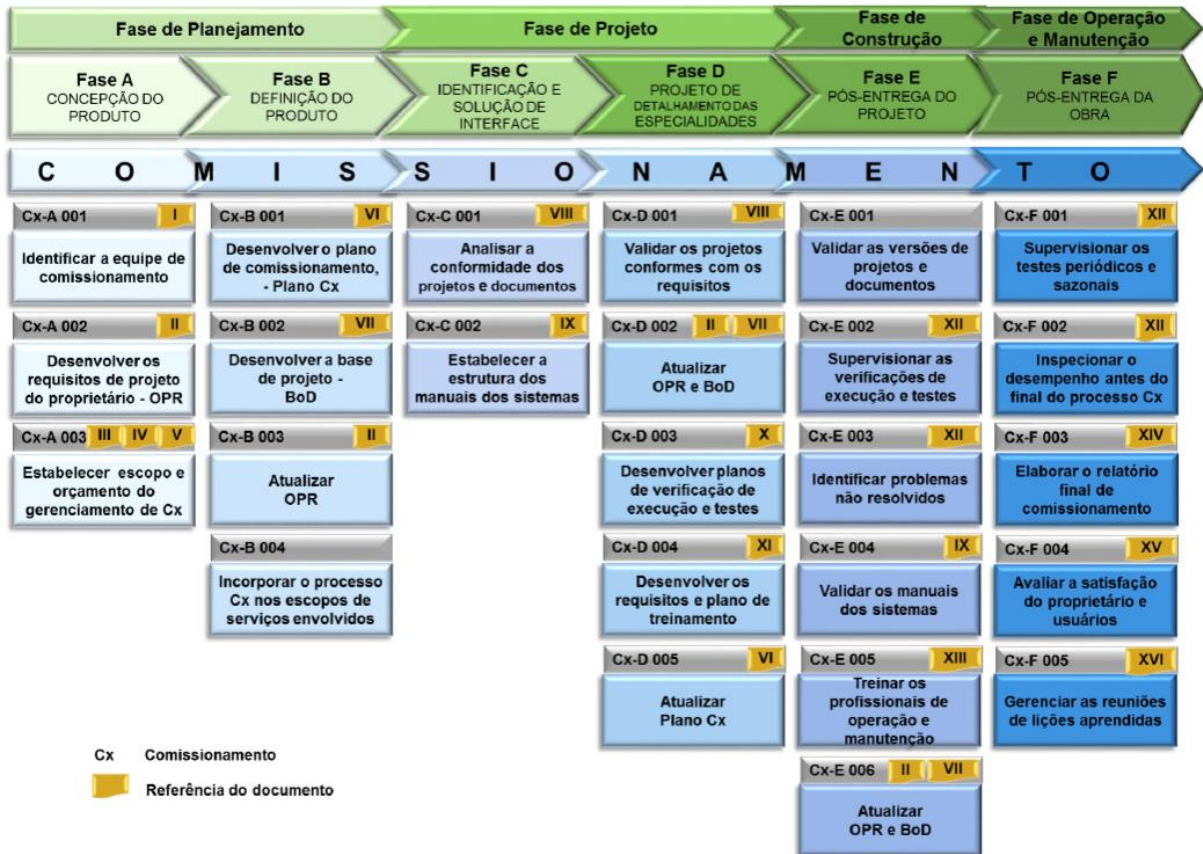
A conformidade dos resultados obtidos soluções propostas pela BoD são verificadas durante a execução e operação, por meio de um plano de verificação e testes de execução e de operação. Durante essa etapa são elaboradas diversas listas de verificações para inspeção e procedimentos de ensaio que devem ser executados e registrados pela equipe de comissionamento.

Além disso, devem ser elaborados manuais de operação e execução com o intuito de facilitar a execução e operação do sistema e treinamentos devem ser ministrados as

equipes de execução e operação, uma vez que o desempenho dos sistemas prediais tem relação direta com a operação da edificação.

Cada uma das etapas possui um documento associado, conforme ilustrado no fluxograma apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Relação de documentos gerados por fase e etapa do comissionamento



Fonte: Ishida (2015).

Nesse ponto é necessário mencionar que o Comissionamento não é um processo estanque e possui interação com diversos mecanismos estruturantes desenvolvidos no local em qual ele é executado.

Um exemplo são as normas técnicas, que diferem na maioria dos países, e, geralmente, são empregadas para definição de requisitos, critérios e métodos de verificação. Outros exemplos seriam a regulamentação de mão de obra, serviços e materiais, que também variam em função do local onde o processo é executado.

Logo, mesmo que o modelo aplicado seja similar entre dois países, com etapas e atividades semelhantes ou mesmo iguais, os processos apresentarão diferenças significativas si.

5 DESEMPENHO DOS SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE

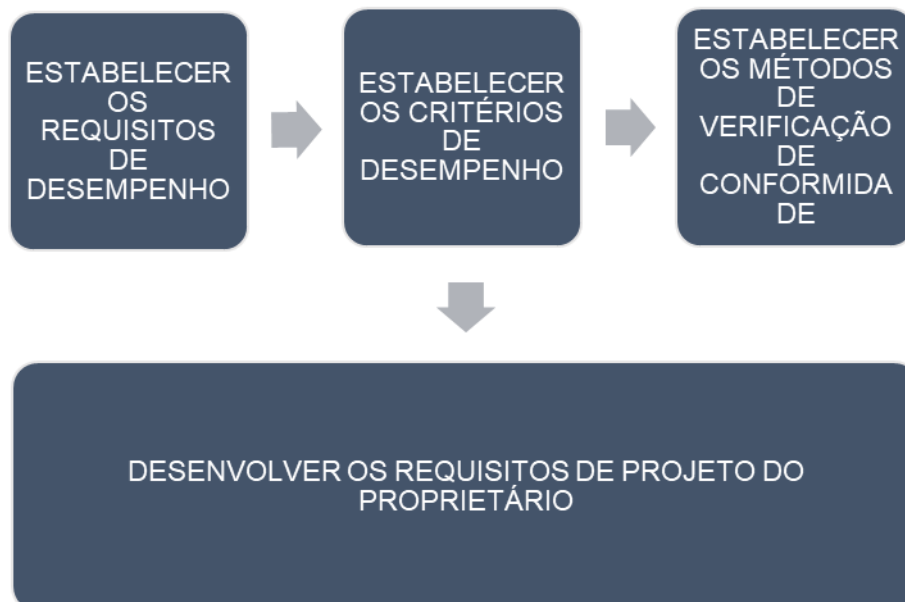
O primeiro passo para o comissionamento é a definição dos requisitos de projeto do proprietário (OPR's). A definição dos OPR's implica na necessidade de desenvolvimento de critérios de desempenho e, conseqüentemente, requisitos de desempenho para o sistema predial de água quente.

Uma vez que os critérios necessitam de um método de avaliação de conformidade para verificar o atendimento aos mesmos estes também serão abordados nesse capítulo.

Esse capítulo aborda os critérios e requisitos de desempenho dos sistemas prediais de água quente por meio de pesquisa exploratória sobre os assuntos envolvidos, de modo a embasar o desenvolvimento do comissionamento desse sistema nos próximos capítulos.

Na Figura 5.1 apresenta-se um diagrama que ilustra como esse capítulo se insere na pesquisa.

Figura 5.1 - Atividades abordadas para a elaboração dos requisitos de projeto do proprietário e critérios de desempenho do sistema predial de água quente



Fonte: Autor (2021).

5.1 REQUISITOS DE DESEMPENHO DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE

De acordo com a ISO19208 (ISO, 2016), deve-se definir o desempenho esperado de um determinado atributo ou aspecto do sistema, de modo que seja possível estabelecer, posteriormente, os critérios de desempenho e os métodos de avaliação sejam determinados. Dessa maneira, os requisitos de desempenho expressam em termos técnicos, qualitativos e abrangentes as expectativas do proprietário sobre o sistema.

Os critérios de desempenho são um grupo de aspectos, indicadores ou grandezas de caráter, preferencialmente, quantitativa que são empregadas para avaliar se o desempenho esperado de um determinado atributo foi atendido.

Logo, nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 os requisitos e critérios de desempenho dos sistemas prediais de água quente presentes nas normas e referenciais verificados na etapa de pesquisa exploratória sobre o tema estão descritos, tendo sido classificados em função dos requisitos normativos presentes na NBR 15575-6 (ABNT, 2013c), quando o aspecto ou objetivo esperado é abordado pela norma citada.

Tabela 5.1 - Requisitos de segurança

REQUISITO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Resistência mecânica	Tubulações suspensas	As tubulações suspensas e seus suportes devem resistir às solicitações mecânicas durante seu uso.
	Tubulações aparentes	As tubulações aparentes devem resistir às solicitações mecânicas durante seu uso, inclusive possíveis impactos que possam ocorrer durante o uso e operação da edificação.
Resistência a solicitações dinâmicas	Resistência a sobrepressão	A ocorrência de sobrepressões e de vibrações decorrentes da operação do sistema predial de água quente não pode incorrer em risco de instabilidade estrutural do sistema.
	Resistência a dilatação térmica	A dilatação dos materiais e da água não pode incorrer em ruptura do sistema nem em esforços não previstos nos componentes do sistema.
Segurança no uso e operação do sistema	Riscos de explosão	O sistema de água quente deve ser projetado de modo que os riscos de explosão durante o uso e operação do sistema sejam mitigados.
	Risco de escaldamento do usuário	O risco de escaldamento dos usuários durante o uso da água quente deve ser mitigado.
	Risco de queimadura por contato	A ocorrência de riscos de queimadura devido ao contato com os componentes do sistema durante o uso e a operação do sistema deve ser mitigada.

Tabela 5.2 - Requisitos de habitabilidade

REQUISITO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Estanqueidade	Estanqueidade das tubulações	Os componentes do sistema de água quente não podem apresentar vazamentos ou exsudações.
Funcionamento das instalações	Distribuição de água quente	O sistema de água quente deve fornecer água nas condições adequadas para a execução das atividades e processos consumidores.
	Geração e armazenamento de água quente	O sistema de aquecimento deve ser capaz de gerar água quente nas condições adequadas para a distribuição e uso.
Proteção sanitária da água potável	Contaminação das instalações	O sistema de água quente não pode permitir a contaminação da água potável por meio do ingresso de corpos ou fluidos estranhos ao mesmo, bem como pelos materiais que o compõe e pelo risco de estagnação de água
Desempenho acústico	Desempenho acústico do sistema predial de água quente	O funcionamento do sistema predial de água quente não pode gerar ruídos que superem as especificações de projeto.

Fonte: Autor (2021).

Tabela 5.3 - Requisitos de sustentabilidade

REQUISITO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Vida útil de projeto	Durabilidade e vida útil de projeto	O sistema deve ser projetado de modo a atender a vida útil de projeto estabelecida.
Manutenibilidade	Manutenibilidade e acessibilidade do sistema	O sistema de água quente deve ser projetado de modo que as atividades de manutenção e operação sejam passíveis de execução de maneira facilitada e segura para os usuários e operadores.
		O sistema de água quente deve ser projetado de modo a reduzir o desperdício de água quente, bem como ser capaz de fornecer os dados necessários para a implementação de sistemas de gestão da demanda de água. As vazões e pressões de operação devem ser mantidas conforme as especificações de projeto, sem dificultar ou prejudicar a execução das atividades fim ou o desempenho do sistema.
Uso eficiente da água	Monitoramento do consumo e redução das vazões de uso	O sistema de água quente deve ser projetado de maneira a reduzir o consumo de energia consumida pela edificação para o processo de aquecimento e distribuição de água sem dificultar as atividades e processo consumidores.
Eficiência energética	Geração e distribuição de água quente	O sistema deve ser capaz de fornecer água quente às atividades consumidoras, considerando a previsão alteração no perfil de uso do sistema, seja pelo aumento da demanda por água quente ou pela inclusão de novos processos consumidores, sem incorrer em perdas significativas do desempenho pré-estabelecido.
Flexibilidade e adaptabilidade	Geração e distribuição de água quente	

Fonte: Autor (2021).

5.2 CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE

Os critérios de desempenho avaliados foram estabelecidos em função de sua presença em normas técnicas, referenciais e guias de certificações ambientais nacionais e internacionais. Conforme descrito no item 5.1, eles foram organizados de acordo com a NBR 15575-6 (ABNT, 2013c). A seguir, cada critério de desempenho foi avaliado na ótica do comissionamento, de modo a auxiliar a desenvolver as atividades e produtos do comissionamento nos resultados da pesquisa.

5.2.1 Resistência mecânica das tubulações suspensas

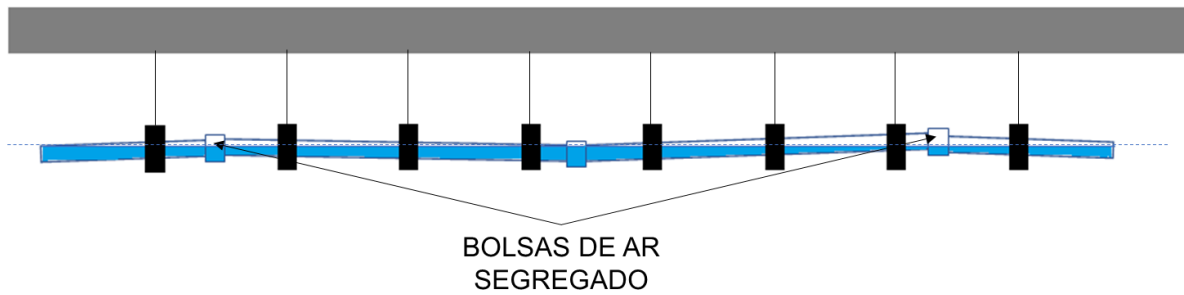
A instalação de tubos suspensos pode incorrer em riscos aos usuários, operadores e ao patrimônio, bem como perda de desempenho no funcionamento do sistema predial de água quente, caso essa seja feita de maneira incorreta.

A fixação das tubulações de água quente é composta por pontos fixos e móveis, de modo a permitir a movimentação dos tubos devido a dilatação térmica do material. As normas técnicas para os tubos e os fabricantes possuem especificações relativas às distâncias máximas permitidas entre os pontos de fixação, que é função do material do tubo, diâmetro e da temperatura da água.

Caso as tubulações não sejam fixadas de maneira adequada, a ocorrência de sobrepressões tende a ter uma magnitude maior e pode incorrer em ruídos mais acentuados, uma vez que a celeridade da onda é reduzida em função das características do material e sua fixação ou embutimento (LATERZA, 2004).

Além disso, a fixação da tubulação com espaçamentos incorretos tende a criar trechos mais altos e mais baixos nas tubulações, que podem incorrer na formação de bolsas de ar no interior da tubulação devido a segregação do ar dissolvido na água, conforme exemplificado na Figura 5.2. Essas bolsas restringem o fluxo de água e possuem um efeito deletério no funcionamento do sistema de água quente, incorrendo em oscilações de pressão e vazão no sistema. A ocorrência é mais comum em tubulações de material com menor módulo de elasticidade, a exemplo de tubos plásticos (GNIPPER, 2010).

Figura 5.2 - Exemplo de tubulações com flechas excessivas causando segregação de ar e água



Fonte: Autor (2021).

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a), a flecha máxima entre os pontos de fixação não pode superar 0,5% quando o trecho é sujeito a uma carga de cinco vezes ao peso da tubulação cheia de água. Esse critério é de fácil verificação quando aplicado a tubulações rígidas, uma vez que estas não sofrem movimentação horizontal quando sujeitas a esforços verticais.

Ao mesmo tempo, caso uma carga seja aplicada em tubulações flexíveis, a exemplo das tubulações de polietileno reticulado (PEX), a flecha tende a ser considerável devido a flexibilidade do material, porém essa ocorrência não incorre em riscos de acidentes.

Na Figura 5.3, está apresentado um exemplo de um ramal de água quente, as tubulações foram fixadas de acordo com as especificações do fabricante, porém devido a fixação não possuir resistência a movimentação horizontal, a aplicação da carga criou uma flecha considerável.

Figura 5.3 - Ramais suspensos de água quente e fria com tubulação flexível



Fonte: Autor (2021).

Assim, recomenda-se que o critério de verificação da flecha seja aplicado apenas a tubulações rígidas. No caso de tubulações flexíveis, é possível aplicar a carga nos pontos de fixação ao invés dos tubos, de modo a verificar se estes irão suportar a carga imposta pela tubulação.

Nesse caso, não é possível assegurar a não ocorrência trechos altos e baixos, porém a verificação permite maior segurança contra possíveis falhas de fixação que possam incorrer em riscos aos usuários e ao patrimônio, que é o requisito estabelecido nesse item.

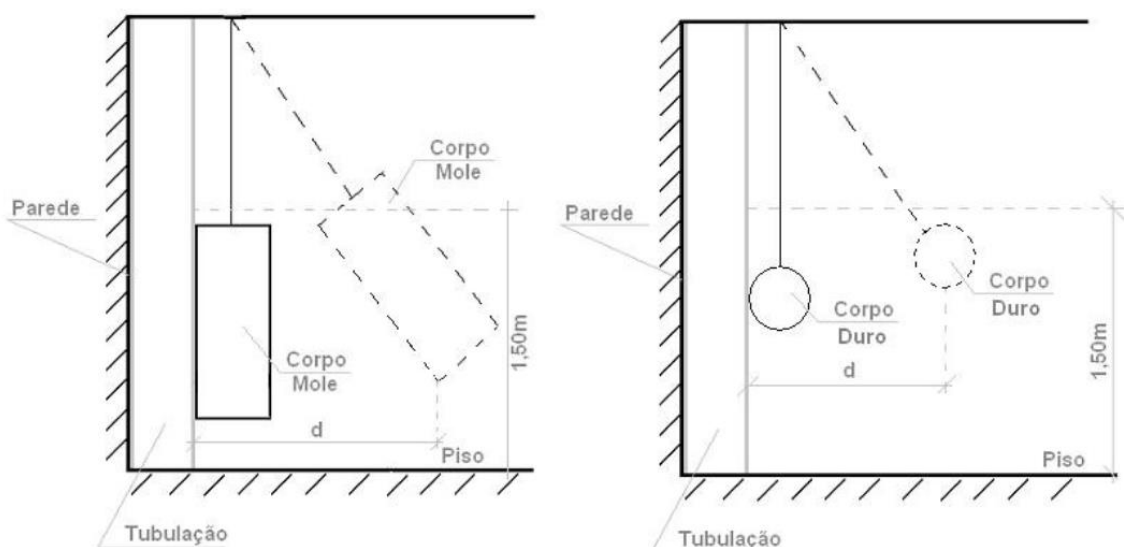
5.2.2 Resistência mecânica das tubulações aparentes

Para reduzir o risco de perda de funcionalidade por danos a tubulação oriundos a impactos, a resistência mecânica das tubulações deve ser estabelecida como um dos requisitos.

De acordo com a NBR 15575-6 (ABNT, 2013c), as tubulações instaladas acima do piso devem resistir aos impactos que possam ocorrer durante a vida útil do sistema. A norma também estabelece uma altura limite das tubulações cujo requisito é aplicável, a energia do impacto e o método de verificação.

Na Figura 5.4 está apresentado um exemplo de montagem para o ensaio e na Tabela 5.4 estão apresentadas as grandezas especificadas pela NBR 15575-6 (ABNT, 2013c) para os testes.

Figura 5.4 - Exemplo de montagem do dispositivo de ensaio de impacto de utilização e limite



Fonte: NBR 15575-6 (ABNT, 2013c).

Tabela 5.4 - Condições especificadas para aplicação dos testes

TIPO DE IMPACTO	IMPACTO DE UTILIZAÇÃO			IMPACTO LIMITE		
	MASSA IMPACTO	DIST. APLICAÇÃO (D)	MEIO DE APLICAÇÃO	MASSA IMPACTO	DIST. APLICAÇÃO (D)	MEIO DE APLICAÇÃO
Corpo Mole	40,0 kg	0,3 m	Saco de couro	40,0 kg	0,6 m	Saco de couro
Corpo Duro	0,5 kg	0,5 m	Esfera maciça de aço	1,0 kg	1,0 m	Esfera maciça de aço

Fonte: NBR 15575-6 (ABNT 2013c).

Considerando que o teste só é exigido para tubulações instaladas até 1,5 m de altura do piso (ABNT, 2013c), para evitar o risco de impacto e reduzir a necessidade de testes, é mais comum que as tubulações sejam instaladas abaixo de pisos elevados, conforme demonstrado na Figura 5.5.

Figura 5.5 - Tubulação instalada sob piso elevado



Fonte: Autor (2021).

Em alguns casos o embutimento ou o recobrimento das tubulações não é possível devido a necessidade de acesso facilitado a determinados componentes, a exemplo de pressurizadores, centrais de redutoras de pressão, aquecedores entre outros. Nesse caso, a verificação da resistência a impactos seria aplicável. Um exemplo de tubulações expostas que necessitariam ser testadas, de acordo com a ABNT NBR 15575-6 (ABNT, 2013c), está disposto na Figura 5.6.

Figura 5.6 - Tubulações aparentes instaladas acima do piso



Fonte: Autor (2021).

Durante a pesquisa foi constatado que nenhuma das obras visitadas tinham evidências sobre o atendimento a esse requisito e, na maioria dos casos, os engenheiros não tinham conhecimento da existência dele na norma técnica. Porém, uma vez que de acordo com a NBR 15575-6 (ABNT, 2013c) o teste deve ser conduzido em protótipo de laboratório, é possível que as equipes de obra não tenham sido informadas se o requisito já havia sido atendido antes da instalação na obra. Independentemente, é possível notar que existe uma falta de conhecimento e de comunicação sobre esse tema em específico nas diversas obras visitadas.

Sobre o teste de protótipo em laboratório, é necessário ressaltar que as normas técnicas para tubulações apresentam ensaios específicos para avaliar a resistência ao impacto de tubos quando instalados de acordo com as recomendações normativas. Exemplos dessas normas são a ABNT NBR 15884-1 (ABNT, 2010a), que apresenta os requisitos para tubos de CPVC, e a norma para tubos de PP-R (ABNT, 2018c). Desse modo, o uso de produtos que atendem a norma técnica e a instalação dos tubos de acordo com as recomendações do fabricante deve reduzir a ocorrência de rupturas por impacto. Nota-se que os critérios e métodos estabelecidos nas diferentes normas não são iguais, mesmo que o intuito seja o mesmo.

Ao mesmo tempo, em todas as obras verificadas, observou-se que esses trechos estavam em locais de acesso restrito, a exemplo de barriletes, *shafts* e espaços

técnicos. A presença desses trechos apenas nessas localizações reduz a probabilidade de ocorrência de impactos que possam incorrer em ruptura, vazamentos ou perda de funcionamento das tubulações, uma vez que os usuários da edificação não têm acesso a essas localizações durante o uso normal da edificação.

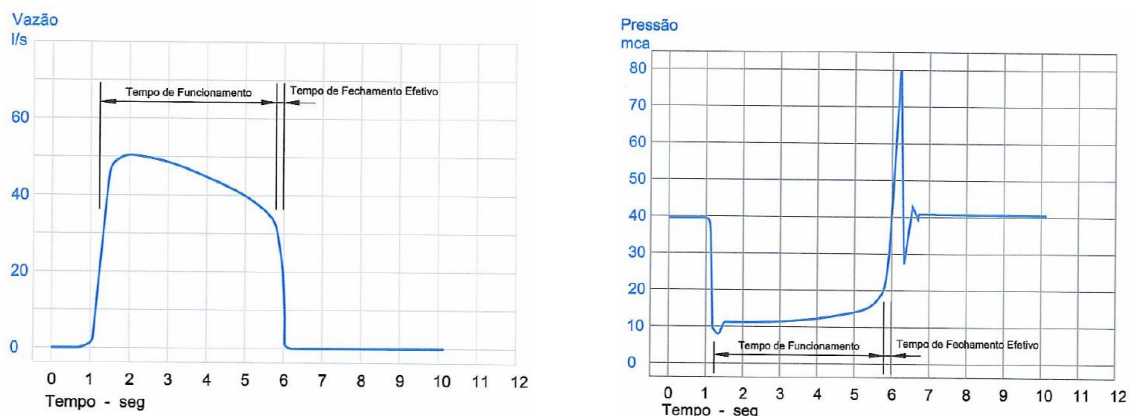
5.2.3 Resistência a sobrepressões

A ocorrência de sobrepressões tem como origem tanto o funcionamento dos componentes, como válvulas solenoides, válvulas de descarga, entre outros, quanto a operação do sistema, que pode ser feita de modo incorreto, como no exemplo do fechamento súbito de uma válvula durante a operação de manutenção.

Observa-se que mesmo que a ocorrência de sobrepressões seja algo indesejável, ela é um fenômeno natural aos sistemas de água fria e quente, uma vez que sua causa é o fechamento dos aparelhos sanitários ou válvulas de bloqueio. Ao mesmo tempo, a magnitude das sobrepressões deve ser mantida a valores aceitáveis, sob o risco de incorrer em desgaste acelerado e ruptura dos componentes, oscilações de vazão e temperatura e, em casos particulares, até escaldamento do usuário. De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a), a sobrepressão máxima não pode superar 200 kPa.

Na Figura 5.7 é apresentado o comportamento da pressão e vazão do sistema com um componente cujo fechamento é súbito. No caso apresentado, o componente é uma válvula de descarga que não apresentou fechamento lento, porém o fenômeno pode ser extrapolado para qualquer tipo sistema em que o tempo de fechamento de um determinado componente seja súbito, a exemplo de colunas de distribuição com válvulas de esfera.

Figura 5.7 - Variação de pressão em válvula de descarga de fechamento rápido



Fonte: Passeto (1997) apud Laterza (2004).

A sobrepressão pode ser caracterizada em dois tipos distintos em função do tempo de fechamento e do período da tubulação (T). O período da tubulação é a relação entre o seu comprimento e a celeridade da onda, conforme descrito na Equação 1.

$$T = \frac{2 \cdot L}{a} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

T = período da tubulação (s);

L = comprimento da tubulação (m);

a = celeridade da onda (m/s).

A celeridade, ou seja, a velocidade de propagação da onda de pressão, pode ser determinada utilizando um equacionamento derivado da fórmula de Korteweg, conforme descrito na Equação 2 (LATERZA, 2004).

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{K \cdot D}{E \cdot e} \cdot c_1\right)}} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

a = celeridade da onda de pressão (m/s);

K = módulo de elasticidade do fluido (N/m²);

ρ = massa específica do fluido (kg/m³);

E = módulo de elasticidade do material da tubulação (N/m²);

D = diâmetro interno da tubulação (m);

e = espessura da parede da tubulação (m);

c_1 = coeficiente que depende das restrições impostas à tubulação.

Nota-se que o coeficiente c_1 tem relação direta com a fixação da tubulação, seja ela embutida ou aparente, bem como a presença de juntas de expansão e outros componentes que impõe restrições a tubulação. De acordo com Laterza (2004) a celeridade de tubulações fixadas tende a ser menor que de tubulações embutidas.

Para fechamentos bruscos, em que o tempo de fechamento é inferior ao período da tubulação, a magnitude da sobrepressão sempre será o valor máximo possível, conforme descrito na Equação 3 (LATERZA, 2004).

$$\Delta H = \frac{a \cdot v_o}{g} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

ΔH = sobrepressão (Pa);

a = celeridade da onda (m/s);

v_o = velocidade do fluido antes do fechamento (m/s);

g = gravidade (m/s²).

No caso de fechamento lento, onde o período da tubulação é superior ao tempo de fechamento, a sobrepressão pode ser determinada pela Equação de Michauld, conforme descrito na Equação 4 (LATERZA, 2004).

$$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v_o}{g \cdot t} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

ΔH = Sobrepressão (Pa);

L = comprimento da tubulação (m);

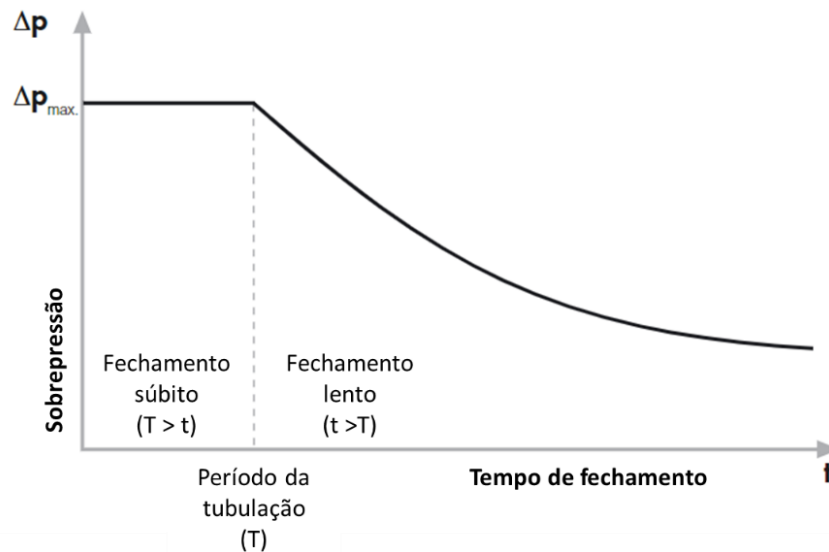
v_o = velocidade do fluido antes do fechamento (m/s);

g = gravidade (m/s²);

t = tempo de fechamento (s).

Dessa forma, o comportamento da sobrepressão em função do tempo de fechamento pode ser observado no gráfico ilustrado na Figura 5.8.

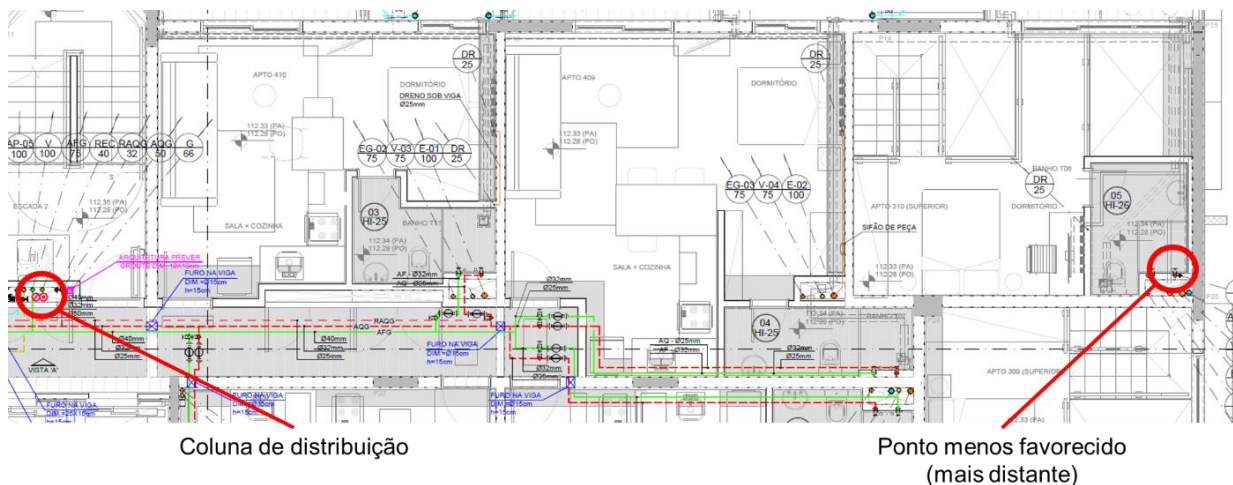
Figura 5.8 - Comportamento da sobrepressão em função do tempo de fechamento



Fonte: Adaptado de Caleffi (2019).

Considerando que o ganho de pressão é função direta do comprimento da tubulação, é possível projetar o sistema com ramais mais curtos, de modo a reduzir sua magnitude. Ao mesmo tempo, devido a tendência de medição setorizada, que geralmente trabalha com um medidor por unidade, existe uma tendência concomitante de aumento do comprimento dos ramais. Na Figura 5.9, a planta de uma edificação residencial está apresentada. Nesse caso, o comprimento do ramal de água quente entre a coluna e o ponto menos favorecido é superior a 20 metros.

Figura 5.9 - Exemplo de ramal de água quente com comprimentos longos

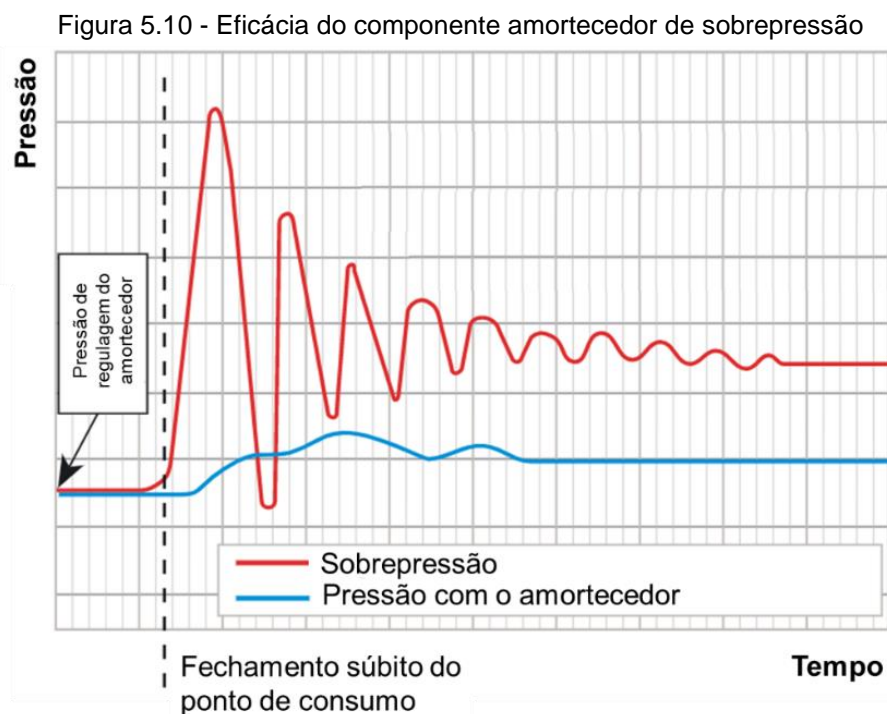


Fonte: Autor (2021).

Além disso, as colunas de distribuição tendem a ter comprimentos que variam em função da altura da edificação, fazendo com que essa medida não seja viável em diversos casos.

Também é possível reduzir a magnitude das sobrepressões por meio da redução da velocidade da água, seja por meio do aumento do diâmetro dos tubos ou pela redução da vazão. Nota-se que, nos sistemas de água quente, o aumento do diâmetro das tubulações pode incorrer em maiores tempos de espera pela água quente, em um aumento nas perdas térmicas do sistema e custos maiores com materiais e componentes, fazendo com que essa solução também tenha efeitos adversos no sistema.

Um dos meios empregados para o controle dos picos de pressão gerado por transientes hidráulicos é o uso de amortecedores de sobrepressão ou válvulas de alívio. Nesse caso, é necessário que esses componentes sejam instalados próximos as fontes geradoras, de modo a não permitir que a onda de pressão se propague pelo sistema. Na Figura 5.10 um exemplo do funcionamento de um amortecedor de sobrepressão está ilustrado.



Fonte: Adaptado de Caleffi (2019).

Devido à natureza súbita e transitória do fenômeno, a verificação de sua ocorrência necessita de equipamentos de medição específicos, a exemplo de manômetros com ponteiro de arraste. Esse tipo de manômetro possui dois ponteiros, em que a pressão máxima verificada é apontada em um dos ponteiros e a pressão medida no momento de leitura em outro, conforme ilustrado na Figura 5.11.

Figura 5.11 - Manômetros com ponteiro de arraste



Fonte: Woler, 2019.

Esses componentes devem ser instalados em pontos críticos e em locais que possam gerar sobrepressões que possam afetar os sistemas, a exemplo dos pontos sujeitos a maiores pressões no sistema e próximos dos componentes de amortecimento, caso presentes no sistema.

A verificação periódica desses manômetros permite verificar a sobrepressão máxima e a eficácia das soluções empregadas e o atendimento aos critérios e requisitos estabelecidos.

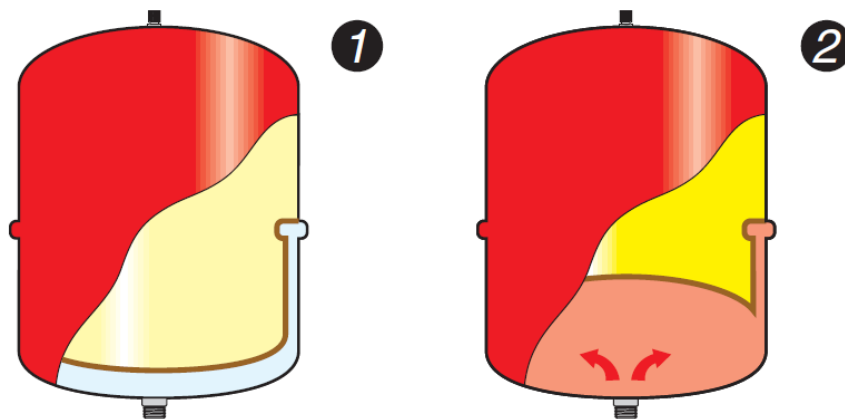
5.2.4 Resistência a dilatação térmica dos componentes

O aumento da temperatura da água tem diversos efeitos sobre a própria água e sobre os materiais. Mesmo sem a presença de vapor ou ar nas tubulações, o aumento da temperatura da água faz com que sua densidade se altere, incorrendo em uma expansão volumétrica do fluido. No caso da presença de válvulas de retenção no sistema, a expansão volumétrica da água é contida pela válvula e o resultado é um aumento na pressão, que pode incorrer em riscos de ruptura e perda de estanqueidade das tubulações e danos aos componentes do sistema.

Para evitar os efeitos deletérios da expansão da água sobre o sistema, a medida mais comum é a instalação de vasos de expansão. Vasos de expansão são compostos por duas câmaras separadas por uma membrana estanque, impermeável e flexível, que permite alteração do volume das câmaras. Uma das câmaras possui um gás pressurizado, geralmente nitrogênio ou ar atmosférico, e fica isolada do sistema. A outra câmara é ligada ao sistema e é preenchida com a água, ficando submetida a pressão de operação do sistema.

A proporção entre os volumes das câmaras é função da pressão e da temperatura do sistema em condições estáticas e da pressão do gás injetado no vaso. Quando a pressão do sistema aumenta, a membrana se deforma, aumentando o volume interno da câmara com água proporcionalmente à expansão volumétrica da água quente. Logo, durante o processo de aquecimento da água, a expansão volumétrica da água não incorre em aumento da pressão do sistema. O funcionamento de um vaso de expansão está ilustrado na Figura 5.12.

Figura 5.12 - Vaso de expansão



Fonte: Caleffi, 2019.

A especificação do vaso de expansão deve levar em consideração o volume de água armazenado no sistema e as faixas de temperatura e pressão que o sistema é projetado para operar para seu funcionamento ótimo.

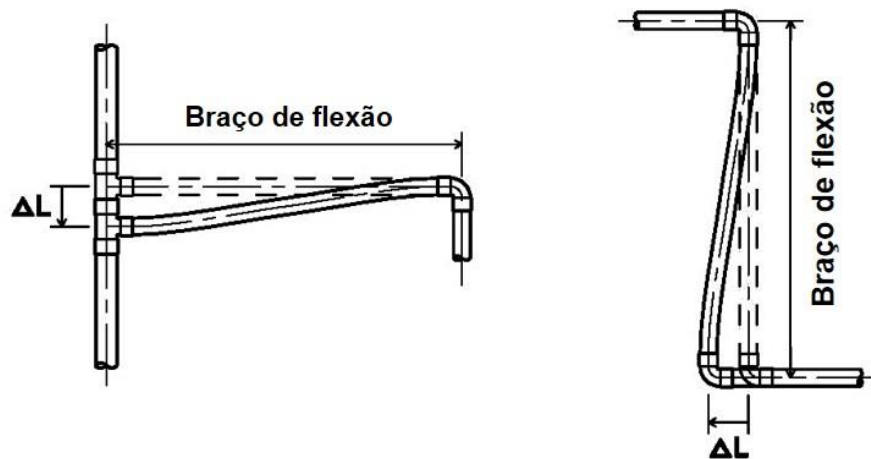
O aumento da temperatura também tem efeitos sobre os materiais, fazendo com eles sofram dilatação. O efeito varia em função da temperatura e do material em questão, bem como a maneira em que estes se encontram fixados. A Tabela 5.5 apresenta os coeficientes de dilatação linear para cada material.

Tabela 5.5 - Coeficientes médios de dilatação térmica

MATERIAL	CPVC	PP-R	COBRE	PEX
Coeficiente de dilatação linear ($10^{-6}/K$)	61,2	150	17,7	140

Fonte: Autor (2021), adaptado de Tigre (2020a), Tigre (2020b), Tigre (2020c) e Eluma (2020). Para evitar a ruptura das tubulações deve-se empregar liras e juntas de expansão bem como um traçado das tubulações que permita absorver a movimentação das tubulações sem incorrer em perda de integridade física. Exemplos da dilatação em ramais estão apresentados na Figura 5.13.

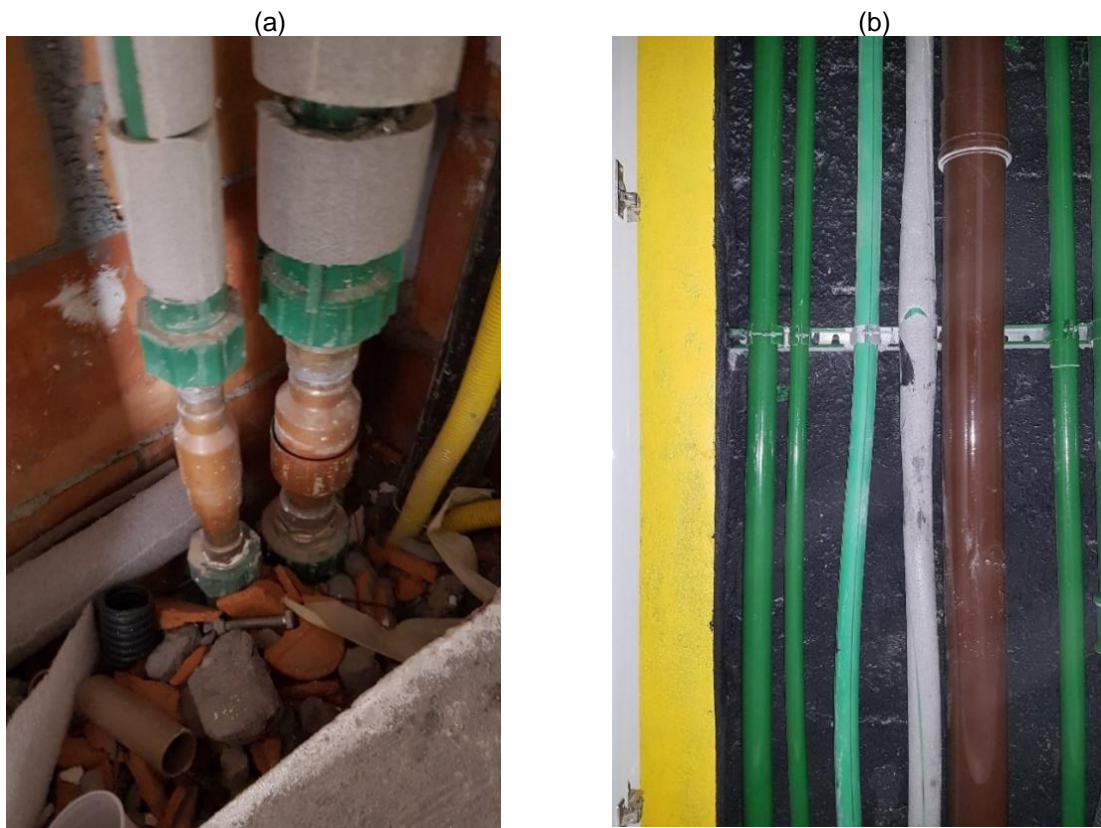
Figura 5.13 - Braço de flexão em derivação de ramal e em mudança de direção de tubulação



Fonte: NBR 5626 (ABNT, 2020a).

No caso de erros de execução das liras ou erros de seleção das juntas de expansão, existe o risco da tensão imposta pela dilatação incorrer em ruptura dos tubos ou deformações permanentes nos tubos. Na Figura 5.14a está apresentada uma junta de expansão especificada incorretamente, uma vez que a tubulação prevista era de cobre e foi alterada, sem o conhecimento do projetista, para PP-R, e na Figura 5.14b estão apresentados os efeitos da dilatação nas tubulações.

Figura 5.14 - Erro de especificação de junta de expansão



Fonte: Autor (2021).

Uma vez que o cobre possui um coeficiente de dilatação menor que o PP-R e a junta selecionada não foi alterada, bem como os pontos fixos e móveis, as tubulações ficaram sujeitas a esforços maiores que o esperado. Logo, quando o sistema foi testado e vistoriado, a tubulação apresentou uma deformação considerável, porém não apresentou ruptura no momento do teste. Posteriormente, no início da operação da edificação, foi notificado que os pontos fixos de fixação das tubulações apresentaram falhas e que as juntas apresentaram vazamentos, logo a construtora optou por executar liras nas tubulações e evitar problemas mais severos.

5.2.5 Risco de explosão

Nos sistemas de água quente, o risco de explosão ocorre principalmente pela expansão dos fluidos e gases presentes no sistema, ou seja, a água e, potencialmente, vapor de água e ar. Nota-se que, idealmente, a presença de ar e vapor no sistema de água quente não deveria ocorrer e que medidas devem ser tomadas para evitar seu acúmulo no sistema.

Uma vez que é possível armazenar maior quantidade de energia em gases que em líquidos devido a sua maior taxa de compressibilidade, o risco de explosão tende a ser maior e as consequências mais graves no caso de sua presença.

Mesmo assim, o risco existe seja em maior ou menor grau e as consequências de uma explosão podem ser severas, incorrendo em possíveis danos ao patrimônio, operadores e usuários. Na pesquisa elaborada por Gnipper (2010), o autor aponta um caso onde uma explosão ocorreu devido a falha dos meios e medidas de segurança de um sistema de água quente. No caso mencionado, a explosão ocorreu devido a inexistência de componentes de alívio de pressão adequados às características do sistema de água fria e quente, em especial do posicionamento dos reservatórios de água fria e de água quente, em conjunto com uma falha no mecanismo de corte de energia.

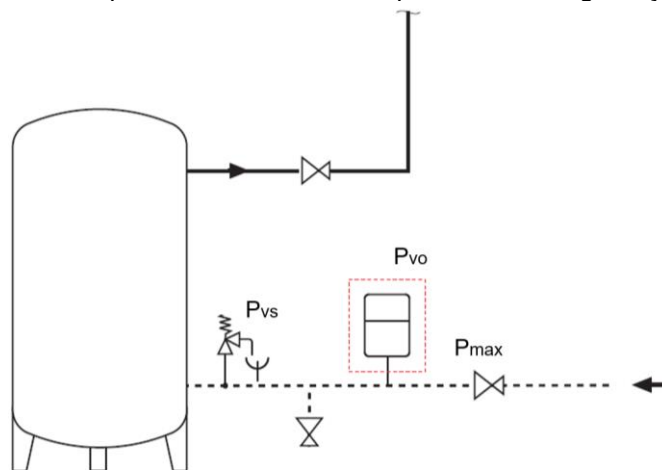
A consequência dessas falhas foi a vaporização da água dentro do aquecedor e, posteriormente, o aquecimento constante e gradual do vapor até que a pressão interna do sistema fosse superior a pressão máxima que o reservatório apresentava resistência.

Para evitar a ocorrência de explosões, o sistema deve contar com válvulas de alívio de temperatura e pressão, bem como dispositivo de corte de abastecimento de energia. Nota-se que, no caso de sistemas de aquecimento solar, a possibilidade de aquecimento da água até o ponto de ebulição é algo possível, uma vez que não é possível controlar a captação de energia solar.

A sequência de acionamento de cada um desses componentes deve ser levada em consideração durante o projeto do sistema, uma vez que cada um deles tem funções específicas.

A pressão e temperatura de acionamento de cada um deles deve ser definida em projeto e verificada em campo antes da entrega e durante a vida útil, logo o sistema deve contar com pontos de medição e teste, além de dreno para escoar a água e os vapores. A Figura 5.15 apresenta um exemplo de um sistema com os componentes de segurança.

Figura 5.15 - Exemplo de sistema com componentes de segurança a pressão



Fonte: Caleffi (2019).

5.2.6 Risco de queimaduras por contato

A operação e o uso do sistema predial de água quente possuem um risco intrínseco de queimadura por contato devido a temperatura dos componentes e das fontes de calor. Queimaduras causadas por contato ocorrem quando a pele humana é sujeita a temperaturas altas por um determinado intervalo de tempo. Quanto maior a temperatura e o intervalo de tempo, mais severo será o efeito sobre a pele.

A superfície das tubulações, fontes de calor e componentes do sistema, tendem a possuir uma temperatura mais alta, de modo que elas podem apresentar um risco de

queimadura por contato. De maneira análoga ao risco de escaldamento, em que o usuário ou o operador é sujeito ao risco de queimadura pelo contato com a água quente, a probabilidade de risco ao usuário ou aos operadores do sistema pelo contato com os componentes deve ser reduzido.

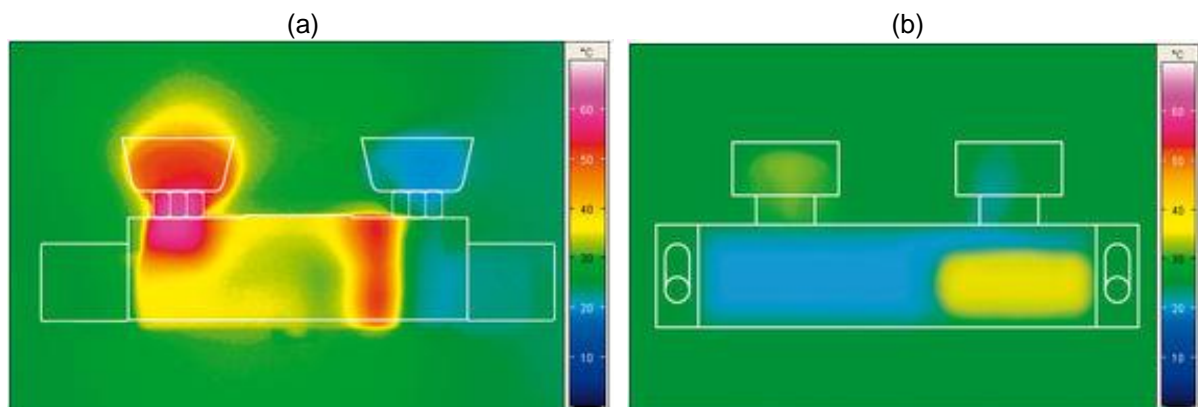
De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a), todas as superfícies expostas com temperatura superior a 70°C que estão sujeitas a contato proposital ou acidental devem ser identificadas e isoladas. Um meio empregado para reduzir os riscos de queimadura por contato em tubos aparentes é o isolamento térmico, que também apresenta a vantagem de reduzir as perdas térmicas do sistema.

No caso da impossibilidade de isolamento térmico de determinados componentes, a exemplo de placas coletoras para o aquecimento solar e registros de bloqueio, recomenda-se que o local de instalação tenha acesso restrito, bem como avisos aos usuários e operadores, caso a temperatura exceda o valor máximo definido.

Nos pontos de contato entre o usuário e o sistema, a exemplo das manoplas dos registros e misturadores de água quente, a temperatura da água tende a elevar a temperatura da superfície, podendo dificultar o uso do sistema. A temperatura da superfície depende das características do componente em si e da temperatura da água quente.

Nas Figuras 5.16 estão ilustrados exemplos da temperatura da superfície de dois misturadores para chuveiro iguais, porém com construções internas diferentes. Na Figura 5.16b a água fria que alimenta o misturador é empregada para resfriar a superfície de modo que ela não incorra em riscos de queimadura por contato.

Figura 5.16 - Temperatura de superfície de misturadores para chuveiro (a) sem tecnologia para resfriamento de superfície e (b) com tecnologia para resfriamento de superfície



Fonte: Grohe, 2019.

No caso de aquecedores de passagem, de acordo com a NBR 8130 (ABNT, 2004), quando os aquecedores operam com a potência nominal, a temperatura máxima na capa dos aquecedores não pode superar 60°C e a temperatura dos componentes empregados para controle não pode superar 50°C. Benedicto (2014) recomenda ao menos a verificação na capa do aquecedor e nos componentes empregados para o controle de vazão e temperatura.

5.2.6.1.1 *Estudo de caso da verificação de temperaturas de superfície de componentes*

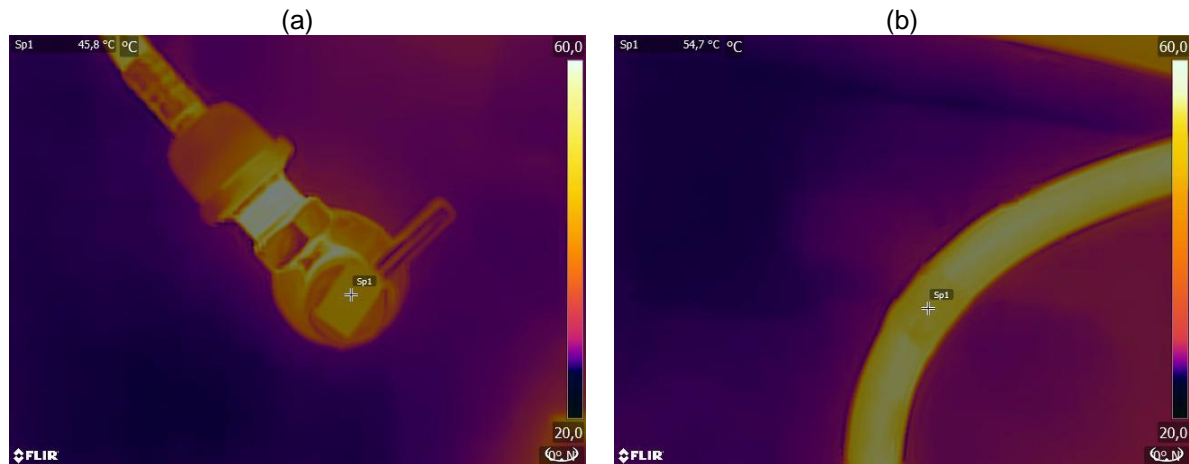
Um exemplo de verificação das temperaturas de superfície de uma unidade residencial está disposto nas Figuras 5.17 a 5.21. No caso em questão, uma fita com emissividade de 0,8, verificada por um emissômetro, foi empregada para aferir a temperatura da superfície nos pontos onde a temperatura foi medida.

Figura 5.17 - Verificação da temperatura das superfícies da conexão do misturador para lavatório com câmera termográfica - vista geral



Fonte: Autor (2021).

Figura 5.18 - Verificação da temperatura das superfícies da conexão do misturador para lavatório com câmera termográfica - detalhamento da (a) temperatura da válvula de bloqueio de manutenção e (b) temperatura do flexível

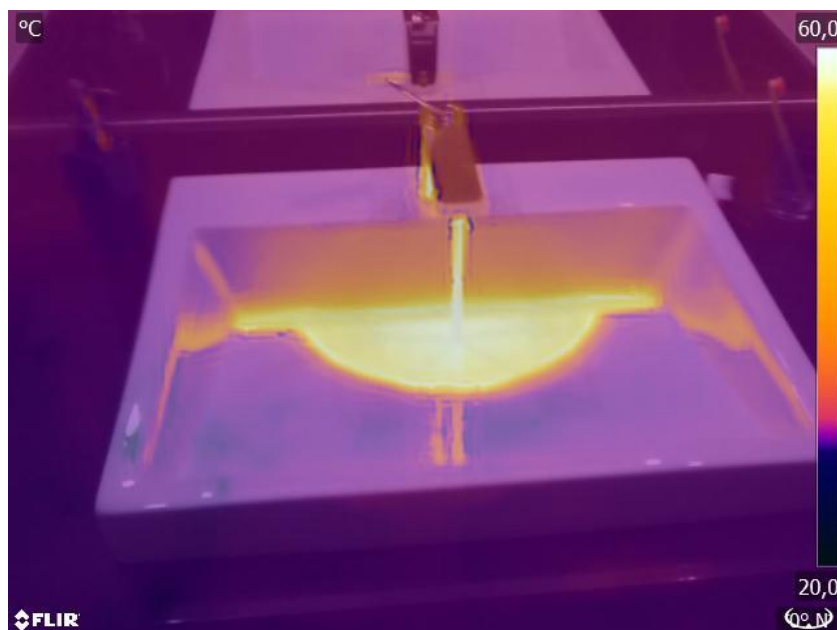


Fonte: Autor (2021).

Nota-se que a temperatura de 45,8°C, verificada na superfície da canopla do registro de ponto, apresenta uma temperatura inferior a temperatura do flexível, que foi de 54,7°C. Isso ocorre uma vez que a canopla do registro não tem contato direto com a água, uma vez que ela é acoplada ao corpo do registro por um parafuso.

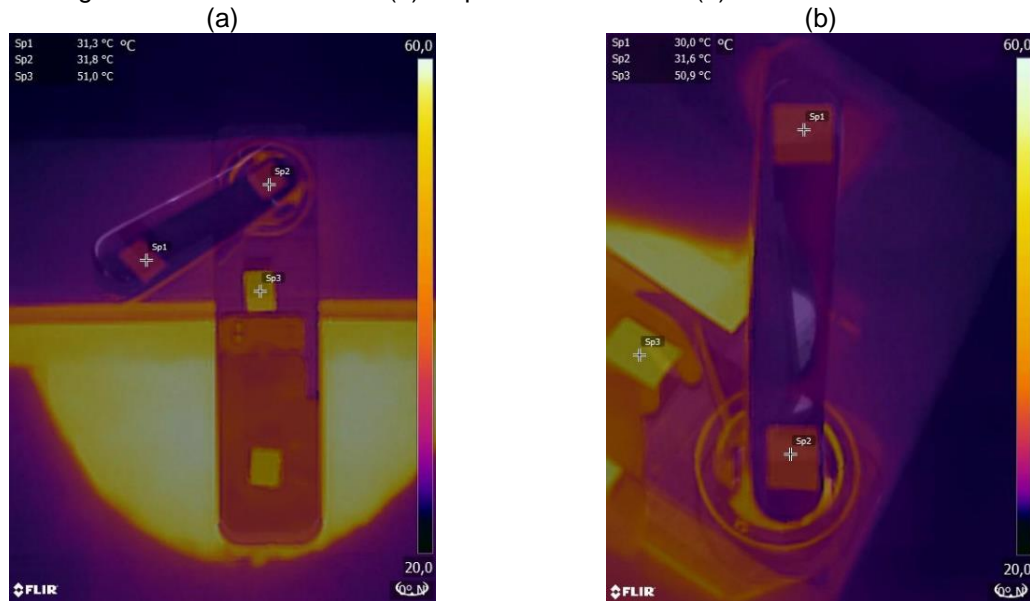
No misturador para lavatório as medições foram feitas no corpo do misturador e na alavanca de acionamento dele, conforme demonstrado nas Figuras 5.19 e 5.20. Nota-se que houve uma pequena disparidade entre as temperaturas verificadas, causada pela precisão do equipamento utilizado.

Figura 5.19 - Verificação da temperatura das superfícies do misturador para lavatório com câmera termográfica - vista geral



Fonte: Autor (2021).

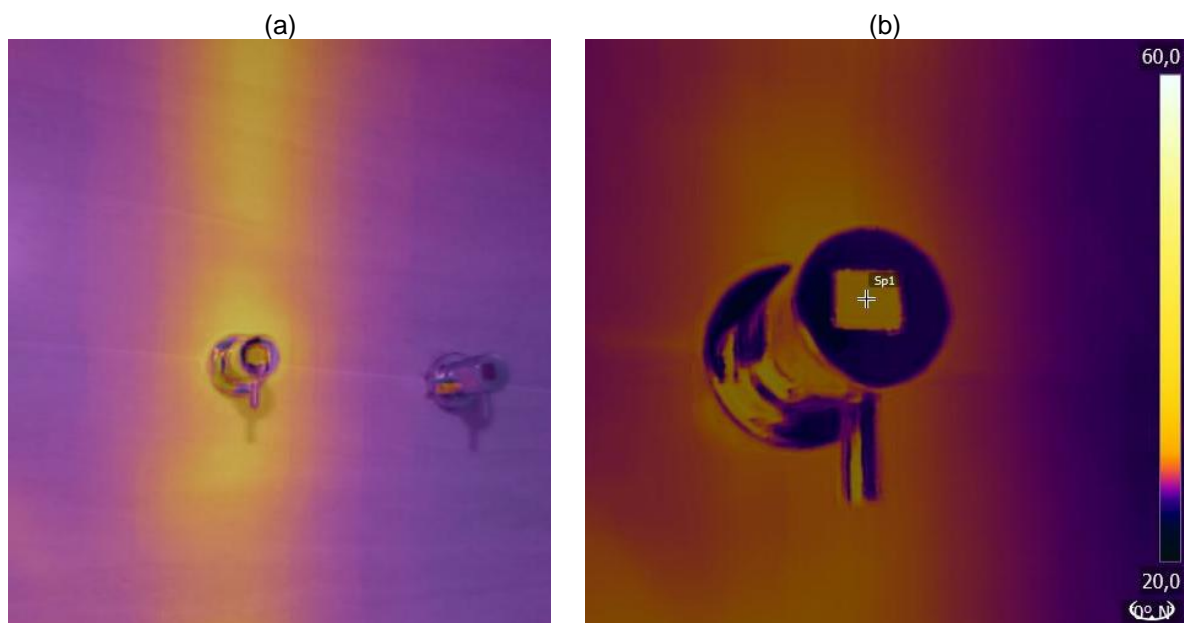
Figura 5.20 - Verificação da temperatura das superfícies do misturador para lavatório com câmera termográfica - detalhamento do (a) corpo do misturador e (b) alavanca de acionamento



Fonte: Autor (2021).

O mesmo ocorre no caso dos registros de gaveta, conforme demonstrado na Figura 5.21. Nesse ponto a temperatura da canopla do registro foi de 31°C. Nota-se que a tubulação de água quente pôde ser localizada devido a transferência de calor para o revestimento, causada pela inexistência de isolantes térmicos no trecho.

Figura 5.21 - Verificação da temperatura das superfícies do acabamento dos registros de gaveta com câmera termográfica - (a) vista geral e (b) temperatura da canopla

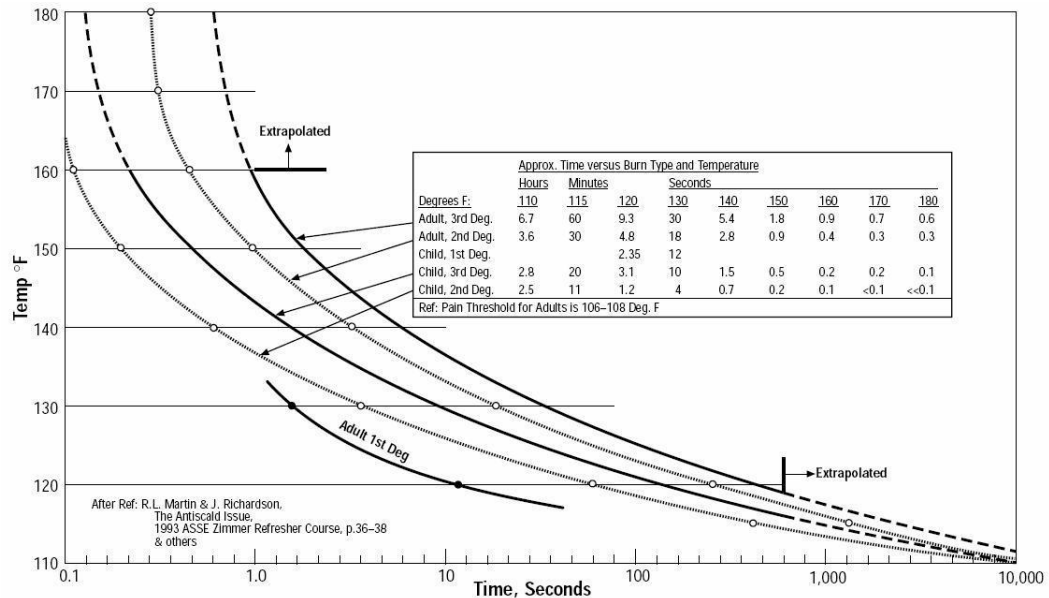


Fonte: Autor (2021).

5.2.7 Risco de escaldamento do usuário

O uso de temperaturas de operação elevadas pode trazer um risco de escaldamento do usuário. De acordo com Martin e Richardson (1993) a pele humana reage a temperaturas conforme ilustrado na Figura 5.22.

Figura 5.22 - Tempo de exposição por tipo de queimadura e temperatura



Fonte: Martin e Richardson (1993).

O escaldamento do usuário ocorre devido a um aumento brusco na temperatura da água misturada, que é dada pela proporção entre as vazões de água fria e quente que alimentam o misturador bem como suas respectivas temperaturas. Uma vez que estas vazões estão diretamente relacionadas à pressão dinâmica desses diferentes sistemas, caso haja uma alteração desigual nessas pressões, a temperatura da água misturada também apresentará variação.

A pressão dinâmica varia em função da demanda por vazão de água no sistema em um determinado instante, o que torna esse fenômeno mais preocupante em sistemas com uma alta quantidade de pontos de consumo, devido a maior probabilidade de abertura e fechamento de componentes de uso em vazões e instantes diferentes.

No caso da utilização de água misturada em pontos de consumo com baixa vazão, oscilações menores na vazão possuem maior influência na temperatura da água misturada, uma vez que a proporção é dada por vazões menores do sistema de água fria e quente. Assim, caso exista uma condição de alta temperatura da água quente com uma baixa vazão do ponto de consumo, cria-se uma condição propícia para

oscilações da temperatura da água misturada, que pode ocasionar desde desconforto até o esaldamento do usuário.

Essas condições são particularmente comuns, porém não exclusivas, em edificações com sistemas de aquecimento central coletivo.

A temperatura da água misturada pode ser definida através da primeira e da segunda lei da termodinâmica, dada pela proporção das vazões que se misturam e dos valores de suas respectivas temperaturas. As vazões de água fria e quente estão diretamente relacionadas a pressão dinâmica na ligação do misturador com os sub-ramais e a perda de carga que o misturador imprime no sub-ramal em questão, bem como de outros componentes instalados no sistema, a exemplo de bombas e válvulas redutoras de pressão.

Caso o misturador ou outros componentes a jusante do mesmo não compensem as oscilações da pressão dinâmica dos ramais, aumentando ou reduzindo instantaneamente a perda de carga que ele impõe sobre o sistema com uma intensidade proporcional à da oscilação, a temperatura da água misturada irá apresentar variação.

Desconsiderando as diferenças na densidade e no poder calorífico da água nas diferentes temperaturas, uma vez que as variações dessas grandezas dentro dos limites de temperatura e vazão do ponto de uso dos sistemas prediais são de ordem pequena, pode-se expressar a relação conforme a Equação 5, onde adiciona-se uma parcela ΔQ a cada vazão de alimentação do misturador, causada pela oscilação da pressão dinâmica nas redes de distribuição de água fria e quente, que pode ser positiva ou negativa dependendo da natureza da oscilação.

$$T_m = \frac{(Q_q + \Delta Q_q) \cdot T_q + (Q_f + \Delta Q_f) \cdot T_f}{(Q_q + \Delta Q_q) + (Q_f + \Delta Q_f)} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

T_m é a temperatura da água misturada (°C);

T_q é a temperatura da água quente (°C);

T_f é a temperatura da água fria (°C);

Q_q é a vazão da água quente (L/min);

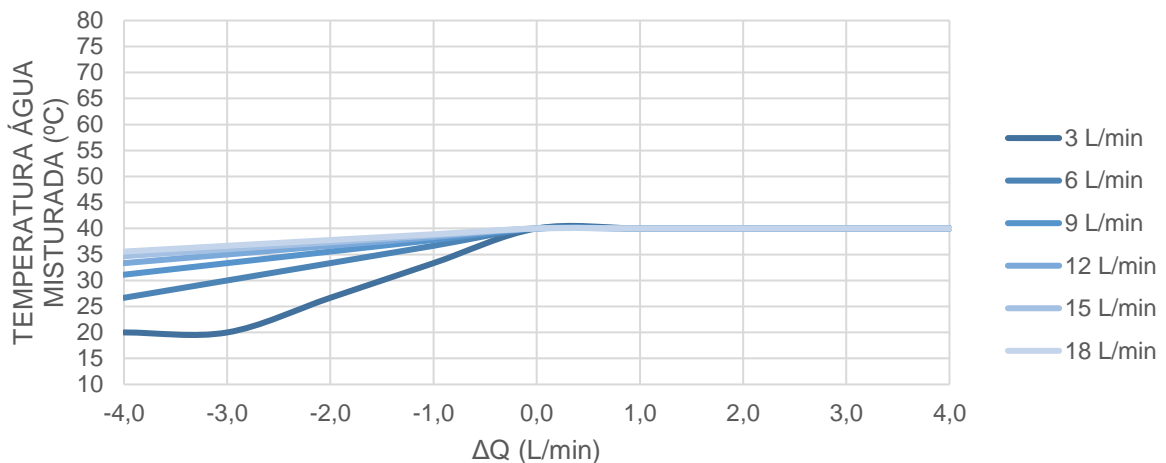
ΔQ_q é a oscilação da vazão de água quente, causada pela variação de pressão (L/min);

Q_f é a vazão da água fria (L/min);

ΔQ_f é a oscilação da vazão de água fria, causada pela variação de pressão (L/min).

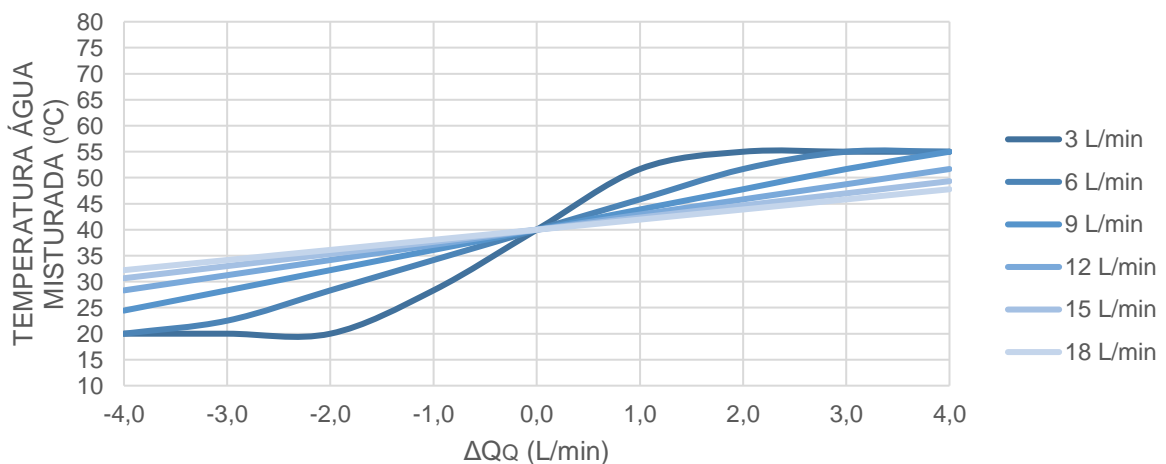
Com a Equação 5, pode-se montar os gráficos dispostos nas Figuras 5.23, 5.24 e 5.25 onde é possível observar a influência da oscilação da vazão de água quente na temperatura da água misturada, em função da vazão do ponto e da temperatura da água quente, considerando que a temperatura da água misturada é, inicialmente, 40°C.

Figura 5.23 - Influência da oscilação da vazão de água quente na temperatura da água misturada ($T_Q = 40^\circ\text{C}$)



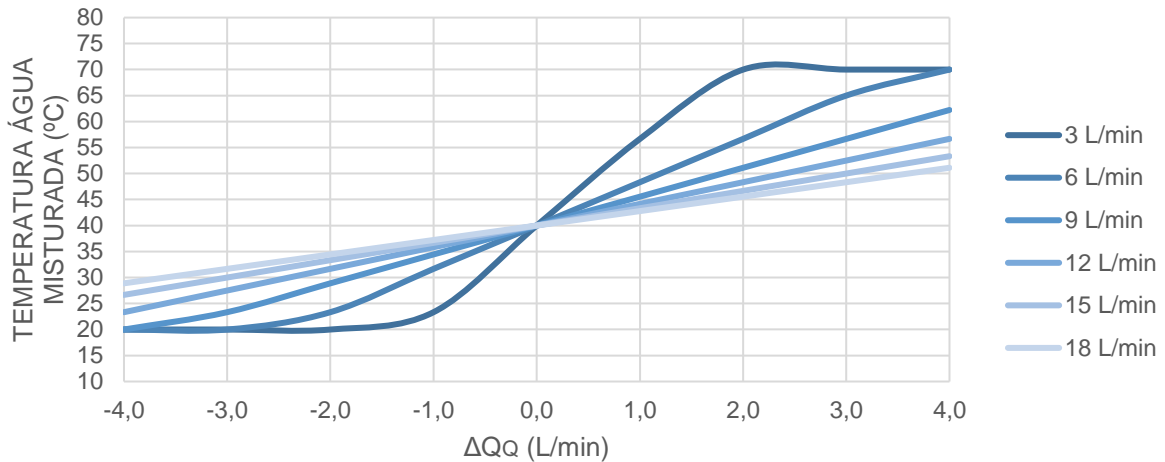
Fonte: Autor (2021).

Figura 5.24 - Influência da oscilação da vazão de água quente na temperatura da água misturada ($T_Q = 55^\circ\text{C}$)



Fonte: Autor (2021).

Figura 5.25 - Influência da oscilação da vazão de água quente na temperatura da água misturada ($T_Q = 70^\circ\text{C}$)



Fonte: Autor (2021).

Analisando os gráficos dispostos nas Figuras 5.23, 5.24 e 5.25, é possível observar que a temperatura da água misturada se torna mais sensível a oscilações com o aumento da temperatura da água quente e com a redução da vazão do ponto de consumo. Ressalta-se que os gráficos foram desenvolvidos observando apenas a relação de oscilação na vazão de água quente. No caso de oscilações na vazão da água fria no mesmo instante, a variação da temperatura da água misturada também é alterada.

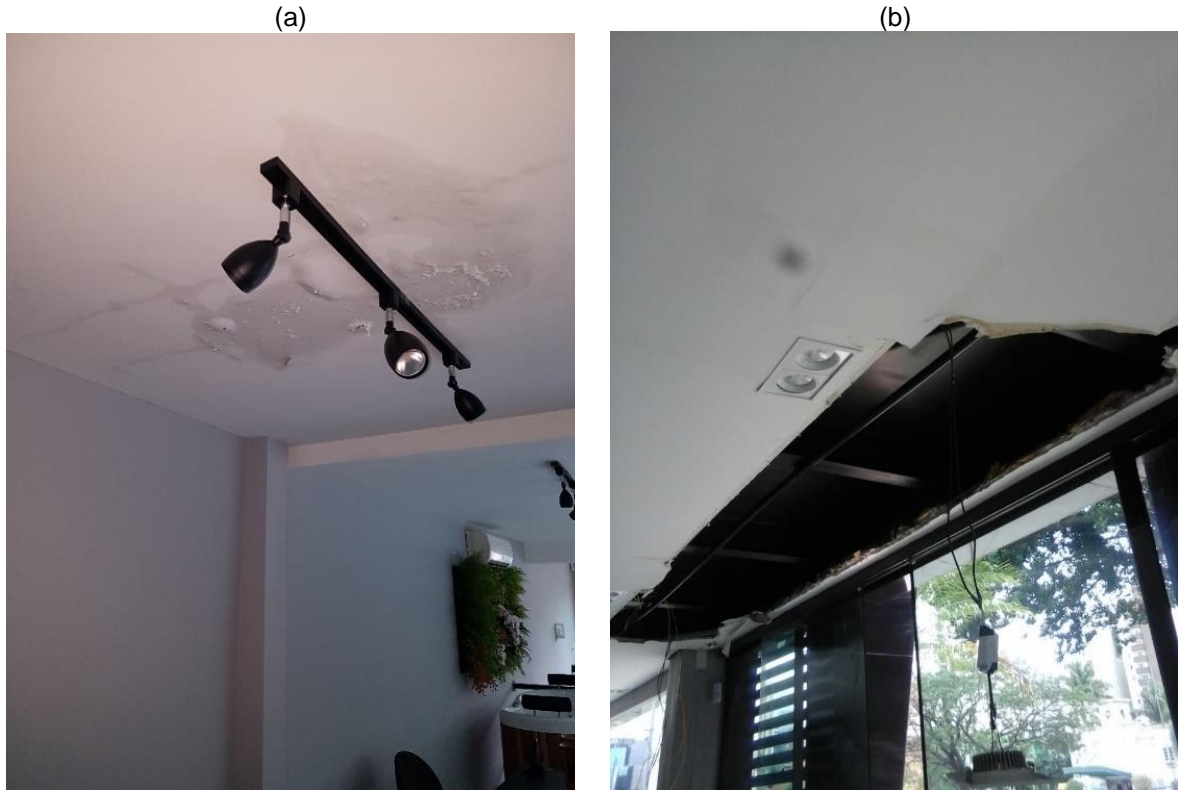
5.2.8 Estanqueidade das tubulações do sistema

Falhas na estanqueidade nos sistemas de água quente são uma das patologias mais evidentes e comuns nos sistemas prediais de água fria e quente. De acordo com Oliveira (1999), os vazamentos podem ser classificados como visíveis, quando se manifestam e podem ser verificados facilmente visualmente, e não-visíveis, quando não podem ser facilmente verificados visualmente, se manifestando por meio de sinais de umidade ou aumento excessivo no consumo de água.

A perda de água implica em impactos financeiros e ambientais e, no caso de sistemas de água quente, desperdício de energia, uma vez que essa água necessita de uma fonte de energia para ser aquecida. Uma falha de estanqueidade também pode incorrer em paradas parciais ou totais do sistema. Em edificações como hotéis e hospitais, a parada do sistema, ou mesmo a impossibilidade de parada do sistema, pode incorrer em perdas financeiras consideráveis.

Outra consequência da perda de estanqueidade é o possível dano a edificação e suas partes. Exemplos de danos causados pela infiltração de água devido a ruptura de ramais estão apresentados na Figura 5.26.

Figura 5.26 - Danos causados por vazamentos (a) na laje e (b) no forro



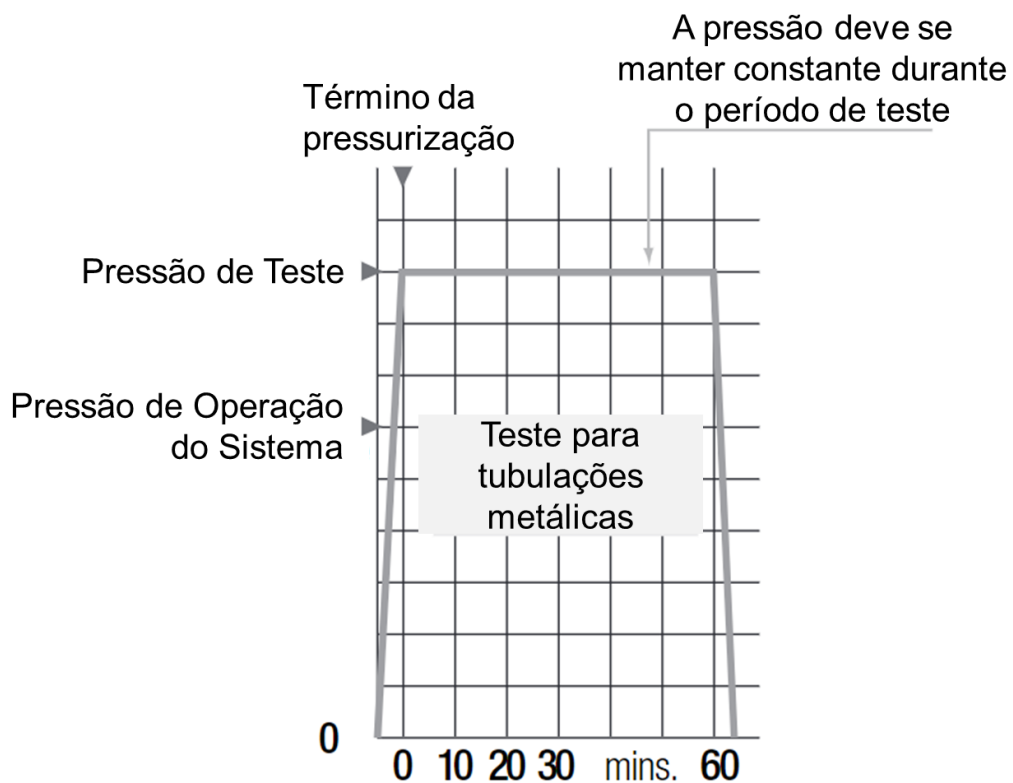
Fonte: Autor (2021).

No caso em questão, houve um desacoplamento em uma das conexões do ramal de água quente, causado por uma falha de execução das juntas, que gerou um vazamento próximo as 20:00 horas no dia 25 de dezembro de 2018. A edificação é ocupada por uma loja de itens de banho e, devido ao horário e a data, não havia colaboradores no local, o que incorreu em danos extensos a edificação.

A estanqueidade das tubulações é verificada por meio de testes, em que trechos das tubulações são pressurizadas com água, ar ou pela combinação de ambos. Nota-se que o teste com apenas ar comprimido (teste pneumático) de trechos com volume consideráveis e que trabalham com pressões altas geralmente não é recomendado devido a riscos de explosão do sistema ou de partes dele no caso de falha nos componentes. O teste deveria ter sido realizado durante a execução, antes da entrega e periodicamente durante a operação.

Durante o teste, o trecho é submetido a uma pressão superior a pressão esperada durante a fase de operação e o comportamento da pressão é observado por um medidor de pressão. Além disso, a tubulação é inspecionada visualmente em busca de vazamento e exsudações, quando possível. A queda de pressão no trecho tende a significar a presença de vazamentos. Na Figura 5.27 é apresentado o comportamento esperado da pressão do sistema para tubulações metálicas rígidas.

Figura 5.27 - Comportamento da pressão durante o teste de estanqueidade

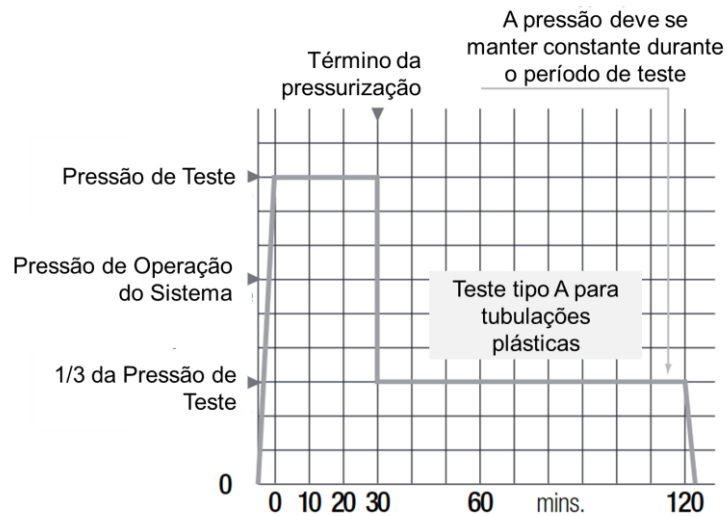


Fonte: Adaptado de Initiative Copper (2003).

Ressalta-se que a queda de pressão é apenas um indicador, uma vez que em tubulações cujo material apresenta flexibilidade, é possível que a pressão do teste seja alterada sem que exista perda de estanqueidade do trecho.

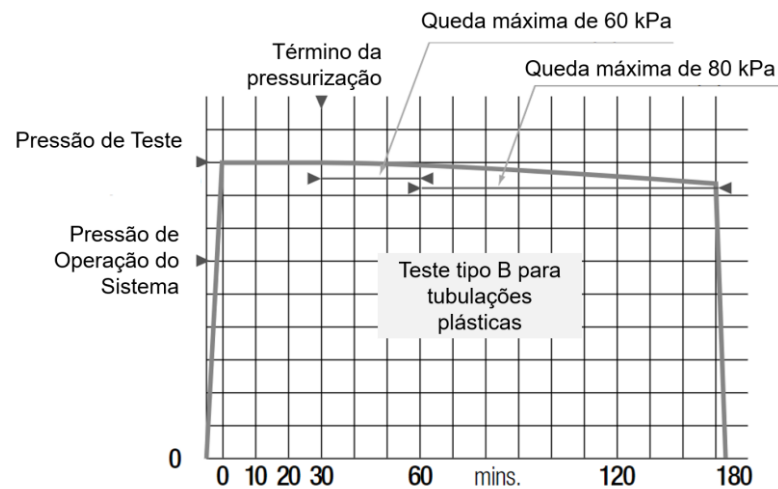
Nas Figuras 5.28 e 5.29 estão apresentados os critérios de estanqueidade presentes na regulamentação técnica da Inglaterra e do País de Gales (WATER INDUSTRY, ENGLAND AND WALES, 1999). A regulamentação permite uma determinada queda de pressão, desde que a tubulação seja inspecionada visualmente e seja constatado que não existem vazamentos. Nota-se que esse critério é apenas aceito no caso do uso de tubulações plásticas.

Figura 5.28 - Comportamento da pressão durante o teste de estanqueidade tipo A em tubulações plásticas de acordo com a regulamentação da Inglaterra e do País de Gales



Fonte: Adaptado de Initiative Copper (2003).

Figura 5.29 - Comportamento da pressão durante o teste de estanqueidade tipo B em tubulações plásticas de acordo com a regulamentação da Inglaterra e do País de Gales

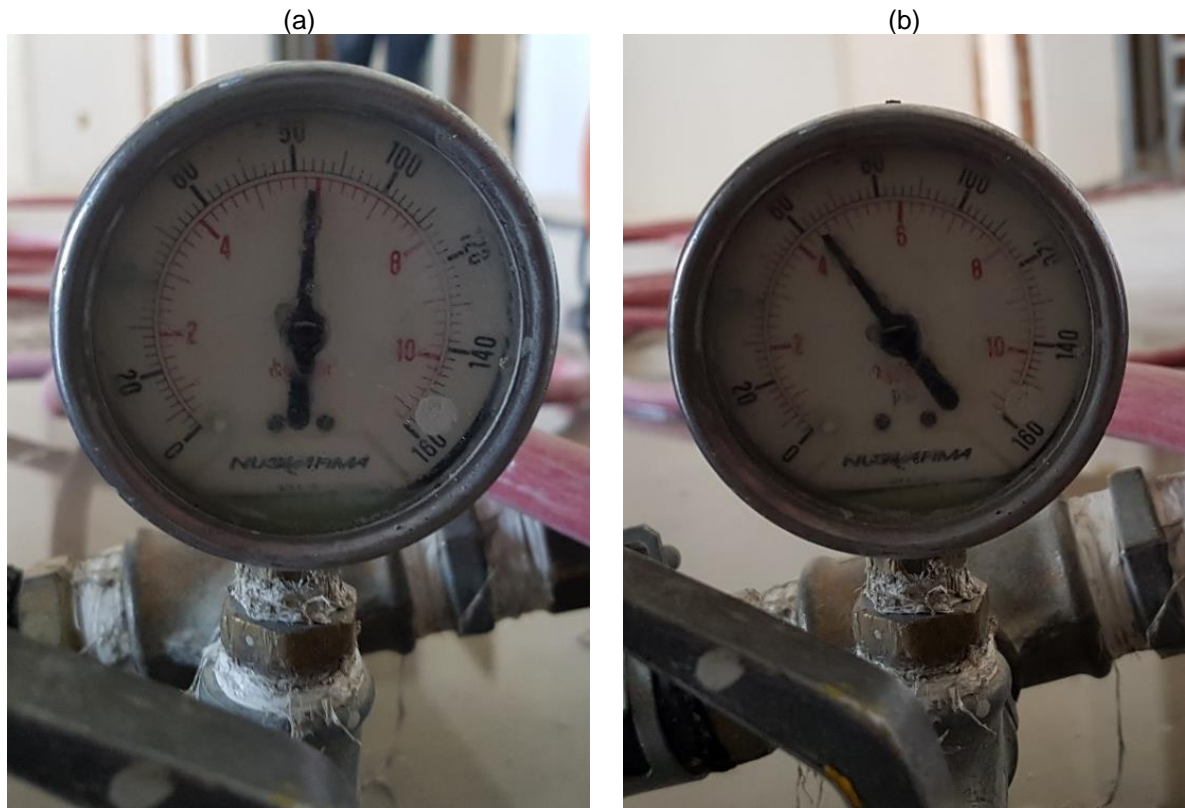


Fonte: Adaptado de Initiative Copper (2003).

Os resultados apresentados foram encontrados em um teste executado em campo em tubulações do tipo PEX. No caso em questão, todas as tubulações foram purgadas para garantir que não havia ar no sistema e o teste foi feito tanto com água em temperatura ambiente e aquecida. Todos os trechos foram inspecionados e nenhum vazamento foi encontrado. O teste também foi feito em tubulações expostas para verificar se não havia erros de procedimento e os resultados foram iguais.

Em ambos os casos, a pressão de teste inicial, que era de 600 kPa, sofria uma queda para aproximadamente 400 kPa logo após o término da pressurização, conforme demonstrado nas Figuras 5.30a e 5.30b.

Figura 5.30 - Queda de pressão no teste de estanqueidade em tubulações plásticas - (a) pressão inicial e (b) pressão final



Fonte: Autor (2021).

O teste foi conduzido em diversos outros sistemas que utilizam o mesmo tipo de material, inclusive do mesmo fabricante, porém este fenômeno não ocorreu em nenhum desses casos.

Além disso, deve-se notar que a presença de válvulas purgadoras de ar, vasos de expansão e válvulas de alívio podem impedir que o sistema seja testado sem o fechamento de trechos específicos ou dos componentes em questão. Desse modo, observa-se que apenas a verificação do comportamento da pressão do sistema, conforme prescrito nas normas técnicas, pode ser um critério falho.

Nesse ponto é necessário ressaltar que existem diversos critérios normativos relativos à estanqueidade das tubulações do sistema de água quente em função da existência de diversas normas que tratam do tema de modo separado. Na Tabela 5.6 está apresentado o resumo dos critérios presentes nas normas técnicas que abordam o assunto.

Tabela 5.6 - Critérios normativos de estanqueidade de tubulações de sistemas prediais de água quente

NORMA		PRESSÃO	TEMPERATURA	TEMPO
NBR 15575-6 (ABNT, 2013c)	Edificações habitacionais - desempenho: Requisitos para sistemas hidrossanitários	50% superior a pressão de operação, com um limite mínimo de 100 kPa	70°C	1h
NBR 5626 (ABNT, 2020a)	Sistemas prediais de água fria e água quente - Projeto, execução, operação e manutenção	50% superior a pressão de operação, com um limite mínimo de 600 kPa	80°C	1h
NBR 15345 (ABNT, 2013a)	Instalação predial de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre - Procedimento			
NBR 15813-3 (ABNT, 2018b)	Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria. Parte 3: Tubos e conexões de polipropileno copolímero <i>random</i> PP-R e PP-RCT - Montagem, instalação, armazenamento e manuseio	De acordo com a norma do sistema	De acordo com a norma do sistema	De acordo com a norma do sistema
NBR 16057 (ABNT, 2012b)	Sistema de aquecimento de água a gás - Projeto e instalação	50% superior a pressão de operação	70°C	2h
NBR 15884-3 (ABNT, 2010b)	Sistema de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria - Policloreto de vinila clorado (CPVC) Parte 3: Montagem, instalação, armazenamento e manuseio	50% superior a pressão de operação, com um limite mínimo de 100 kPa	80°C	20 min
NBR 15939-3 (ABNT, 2011)	Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria - Polietileno Reticulado (PE-X). Parte 3: Procedimentos para instalação.			

Fonte: Autor (2021).

Nota-se que diversas normas exigem o uso de água com temperaturas elevadas para o teste de estanqueidade da tubulação e o uso de água com temperaturas superiores a temperatura ambiente possui diversas consequências tanto durante a construção quanto durante o projeto.

O aquecimento da água implica na necessidade de um aquecedor no local de teste. Devido a restrições de segurança, geralmente, os sistemas de aquecimento empregados são elétricos e o sistema de aquecimento tende a possuir uma potência energética considerável para alcançar a temperatura especificada. Logo, para executar o teste é necessário que a edificação tenha um ponto de energia próximo ao

local onde o aquecedor será posicionado, que possa fornecer a potência necessária para sistema de aquecimento.

Outro ponto a ser observado é que, a água quente troca calor com o ambiente fazendo com que a temperatura a água se altere durante o teste, caso ela não seja constantemente aquecida. Isso implica que é necessário manter a água circulando durante o ensaio.

Isso faz com que o teste com água quente apresente diferenças consideráveis com o teste de água fria. Primeiramente, a vez que a pressão de teste é, obrigatoriamente, dinâmica ao invés de estática. Além disso, as tubulações só podem ser testadas em circuitos fechados ao invés de trechos lineares, que é a prática normal.

Essa condição nem sempre é encontrada em obras que não consideraram o teste em seu planejamento, principalmente nos ramais internos. Nesse caso, mesmo em sistemas com ramais de recirculação, é comum que ela não abranja parte dos ramais e sub-ramais, fazendo com que partes do sistema não alcancem a temperatura de ensaio. Esses trechos não podem ser testados sem modificações no projeto ou sem a instalação provisória de um sistema de recirculação externa.

Na Figura 5.31 a ligação com o gerador de água quente para o teste está demonstrada. O gerador foi ligado em um ramal provisório, conforme exemplificado na Figura 5.32, ligado nos pontos de uso dos chuveiros dos banheiros para permitir a recirculação de água para o sistema de aquecimento de teste.

Figura 5.31 - Conexão com o gerador de água quente para testes



Fonte: Autor (2021).

Figura 5.32 - Ramais de retorno provisórios par execução do teste de estanqueidade em unidades sem ramal de recirculação de água quente



Fonte: Autor (2021).

Outro ponto que deve ser observado é a possível presença de circuitos preferenciais que podem impedir que a temperatura seja alcançada em determinados trechos do sistema. Em alguns casos, pode ser necessário testar o sistema por partes para garantir que a temperatura alcance todos os trechos.

Também é necessário notar é nenhuma das normas mencionadas na Tabela 5.6 são claras ao estabelecer onde a temperatura de teste deve ser medida. Considerando que as normas estabelecem a temperatura mínima, é possível inferir que ela deveria ser medida no ponto menos favorável, ou seja, no retorno do sistema de aquecimento.

Isso implica que a perda térmica do trecho da tubulação tem influência direta no teste, uma vez que em tubulações de grande extensão pode existir uma perda de temperatura considerável. Essa perda pode impedir que o teste seja executado tanto devido a limitações da potência do sistema de aquecimento utilizado para o teste quanto pela necessidade de uma temperatura mais alta que os componentes do sistema estão projetados a resistir.

Ao mesmo tempo, uma perda acentuada de temperatura pode implicar falhas no desempenho energético do sistema, o que permite verificar a conformidade com esse requisito durante esse teste.

Além disso, é comum que haja a necessidade de alterar o planejamento de atividades como fechamento das vedações internas, a exemplo de forros e paredes, onde os trechos que serão testados estão localizados. Também pode ser necessário adiantar a execução do isolamento térmico das tubulações para que a temperatura de teste seja alcançada. Em casos de ramais extensos e sistemas mais complexos, em especial aqueles com sistemas de aquecimento coletivo, a alteração no fluxo de obra se torna considerável.

As dificuldades mencionadas fazem com que o custo da verificação desse requisito seja maior, além de aumentar a complexidade do sistema. Ao mesmo tempo, ressalta-se que o teste deveria ser feito na condição mais próxima possível das condições de uso e operação do sistema, de modo que os resultados permitam uma melhor previsibilidade do comportamento do sistema durante a sua vida útil.

O aumento da temperatura da água faz com os materiais se dilatam, causando uma movimentação nas tubulações. Essa dilatação pode causar uma concentração de carga nos pontos de fixação nos componentes da tubulação, que deve ser prevista em projeto por meio do uso de fixações e apoios fixo e deslizantes, liras e juntas de dilatação entre outros meios. Uma vez que a dilatação aumenta com a temperatura, os esforços também crescem proporcionalmente.

Outro ponto que necessita ser ressaltado é que as temperaturas definidas para os testes de estanqueidade presentes nas normas foram desenvolvidas tendo em consideração as normas técnicas vigentes na época de seu desenvolvimento. No caso de sistemas de água quente, a temperatura máxima do sistema previamente estabelecida pela NBR 7198 (ABNT, 1992) era de 70°C.

Na atualização da NBR 7198 (ABNT, 1992) para NBR 5626 (ABNT, 2020), a temperatura limite para a água quente foi removida, deixando essa escolha a cargo do projetista do sistema. Isso implica que a temperatura de operação do sistema pode ser superior a temperatura de teste atualmente prevista nas normas técnicas. Além disso, a norma estabelece o teste com água a 80°C (ABNT, 2020), o que é conflitante

com as outras normas técnicas mencionadas. Essas disparidades devem, e necessitam, ser abordadas em futuras atualizações normativas.

5.2.8.1.1 *Estudo de caso da verificação em campo da estanqueidade das tubulações da água quente*

Para verificar se o teste com água em temperaturas elevadas é um critério mais preciso para a avaliação do requisito de estanqueidade, foram conduzidos diversos testes em edificações. Todas as tubulações avaliadas foram previamente testadas com água a temperatura ambiente e apresentaram estanqueidade. Após esse teste, foram conduzidos testes com água quente e os resultados estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Resultados de testes em colunas de distribuição de água quente com água com temperatura elevada (continua)

EDIFÍCIO	LOCAL	MATERIAL	TEMPERATURA DE TESTE	OBSERVAÇÃO
	Coluna de distribuição 1/10	Cobre	70°C	Sem falhas
	Coluna de distribuição 2/10	Cobre	70°C	Sem falhas
	Coluna de distribuição 3/10	Cobre	70°C	Sem falhas
	Coluna de distribuição 4/10	Cobre	70°C	Sem falhas
	Coluna de distribuição 5/10	Cobre	70°C	Falha na junta de dilatação devido a danos ao componente quando a temperatura chegou a 50oC.
1	Coluna de distribuição 6/10	Cobre	70°C	Não foi possível alcançar a temperatura de 70oC devido as perdas térmicas da tubulação.
	Coluna de distribuição 7/10	Cobre	60°C	Não foi possível alcançar a temperatura de 70oC devido as perdas térmicas da tubulação.
	Coluna de distribuição 8/10	Cobre	60°C	Não foi possível alcançar a temperatura de 70oC devido as perdas térmicas da tubulação.
	Coluna de distribuição 9/10	Cobre	70°C	Falha na solda da conexão do ramal de retorno quando a temperatura chegou a 40oC.
	Coluna de distribuição 10/10	Cobre	70°C	Sem falhas
2	Coluna de distribuição 1/2	Cobre	70°C	Falha na solda da conexão Tê do ramal de distribuição quando a temperatura chegou a 60°C.
	Coluna de distribuição 2/2	Cobre	70°C	Sem falhas

Fonte: Autor (2021).

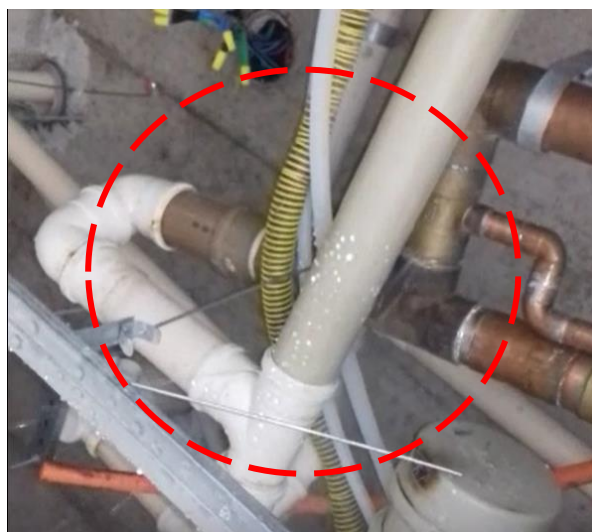
Tabela 5.7 - Resultados de testes em colunas de distribuição de água quente com água com temperatura elevada (conclusão)

EDIFÍCIO	LOCAL	MATERIAL	TEMPERATURA DE TESTE	OBSERVAÇÃO
3	Coluna de distribuição 1/2	PPR	70°C	Sem falhas
	Coluna de distribuição 2/2	PPR	70°C	Sem falhas
	Ramais de distribuição (unidades)	PPR	70°C	Sem falhas (54 unidades)
4	Coluna de distribuição 1/3	Cobre	70°C	Falha na solda da conexão do ramal de retorno quando a temperatura chegou a 50oC.
	Coluna de distribuição 2/3	Cobre	65°C	Não foi possível alcançar a temperatura de 70oC devido as perdas térmicas da tubulação.
	Coluna de distribuição 2/3	Cobre	70°C	Sem falhas
5	Ramais de distribuição (unidades)	PEX	80°C	Sem falhas (32 unidades)

Fonte: Autor (2021).

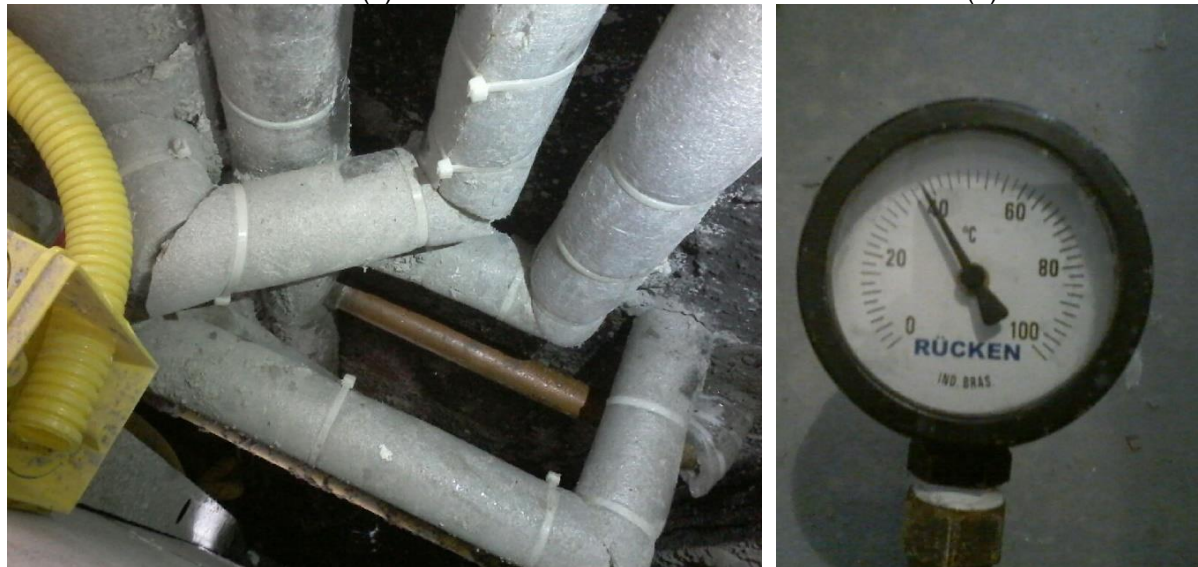
Nota-se que em alguns dos casos não foi possível alcançar a temperatura de ensaio devido as perdas térmicas das colunas, que não estavam devidamente isoladas. Considerando que o sistema de aquecimento empregado tinha uma potência de 15 kW, conclui-se que a perda térmica desse trecho da tubulação na temperatura de ensaio era igual a potência do sistema de aquecimento. Algumas das falhas apresentadas na Tabela 5.7 estão ilustradas nas Figuras 5.33, 5.34 e 5.35.

Figura 5.33 - Perda de estanqueidade na solda da conexão da tubulação de cobre com água a 60°C (edifício 2)



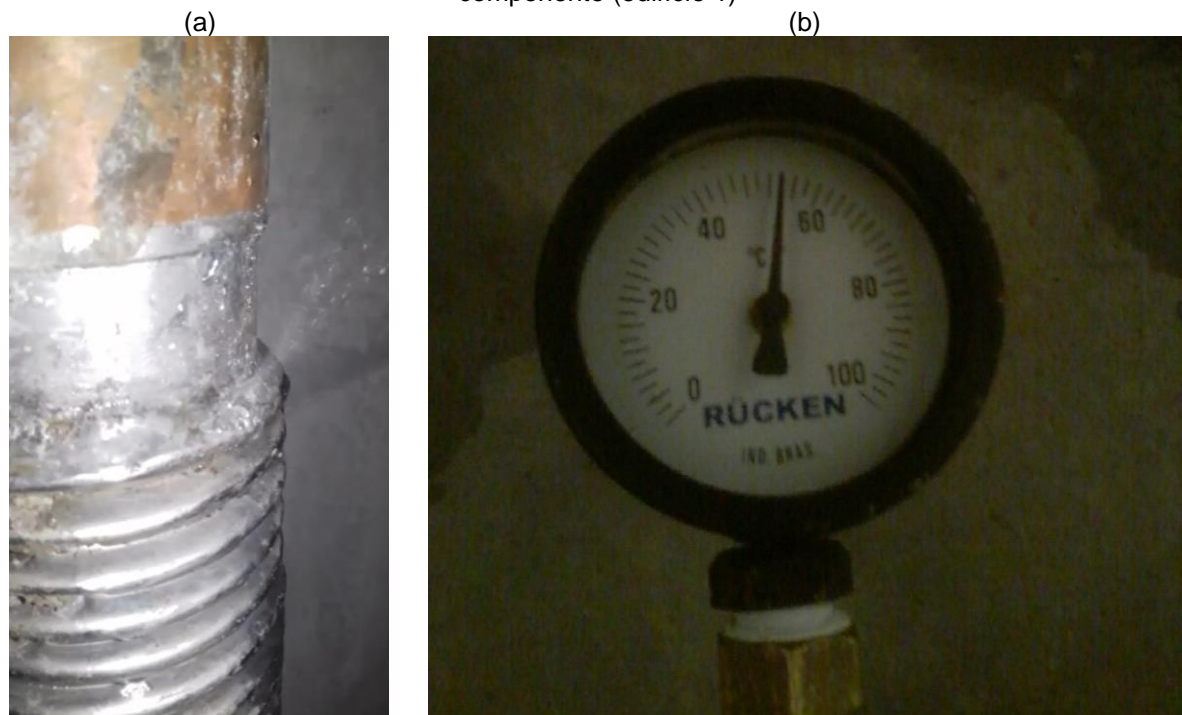
Fonte: Autor (2021).

Figura 5.34 - Perda de estanqueidade na solda da conexão de tubulação de cobre com água a 40°C



Fonte: Autor (2021).

Figura 5.35 - Perda de estanqueidade na junta de dilatação com água a 50°C devido a danos no componente (edifício 1)



Fonte: Autor (2021).

Nota-se que nos testes conduzidos houve uma ocorrência significativa de vazamentos o que implica que o comportamento das conexões e acoplamentos foi influenciado pela temperatura da água. É possível observar que os vazamentos encontrados se concentraram em conexões de tubulações de cobre, porém devido a pequena

amostragem de sistemas de tubulações plásticas, o resultado é inconclusivo e mais estudos necessitam ser feitos sobre o assunto.

5.2.9 Geração e armazenamento de água quente

Como premissa principal, o sistema de água quente deve fornecer água na temperatura especificada para atender a demanda dos processos e atividades consumidoras. O sistema de aquecimento deve ser projetado de modo a atender essa demanda, considerando o período de pico de consumo, bem como ser capaz de voltar as condições iniciais de temperatura dentro de um determinado tempo (capacidade de recuperação). Sendo assim, a geração e o armazenamento de água quente têm um papel fundamental no desempenho do sistema de água quente.

Os insumos energéticos empregados para a obtenção de calor para o aquecimento de água devem ser definidos com base na disponibilidade no local da edificação, considerando as legislações locais. Como exemplo, pode-se citar o Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo, que exige a presença de sistemas prediais de gás combustível nas edificações multifamiliares além da previsão futura de instalação de sistemas de aquecimento solar (SÃO PAULO, 2017b).

A previsão da demanda de água quente e energia é abordada por diversas normas, a exemplo da NBR 15569 (ABNT, 2020b), que normaliza os sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto, e da NBR 16057 (ABNT, 2012b), que aborda sistema de aquecimento de água a gás, bem como o RTQ-R do Procel Edifica (INMETRO, 2012). Ambas as normas e o guia do Procel possuem recomendações de métodos de determinação de demanda similares.

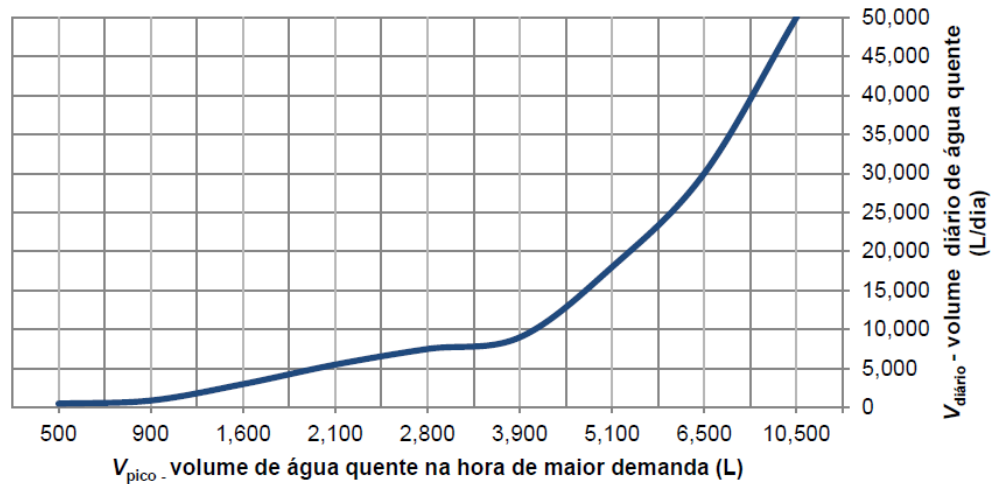
Para sistemas compostos apenas por aquecedores instantâneos, em que não há reserva de água quente, a NBR 16057 (ABNT, 2012b) recomenda o atendimento da vazão de projeto dos equipamentos multiplicada por fator de simultaneidade, que deve considerar o período de pico de demanda.

Analogamente, para sistemas de aquecimento de acumulação, o método é recomendado na norma NBR 16057 (ABNT, 2012b) e ele é composto por 4 etapas:

- 1) Estabelecer o volume diário de água quente consumido e corrigir o volume em função da temperatura de armazenamento da água quente;

- 2) Aplicar um fator de simultaneidade para a determinar a demanda no pico de consumo, empregando o gráfico disposto na Figura 5.36. O fator de simultaneidade para sistemas centrais privados é de 0,9.

Figura 5.36 - Gráfico de simultaneidade de água quente



Fonte: NBR 16057 (ABNT, 2012b).

- 3) Definir a proporção entre o atendimento da demanda de pico por armazenamento e por geração, empregando os fatores apresentados na Tabela 5.8. Essa relação define quanto da demanda por água quente será atendida pelo volume armazenado (acumulação) e quanto será atendida pelo calor fornecido pelos aquecedores (geração).

Tabela 5.8 - Fatores de armazenamento em função do volume de água quente consumido no horário de pico

V_{pico}	F_{arm}
$V_{pico} < 1.500$	$\frac{1}{3}$
$1.500 < V_{pico} < 6.000$	$\frac{1}{4}$
$6.000 < V_{pico} < 12.000$	$\frac{1}{5}$
$12.000 < V_{pico} < 20.000$	$\frac{1}{6}$
$V_{pico} > 20.000$	$\frac{1}{7}$

Fonte: NBR 16057 (ABNT, 2012b).

- 4) Definir o volume de água armazenada e a potência dos aquecedores, considerando um intervalo de pico recomendado de 1 hora.

Analisando o método de dimensionamento recomendado é possível verificar que o sistema de aquecimento deve ser dimensionado para atender a uma demanda de pico

de consumo, que é recomendada como uma hora. A temperatura mínima da água quente também é definida como sendo superior a 40°C, ou seja, superior a temperatura da água misturada.

Ao mesmo tempo, observa-se que o método descrito não determina ou observa a vazão do sistema de água quente no período de pico. No caso do uso da vazão máxima de projeto para verificação, devido ao caráter máximo do valor, o resultado sempre apontará que o sistema não atende ao critério. Ao mesmo tempo, uma vez que os fatores de armazenamento estabelecidos na Tabela 5.8 priorizam o atendimento da demanda pela geração em detrimento ao volume armazenado, o uso de uma vazão média sempre incorrerá em um resultado onde o sistema atende ao critério.

Conclui-se que dentro da prática atual do mercado, em que o método de determinação das vazões de pico do sistema de água quente e de armazenamento não estabelecem a vazão de operação, esse requisito não é passível de verificação na etapa de campo de acordo com as normas técnicas vigentes.

Considerando os requisitos e critérios estabelecidos no início desse item, é necessário notar que o método de verificação de conformidade, na fase de campo, deveria avaliar se o sistema é:

- capaz de fornecer a água considerando (a) o perfil de vazão do sistema, (b) durante o intervalo definido (intervalo de pico) e (c) sem que a temperatura da água seja inferior a temperatura mínima especificada;
- se recuperar (voltar as condições iniciais) dentro de um intervalo estabelecido.

Assim, recomenda-se uma abordagem avaliando apenas os aspectos apontados. Considerando que a vazão durante o intervalo de pico é variável, o método de verificação deveria estabelecer uma curva de perfil de consumo, que contempla o pico de consumo e varia de acordo com as características da edificação e do sistema. Essa curva teria como função caracterizar e quantificar o perfil de consumo normal do sistema de água quente da edificação e serviria como base para verificação se o sistema atende ou não ao critério.

Devido à dificuldade em controlar a vazão durante o teste para que ela seja idêntica a curva característica do método citado, é possível definir uma vazão média equivalente,

corrigindo o valor da vazão e o tempo de pico. Com a vazão de operação equivalente, os intervalos de pico e as temperaturas máximas e mínimas admissíveis, seria possível verificar se o sistema atende à demanda em condições normais por meio do monitoramento da temperatura, que deveria ser superior a temperatura mínima especificada.

Infelizmente, devido à falta de dados sobre a duração do período de pico e do perfil de vazão de sistemas de água quente os valores ainda são difícil obtenção, porém é possível empregar métodos probabilísticos para obter tal curva. Exemplos de métodos que contemplam o estabelecimento de intervalos e magnitude dos picos de consumo são o método probabilístico aberto proposto por Gonçalves (1986), o modelo de simulação de vazões por meio de teoria dos grafos proposto por Petrucci (2001) ou pelo modelo de simulação estocástica da demanda de água em edifícios residenciais proposto por Ferreira (2018), entre outros.

Nota-se que tal abordagem ainda requer o estabelecimento de um método de determinação da vazão de operação como base sob qual os resultados obtidos em campo serão avaliados, logo esse método deve ter a maior adesão possível a realidade, além de ser flexível o suficiente para contemplar os diferentes tipos de edificação.

5.2.10 Distribuição e uso de água quente

Após o aquecimento da água ela é distribuída pela edificação para os usuários executarem as atividades consumidoras. Isso implica que o sistema predial de água quente, tem como função principal, fornecer água em uma determinada vazão e na temperatura desejada para execução da atividade consumidora. Manter essas grandezas (vazão, pressão e temperatura) estáveis no ponto de uso é essencial para atender as necessidades do usuário.

Benedicto (2009) desenvolveu uma pesquisa em campo para avaliar o desempenho dos sistemas prediais de água quente em duas edificações na cidade de São Paulo. Na pesquisa, o autor aponta que mais 25% dos usuários afirmaram não conseguir ajustar a temperatura para o nível desejado e mais de 35% dos usuários também afirmaram a ocorrência de variação da temperatura da água misturada durante a atividade de banho, seja devido a abertura de um ponto de utilização no mesmo ambiente, em outro ambiente do apartamento ou sem motivos aparentes.

Logo, para o sistema apresentar o funcionamento esperado em projeto, as vazões e pressões de operação e projeto devem ser similares e, neste ponto é necessário ressaltar que o sistema de água quente não funciona de maneira isolada. A temperatura da água deve ser passível de ajuste no ponto de uso devido a necessidade de diferentes temperaturas e vazões para a execução das atividades. Para isso, é necessário empregar misturadores e válvulas, que criam pontos de interface direta com o sistema de água fria e o usuário.

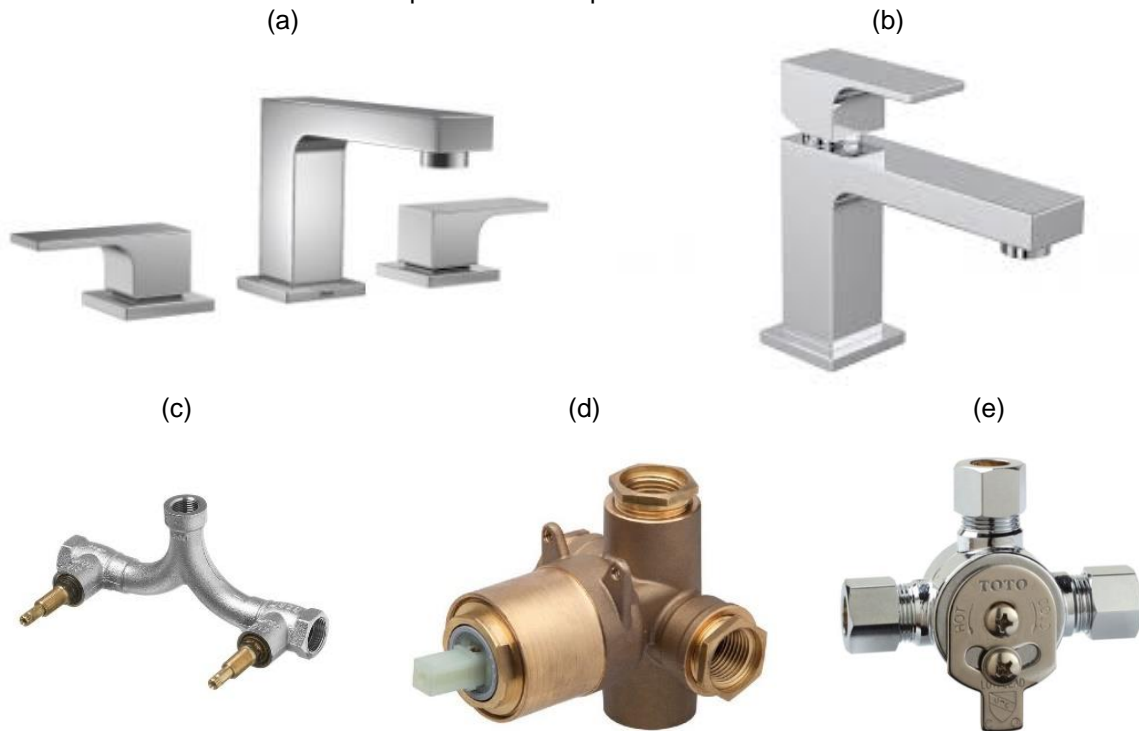
As válvulas misturadoras e os misturadores empregados nos pontos de uso, a exemplo de chuveiros, bidês e lavatórios, tem como função permitir o ajuste da temperatura e da vazão.

Todos os misturadores funcionam pelo mesmo princípio geral. O componente permite o ajuste da perda de carga que é imposta em cada um dos ramais conectados pela redução da área de passagem. Isso permite que a razão entre a vazão de água fria e quente, logo a temperatura da água misturada, seja ajustada. Em termos matemáticos, o ajuste em questão é o coeficiente de perda de carga singular (K_s) que pode ser verificado na fórmula de perda de carga universal.

Os misturadores podem ser classificados em duas famílias maiores. A primeira família são os misturadores não compensadores ou convencionais. Nesse tipo de misturador, após o ajuste inicial da perda de carga imprimida em cada um dos ramais, a regulação não se altera sem a ação direta de um operador ou usuário externo, ou seja, o coeficiente de perda de carga singular (K_s) é constante para cada um dos ramais. Ao mesmo tempo, no caso de uma alteração na temperatura ou na pressão em um dos ramais, existe uma alteração na temperatura da água misturada, uma vez que o coeficiente de perda de carga não é alterado para compensar essa alteração. Devido a necessidade de um operador externo para ajustar constantemente a proporção, esse tipo de misturador é encontrado mais frequentemente nos pontos de uso.

Essa família engloba misturadores duplocomando, que são os mais comumente empregados no Brasil nos pontos de uso. Nesse tipo de misturador, o ajuste da vazão cada ramal é feito de maneira independente do outro. No caso de misturadores monocomando, a perda de carga em cada um dos ramais é feita por meio de um comando único, que é separado do ajuste de vazão total. A Figura 5.37 apresenta exemplos de misturadores não compensadores.

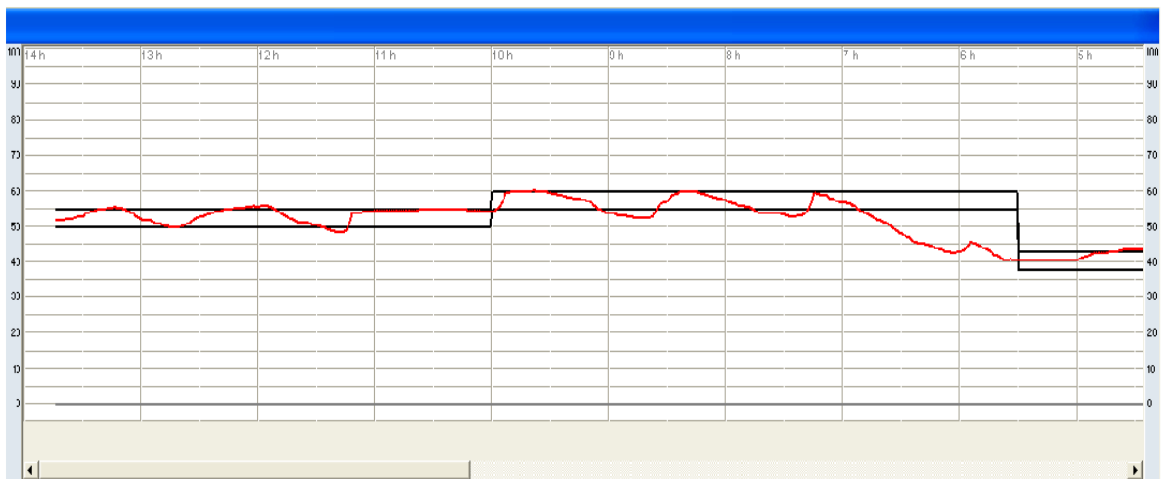
Figura 5.37 - Exemplos de misturadores não compensadores (a) duplo comando para lavatório, (b) monocomando para lavatório, (c) duplo comando para chuveiro, (d) monocomando para chuveiro, (e) pré-misturador para lavatório



Fonte: Deca (2019)

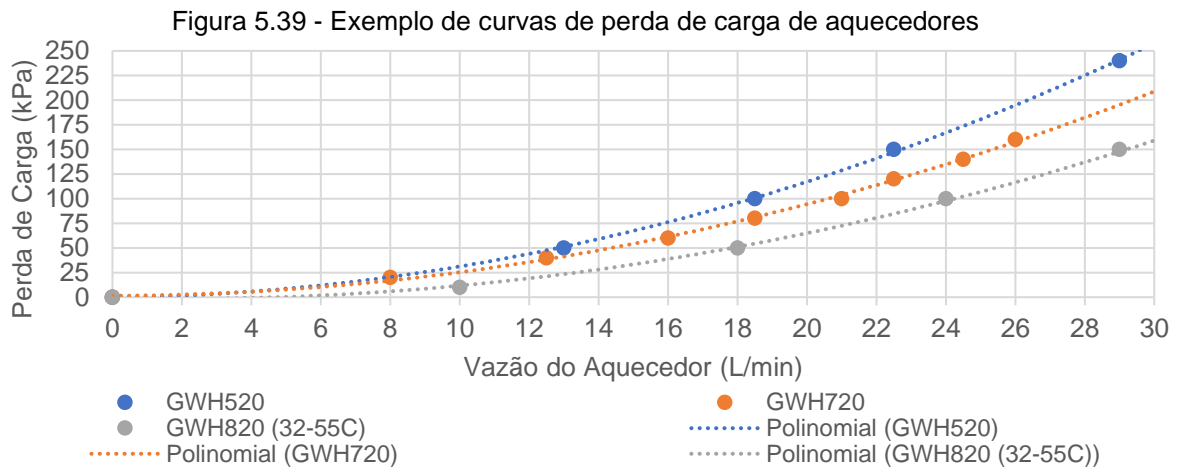
É necessário ressaltar que, em diversos sistemas, a temperatura da água quente apresenta variações consideráveis dependendo da demanda em um determinado momento ou da disponibilidade de energia, como no caso de sistemas de aquecimento solar. Um perfil de variação de temperatura da água quente durante o dia está apresentado na Figura 5.38, retirada de um estudo de caso elaborado por Chaguri (2009).

Figura 5.38 - Comportamento da temperatura da água quente ao longo do dia



Fonte: Chaguri (2009).

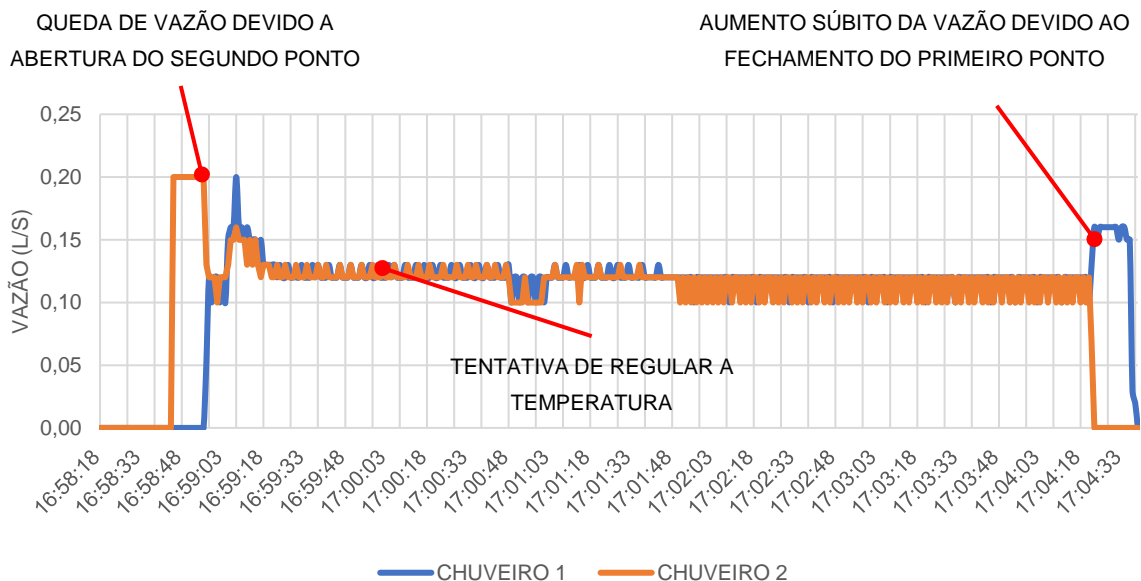
De maneira análoga, a pressão dinâmica sofre alteração devido a alteração na demanda por água do sistema em um determinado momento, bem como as características próprias do sistema e de seus componentes. Na Figura 5.39, onde a curva de perda de carga de três aquecedores distintos está ilustrada, observa-se o aumento da perda de carga com o aumento da vazão de água.



Fonte: Adaptado de Bosch (2019).

A influência da alteração da demanda por água quente está exemplificada na Figura 5.40, onde a vazão de dois chuveiros instalados no mesmo ramal e alimentados por um aquecedor de passagem foi mensurada em campo. Pode-se observar que a alteração na demanda por água quente causou uma redução considerável na vazão de água misturada, alterando também sua temperatura.

Figura 5.40 - Oscilação da vazão da água misturada devido a alteração da condição de simultaneidade



Fonte: Autor (2021).

Conforme abordado anteriormente, o aumento da temperatura da água quente tende a intensificar esse fenômeno, fazendo com que a oscilação da temperatura da água misturada seja mais acentuada. Ao mesmo tempo, o uso de uma temperatura mais elevada implica no uso de vazões menores de água quente, que tende a reduzir a variação da perda de carga do sistema ao se alterar em caso da alteração da condição de simultaneidade, reduzindo a oscilação de pressão que ocorre.

A melhor solução para essa situação, considerando apenas estes dois fatores, é particular a cada sistema, de modo que não existe uma solução universal para este caso.

Existem diversas maneiras de manter a pressão e a temperatura estabilizadas, desde o uso de pressurizadores com inversores de frequência, válvulas redutoras auto-pilotadas entre outros. Também é possível dimensionar o sistema e escolher os componentes que o integrarão de modo a mitigar esses efeitos. O impacto de cada uma dessas medidas também é diferente dependendo do sistema.

Outra maneira de controlar a temperatura nos pontos de uso é através do uso de misturadores auto-compensadores. Esse tipo de misturador permite um ajuste inicial da perda de carga imprimida em cada um dos ramais, porém o coeficiente de perda de carga singular (K_s) se altera em função da alteração de alguma grandeza do sistema, mantendo a perda de carga igual.

Misturadores que reagem a alterações na temperatura da água são classificados como termostáticos. Misturadores que reagem a alterações na pressão dinâmica são classificados como balanceadores de pressão (*pressure balance valves*). Também existem misturadores controlados pela combinação das duas grandezas. A Figura 5.41 apresenta exemplos de misturadores auto-compensadores.

Figura 5.41 - Exemplos de misturadores auto compensadores: (a) balanceador de pressão para lavatório, (b) termostático para lavatório, (c) balanceador de pressão para chuveiro, (d) termostático para chuveiro



Fonte: TOTO (2019).

Uma vez que esses misturadores não necessitam ser regulados constantemente por agentes externos ao sistema, eles também são comumente encontrados em locais que não são o ponto de uso.

O tempo de resposta das oscilações também deve ser observado. A Tabela 5.9 apresenta um resumo dos critérios definidos pelas normas para válvulas misturadoras reguladas pela *American Society of Sanitary Engineering* (ASSE), sejam elas termostáticas (Tipo T) ou balanceadoras de pressão (Tipo P). Na tabela, T_m é a oscilação máxima permitida para a temperatura da água misturada e t_r é o tempo de resposta do componente, que define o tempo máximo para retorno a temperatura inicial após a oscilação ocorrer. Os intervalos de oscilação correspondem aos valores de pressão (ΔP) e temperatura (ΔT) oscilam durante o teste.

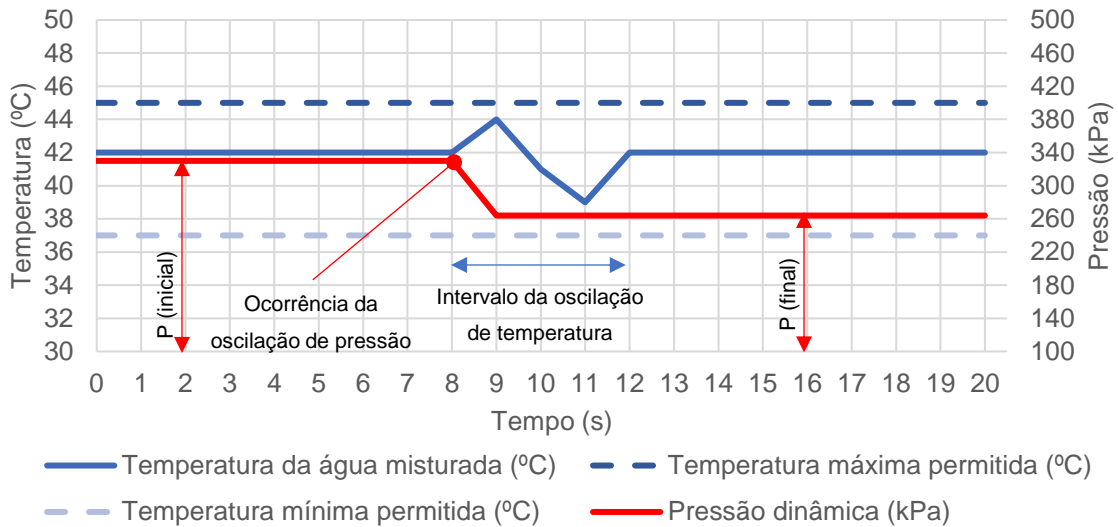
Tabela 5.9 - Tempo de respostas e oscilações permitidas pelas normas ASSE

FUNÇÃO	APLICAÇÃO	NORMA (ASSE)	TIPO	OSCILAÇÃO MÁXIMA DA TEMPERATURA DA ÁGUA MISTURADA		INTERVALO DE OSCILAÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA MISTURADA	
				T_m	t_r	ΔP	ΔT
Misturadores para ponto de uso	Banho	1016	T	+3 °C	5s	+/- 20%	+14 °C
			P	-5 °C	2s	+/- 50%	-
	Lavatório, banheiras, bidês	1062, 1066	T	+2 °C	5s	+/- 20%	+14 °C
			P	+2 °C	2s	+/- 50%	-
Limitadores e estabilizadores de temperatura (apenas para ramais e colunas)	Ramal ou fonte de água quente	1017	T	+1,7 a 3,9 °C	5s	-	+14 °C
	Ramal ou fonte de água misturada	1069	T	-1,7 a 3,9 °C	5s	+/- 20%	+14 °C
				+3 °C			
				-5 °C			

Fonte: ASSE (2016).

A Figura 5.42 apresenta um exemplo da expectativa do resultado da verificação das oscilações que ocorrem em uma válvula termostática para banho, quando sujeita a uma queda de da pressão dinâmica nos sub-ramais abastecidos por ela.

Figura 5.42 - Exemplo de expectativa de comportamento da temperatura da água misturada em válvulas termostáticas



Fonte: Autor (2021).

Nota-se que todos estes componentes necessitam de regulação local, procedimentos de partida e verificação periódica do seu desempenho, fazendo com que o comissionamento do sistema seja de maior importância. Além disso, ressalta-se todos estes componentes trabalham dentro de um intervalo de pressão, vazão e temperatura pré-definidos pelo componente, de modo que o sistema necessita trabalhar dentro dessas faixas ou cria-se o risco de falha no desempenho.

Além disso, a expectativa do usuário envolve o tempo de espera até a temperatura da água atingir o valor desejado. A Tabela 5.10 apresenta os tempos de referência de acordo com a norma da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos - SIA 385/3:1991. A Tabela 5.11 apresenta o tempo máximo de espera até que a água atinja a temperatura em função do ponto de consumo e do nível de desempenho especificado de acordo com a Diretriz 6003:2004 da *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI).

Tabela 5.10 - Tempos de espera de referência de acordo com a SIA 385/3:1991

PONTO DE CONSUMO	TEMPO DE REFERÊNCIA (s)
Lavatório	7 s
Chuveiro	10 s
Pia de cozinha	10 s
Bidê	10 s

Fonte: Hoffman (2012).

Tabela 5.11 - Tempos de espera máximo de acordo com a VDI 6003:2004

PONTO DE CONSUMO DIFERENÇA MÁXIMA PERMITIDA (°C)	TEMPO (S)			TEMPERATURA (°C)
	NÍVEL DE DESEMPENHO			
	I 5°C	II 4°C	III 2°C	
Lavatório	60	18	10	40°C
Chuveiro	26	10	7	42°C
Banheira	26	10	7	45°C
Pia de cozinha	60	18	10	50°C
Bidê	-	15	15	40°C
Banheira de hidromassagem	-	10	10	50°C

Fonte: Hoffman (2012).

Atualmente, não há nenhum requisito relativo a esse assunto nas normas técnicas vigentes no Brasil (ABNT, 2020a). Ao mesmo tempo, é necessário ressaltar que, de acordo com Hoffman (2012), o assunto ainda carece de pesquisas para permitir maior precisão durante a etapa de projeto do sistema.

Isso ocorre uma vez que a água quente, que perde calor durante o período entre usos do sistema, precisa ser escoada antes da água aquecida chegar até o ponto. Além disso, durante o escoamento, a água aquecida tende a trocar calor com o tubo, fazendo com que o volume total que necessita ser escoado antes da água atingir a temperatura seja maior que o volume interno do ramal.

Estudos realizados por Klein (2013) apontam que tanto a vazão do quanto o comprimento do ramal têm influência no tempo de espera. De acordo com o autor, em vazões baixas ocorre uma estratificação considerável da água quente, fazendo com que a temperatura não seja uniforme.

Atualmente, a prática de projeto mais comum é determinar uma vazão máxima e uma pressão dinâmica mínima para os pontos de consumo, em especial os menos favoráveis. Essa abordagem, mesmo que não seja incorreta, deixa de observar o comportamento do sistema quando ele trabalha com vazões baixas.

Tendo isso em consideração, o projeto deveria especificar tanto os valores máximos quanto os valores mínimos para cada uma das grandezas principais do sistema de distribuição, além dos meios e medidas empregadas para mantê-las estáveis dentro dos limites estabelecidos.

Nessas faixas o sistema deve apresentar o desempenho esperado, ou seja, fornecer água quente de maneira estável, sem variações acima do esperado na vazão e na temperatura da água misturada, e em um intervalo de tempo aceitável para o início da execução da atividade ou processo consumidor em questão.

5.2.10.1.1 *Estudo de caso da verificação em campo da vazão de água em condições de simultaneidade*

Como exemplo para esse critério, o estudo de campo a seguir foi conduzido em uma edificação na cidade de São Paulo, onde, após a entrega das unidades, a incorporadora e a construtora receberam diversas reclamações sobre o desempenho do sistema predial de água quente e fria, em especial sobre a vazão dos chuveiros.

O sistema de água quente da edificação é composto por um sistema central coletivo para o pré-aquecimento da água com aquecedores de passagem a gás nas unidades para obter a temperatura final desejada. Observa-se que o sistema central coletivo não foi entregue operante e essa tipologia foi escolhida para permitir a instalação de um sistema de aquecimento solar no futuro.

Inicialmente, o subsistema de distribuição de água quente era composto por quatro zonas de pressão, sendo uma pressurizada por bombas localizadas na cobertura (zona pressurizada), uma alimentada diretamente pelos reservatórios (zona gravitacional) e duas alimentadas por estações redutoras de pressão (zonas reduzidas). Na Tabela 5.12 está apresentado o esquema do sistema instalado inicialmente.

Tabela 5.12 - Distribuição de água quente na edificação

PAVIMENTO	ZONA
25 - 20	Pressurizada (P)
19 - 14	Gravitacional (G)
13 - 4	Reduzida 1 (R1)
3 - Térreo	Reduzida 2 (R2)

Fonte: Autor (2021).

Tanto o sistema de água quente quanto o de água fria possuem previsão para instalação de hidrômetros individuais na entrada de cada unidade, que não foram instalados na entrega, nem estavam instalados durante a avaliação.

Ressalta-se que as unidades não foram entregues com os chuveiros e aquecedores instalados, ficando a cargo dos moradores a aquisição destes posteriormente. Devido a isso, a incorporadora solicitou ao projetista as informações necessárias para a escolha dos chuveiros e aquecedores. As premissas de projeto adotadas foram uma vazão máxima do chuveiro de 12 L/min, sendo 10 L/min de água quente a 43°C, 2 L/min de água fria a 20°C, considerando 2 chuveiros funcionando ao mesmo tempo. Devido a isso, a equipe de projeto adotou uma capacidade mínima do aquecedor de 23 L/min.

A especificação incorreu em um alto volume de reclamações e, após a constatação visual do problema pelo departamento de assistência técnica, a construtora fez uma primeira alteração no sistema. As unidades presentes nos andares que possuíam a menor pressão dinâmica, localizadas no final do barrilete da zona reduzida, passaram ser abastecidas pela zona gravitacional. Devido à limitação de pressão exigida pela norma técnica, foram adicionadas válvulas redutoras de pressão nos andares destas unidades, conforme demonstrado na Figura 5.43 na Figura 5.44.

Figura 5.43 - Válvulas redutoras de pressão instaladas nos andares

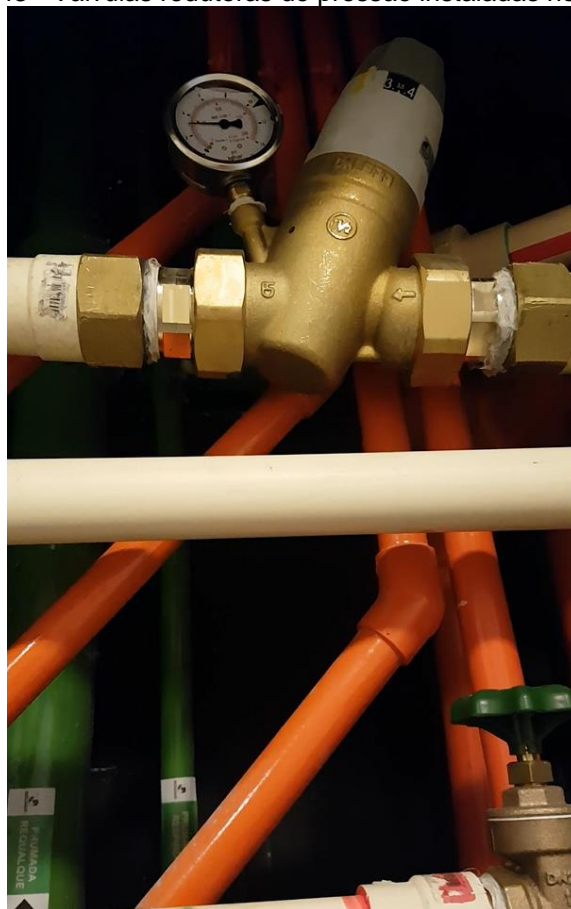
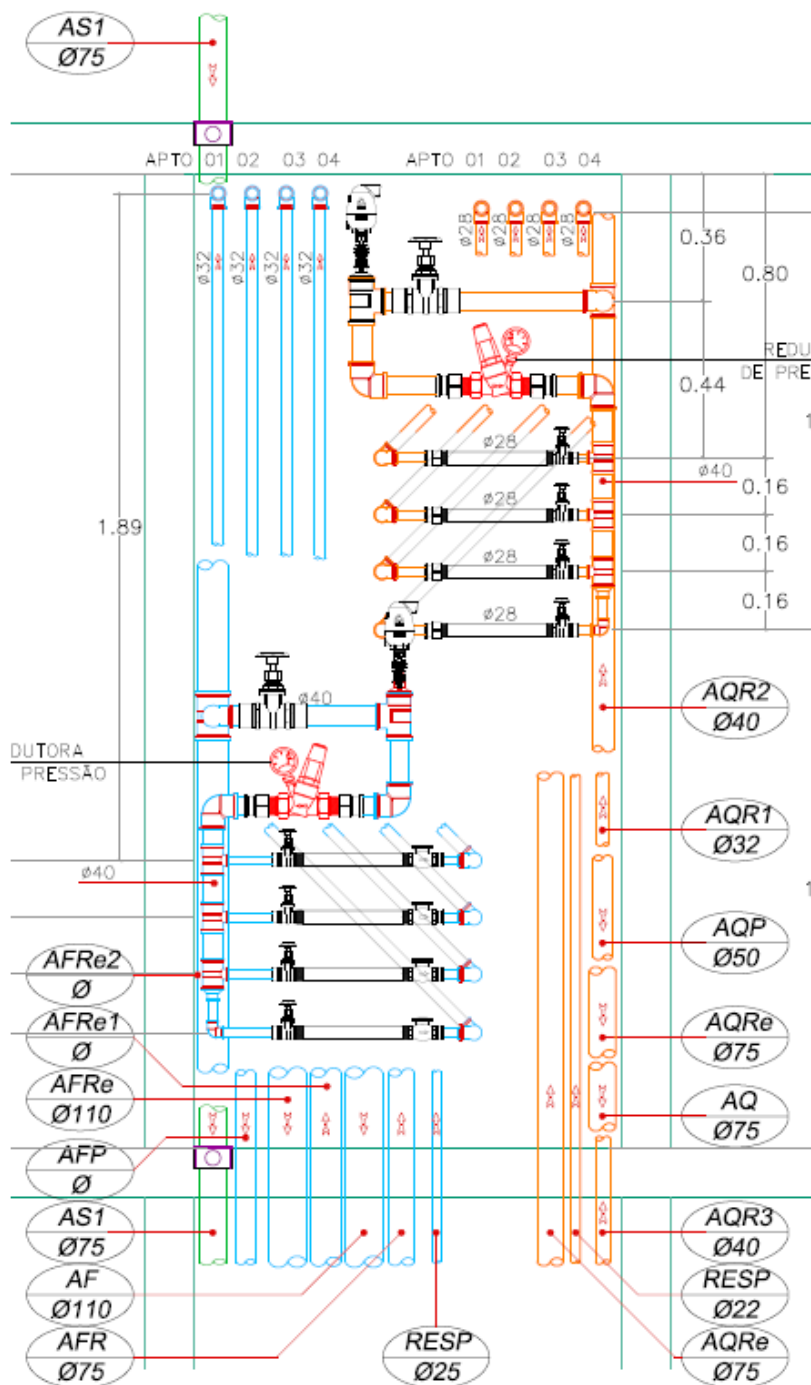


Figura 5.44 - Válvulas redutoras de pressão instaladas nos andares - projeto



Fonte: Autor (2021).

A alteração teve como propósito aumentar a pressão estática das unidades e, conseqüentemente, a pressão dinâmica disponível. Essa solução foi dada sem o entendimento do problema de forma global e os moradores continuaram a reclamar sobre o desempenho do sistema. Devido a isso, a construtora e a incorporadora

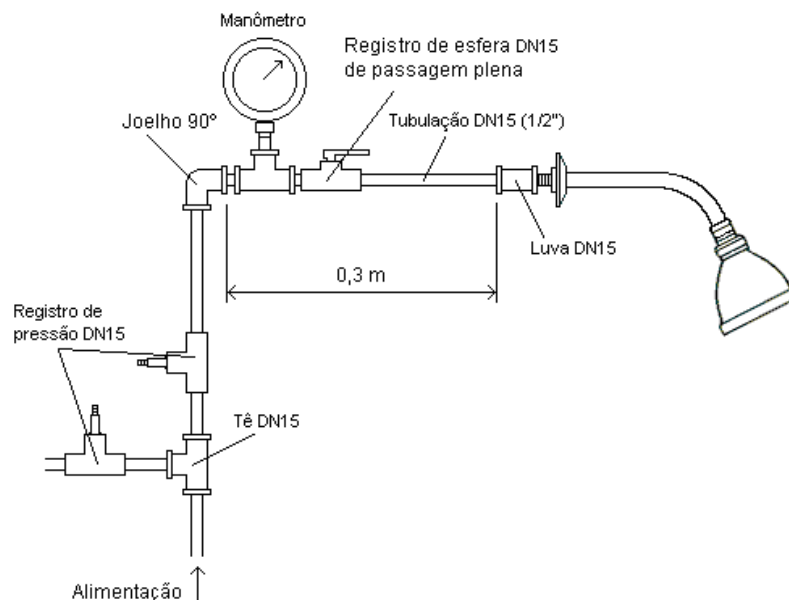
decidiram investigar as ocorrências para determinar a causa do problema e as ações a serem tomadas.

Dentro deste tópico, é necessário ressaltar que não existem métodos normalizados para a verificação da pressão dinâmica do sistema na norma técnica de sistemas prediais de fria e quente (ABNT, 2020a), o que dificulta a verificação do atendimento a este requisito. Desse modo, foi necessário desenvolver um método de verificação para aplicação em campo.

O método foi desenvolvido com base na norma NBR 15206 (ABNT, 2005), que especifica os requisitos de desempenho para chuveiros e duchas. A norma possui um método de ensaio para determinação da vazão do componente quando sujeito a pressão dinâmica mínima especificada pela norma técnica.

Ressalta-se que os critérios mínimos exigidos pela norma não serão empregados para o método de verificação aqui descrito, uma vez que os requisitos de projeto estabelecidos não são os requisitos mínimos do componente. A Figura 5.45 apresenta a bancada de teste proposta pela norma para verificação da vazão mínima e da pressão mínima.

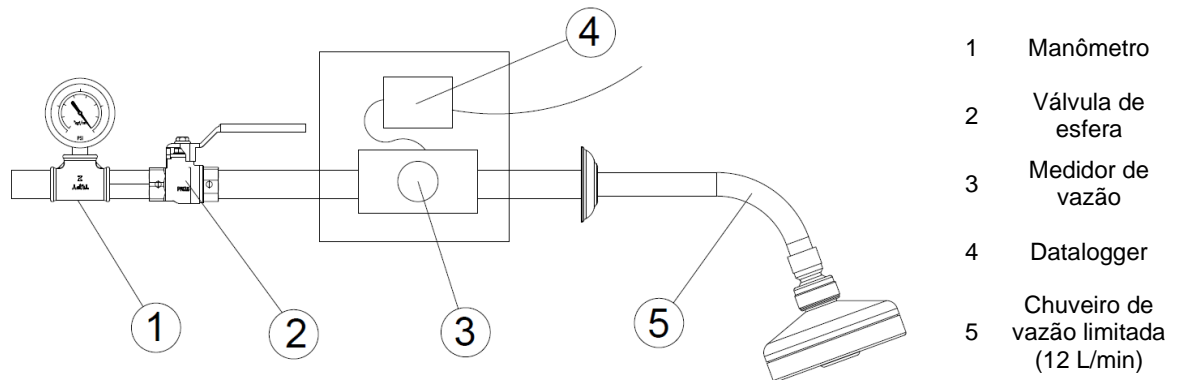
Figura 5.45 - Bancada de teste prescrita pela NBR 15206 para verificação da vazão mínima de operação de chuveiros



Fonte: NBR 15206 (ABNT, 2005).

Adaptando a bancada a uma aplicação em campo, o sistema de medição ilustrado na Figura 5.46 foi desenvolvido para verificar a pressão dinâmica nos pontos de consumo críticos, bem como a vazão dos equipamentos sanitários instalados.

Figura 5.46 - Desenho esquemático dos componentes empregados no sistema de medição



Fonte: Autor (2021).

Inicialmente um sensor de temperatura eletrônico foi empregado para aferir a temperatura nos pontos de consumo, porém devido a problemas de compatibilidade com o sistema de armazenamento de dados (*datalogger*) durante a etapa de campo, ele foi retirado da aparelhagem e a temperatura foi medida com um termômetro eletrônico de haste nos pontos de consumo.

Idealmente, as pressões e a temperatura poderiam ser medidas por sensores eletrônicos e em tempo real para verificação dos dados em conjunto com os valores de vazão. Sugere-se que isso seja feito em trabalhos posteriores. Na Figura 5.47 a instalação em campo está demonstrada.

Figura 5.47 - Aparelhagem instalada em campo



Fonte: Autor (2021).

Adicionalmente, foram instalados manômetros na entrada e na saída do aquecedor para verificar a pressão disponível na entrada na unidade nas condições previstas, conforme demonstrado na Figura 5.48.

Figura 5.48 - Manômetros instalados na saída do aquecedor



Fonte: Autor (2021).

Nos andares que apresentaram reclamações e as válvulas redutoras de pressão foram instaladas, o funcionamento das válvulas foi avaliado através da observação da pressão dentro das vazões de projeto previstas.

A verificação em campo foi feita considerando os requisitos de projeto estabelecido pelo incorporador e os requisitos normativos, bem como as informações descritas na Manual de Operação entregue aos moradores. Os testes foram feitos nas unidades dos pavimentos críticos (menor pressão estática) e naquelas que apresentaram maior volume de reclamações. Os resultados estão dispostos na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Resultado dos ensaios com temperatura de água quente a 43°C (continua)

PAV.	AQUECEDOR	PONTO DESF.		PONTO FAV.		ALIMENTAÇÃO			ATENDE? (S/N)
		Q (L/s)	Pd (kPa)	Q (L/s)	Pd (kPa)	CAVALETE (kPa)	ENTRADA AQ (kPa)	SAÍDA AQ (kPa)	
01 (RR)	AQ 23L (43°C)	0,1551	75	0,1643	75	290	250	110	N
05 (R)	AQ 23L (43°C)	0,1334	50	0,1289	40	-	150	70	N

Fonte: Autor (2021).

Tabela 5.13 - Resultado dos ensaios com temperatura de água quente a 43°C (conclusão)

PAV.	AQUECEDOR	PONTO DESF.		PONTO FAV.		ALIMENTAÇÃO			ATENDE? (S/N)
		Q (L/s)	Pd (kPa)	Q (L/s)	Pd (kPa)	CAVALETE (kPa)	ENTRADA AQ (kPa)	SAÍDA AQ (kPa)	
07 (R)	AQ 26L (43°C)	0,1174	40	0,1095	40	-	110	60	N
08 (R)	AQ 23L (43°C)	0,1172	40	0,0908	40	-	110	50	N
14 (G)	AQ 23L (42°C)	0,1559	75	0,1357	60	-	350	140	N
25 (P)	AQ 23L (43°C)	0,1387	40	0,1538	50	-	190	125	N

Fonte: Autor (2021).

Nota-se que as unidades avaliadas teste não atendem aos critérios estabelecidos em condição de simultaneidade, mesmo com pressões elevadas na entrada. Os resultados apontam que existe uma queda acentuada na pressão dinâmica medida a jusante do aquecedor, seguida por uma queda da pressão dinâmica a jusante do misturador.

Tendo isso em vista, nota-se que, aparentemente, houve erros na fase de projeto. A seleção do aquecedor deve ser feita pela potência útil que é necessária para aquecer a água, uma vez que a vazão fornecida pelos fabricantes de aquecedores é a vazão de água misturada, não a vazão de água quente. Logo, desconsiderando as tolerâncias empregadas para a verificação em campo, aquecedores de 23 L/min não deveriam possuir potência suficiente para suprir dois pontos de consumo de 12 L/min.

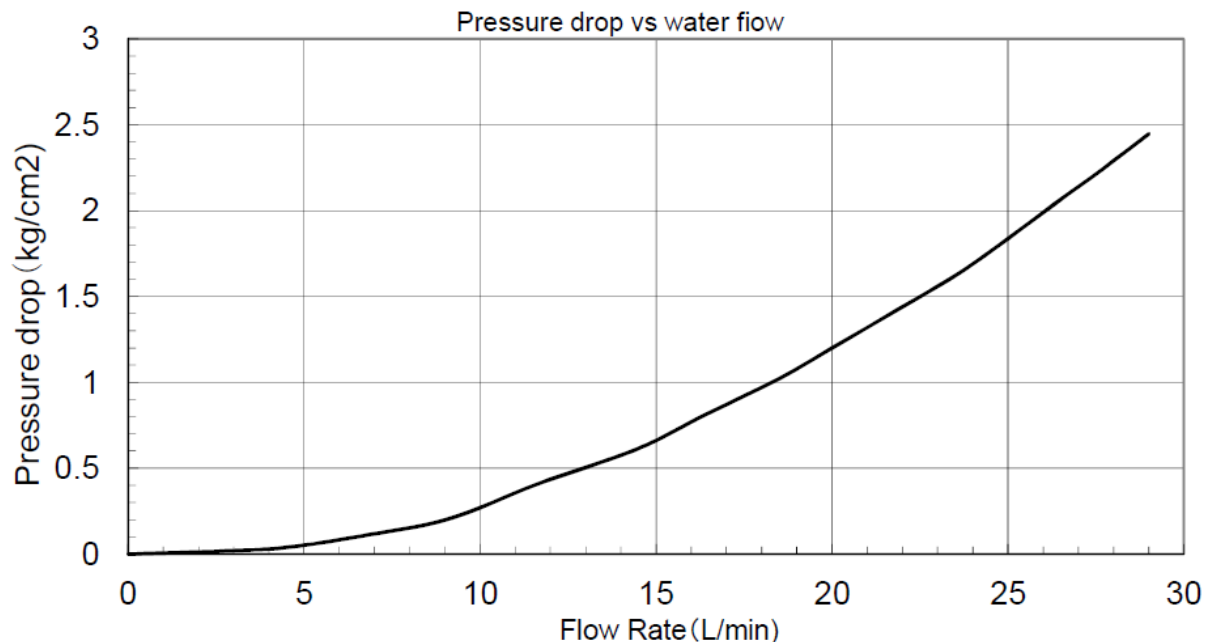
Além disso, a especificação de uma proporção de mistura não deveria ser feita, uma vez que essa grandeza está relacionada às características próprias do aquecedor, não do sistema. Diversos aquecedores de passagem só atingem a potência especificada quando operam com temperaturas superiores a especificada.

A especificação de uma temperatura baixa para a água quente incorre em uma vazão de água quente alta e, conseqüentemente, uma maior perda de carga nos aquecedores.

Também foi verificado que o projeto adotou como premissa uma perda de carga máxima para o aquecedor de passagem de 100 kPa. Nota-se que a perda de carga

varia consideravelmente, superando o valor estabelecido em vazões inferiores a vazão de água quente estabelecida, conforme exemplificado na Figura 5.49.

Figura 5.49 - Curva de perda de carga para o modelo de aquecedor especificado



Fonte: Bosch (2019).

Verifica-se também que a NBR 8130 (ABNT, 2004), que normaliza os aquecedores instantâneos a gás, não especifica nenhum requisito ou método de ensaio para a verificação da perda de carga. A curva apresentada na Figura 5.49 foi obtida com o fabricante, que não especificou o método de ensaio empregado para obtenção dos valores.

Observa-se que em alguns casos houve uma diferença considerável entre os dados fornecidos pelos fabricantes e obtidos em campo. Parte da diferença pode ter ocorrido devido a erros de leitura durante o teste, porém é provável que o método de ensaio do fabricante seja diferente do método de ensaio empregado. Até o término da pesquisa, não foi possível obter uma resposta sobre este assunto em particular.

Esse item é crítico, pois uma diferença entre os resultados previstos em projeto e obtidos na verificação de campo implica que a previsibilidade do comportamento futuro do sistema na fase de projeto está comprometida.

Considerando que a troca do aquecedor por um modelo de maior potência poderia ser uma das soluções, foram feitos testes com aquecedores de 36 L/min em algumas unidades. Os resultados estão presentes na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Resultado dos ensaios com temperatura de água quente a 43°C e aquecedor de 36L/min

PAV.	AQUECEDOR	PONTO DESF.		PONTO FAV.		ALIMENTAÇÃO			ATENDE? (S/N)
		Q (L/s)	Pd (kPa)	Q (L/s)	Pd (kPa)	CAVALETE (kPa)	ENTRADA AQ (kPa)	SAÍDA AQ (kPa)	
02 (RR)	AQ 36L (43°C)	0,1603	60	0,1732	75	250	250	140	N
18 (PR)	AQ 36L (43°C)	0,2157	170	0,2042	160	330	320	240	S

Fonte: Autor (2021).

Observa-se que os resultados obtidos não foram satisfatórios em uma pressão de 250 kPa. Considerando que o sistema em questão possui unidades que operam com pressões iguais ou inferiores a este valor, a solução não atende aos critérios estabelecidos.

Outra solução proposta foi aumentar a temperatura da água quente, de modo a reduzir a vazão de água quente e, conseqüentemente, a perda de carga do aquecedor. A Tabela 5.15 possui os resultados dos ensaios com uma temperatura de 60°C.

Tabela 5.15 - Resultado dos ensaios com temperatura de água quente a 60°C

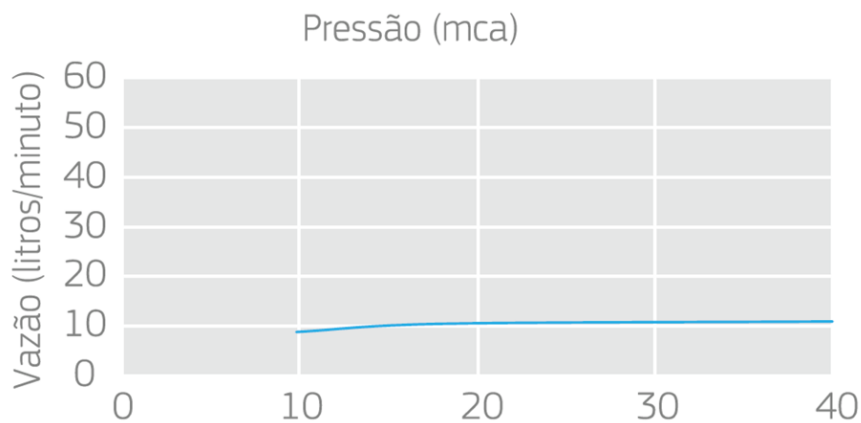
PAV.	AQUECEDOR	PONTO DESF.		PONTO FAV.		ALIMENTAÇÃO			ATENDE? (S/N)
		Q (L/s)	Pd (kPa)	Q (L/s)	Pd (kPa)	CAVALETE (kPa)	ENTRADA AQ (kPa)	SAÍDA AQ (kPa)	
05 (R)	AQ 23L (60°C)	0,1965	160	0,1805	140	-	240	200	S
07 (R)	AQ 26L (60°C)	0,1822	110	0,1796	110	-	150	120	S
14 (G)	AQ 23L (60°C)	0,2156	280	0,1948	270	-	400	300	S
25 (P)	AQ 23L (60°C)	0,1896	120	0,2112	130	-	190	140	S

Fonte: Autor (2021).

Com os resultados do teste, verificou-se que o aumento da temperatura fez com que o critério de vazão fosse atendido mesmo em pressões mais baixas. Infelizmente não foi possível fazer o teste no 8º pavimento (seção crítica) devido a problemas de agendamento com os moradores.

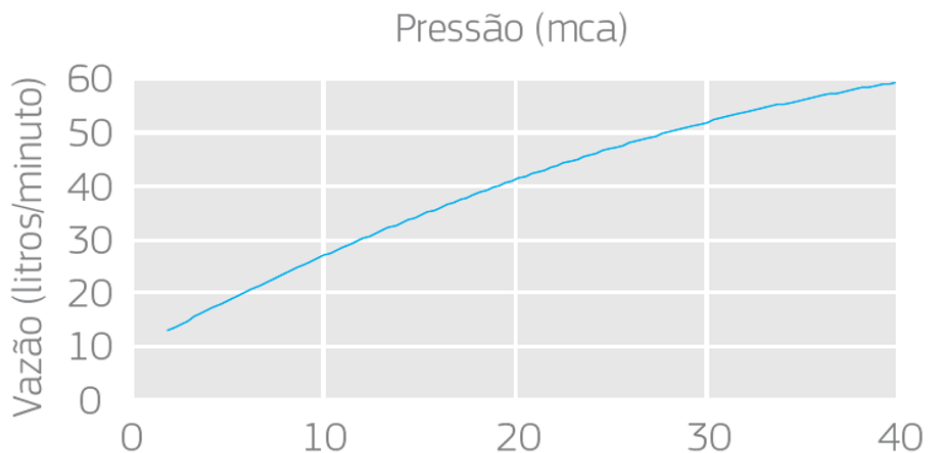
Observou-se que a exigência de vazões máximas de 12 L/min no ponto de consumo teve diversas consequências. Devido a tecnologia empregada pelos fabricantes para a limitação de vazão dos chuveiros, a pressão mínima no ponto para obtenção da vazão especificada é de 100 kPa, uma vez que com pressões dinâmicas inferiores a esse valor a vazão obtida é inferior a especificação. As Figuras 5.50 e 5.51 apresentam, como exemplo, as curvas de vazão de um mesmo chuveiro com e sem restritores de vazão constante instalados.

Figura 5.50 - Curvas de vazão para o chuveiro 1990.C com restritor de vazão



Fonte: Deca (2019).

Figura 5.51 - Curvas de vazão para o chuveiro 1990.C sem restritor de vazão



Fonte: Deca (2019).

Desse modo, uma das soluções para aumentar a vazão nos pontos seria a remoção dos restritores de vazão dos chuveiros, fazendo com que os componentes sejam capazes de fornecer uma vazão igual ou superior a especificada em pressões dinâmicas mais baixas.

Ao mesmo tempo, a remoção dos limitadores de vazão tende a incorrer em outros problemas, uma vez que componentes sem esse tipo de tecnologia possuem vazões de trabalho mais amplas, fazendo com que a vazão supere o valor máximo estabelecido mesmo em pressões dinâmicas baixas.

Nota-se que, para dimensionamento do sistema, a equipe de projeto considerou inicialmente uma vazão de 8 L/min para os chuveiros devido ao sistema de aquecimento solar. De acordo com a incorporadora e com a construtora essa vazão foi alterada durante uma reunião para 12 L/min por solicitação da incorporadora.

De acordo com a equipe de projeto essa solicitação não foi feita e não foram encontrados nenhum tipo de registro ou comunicação sobre essa alteração antes do início das reclamações. Desse modo, é provável que a maioria dos problemas tenham sido causados pela falta de comunicação entre os participantes, em especial nessa fase.

No final do processo, foi possível observar que, mesmo não havendo uma patologia ou não conformidade expressa, houve uma certa insatisfação da parte da incorporadora e dos moradores com o desempenho do sistema. Deve-se lembrar que tanto a temperatura da água quente e a vazão máxima do chuveiro foram explicitadas no Manual de Uso e Operação, o que causou diversos problemas com os moradores. Mesmo tendo sido explicado que o aumento de temperatura não tende a incorrer em um aumento considerável do consumo de gás combustível nesse caso em particular, houve moradores que exigiram reparações financeiras e medidas corretivas adicionais.

Outrossim, a construtora e a equipe de projeto tiveram custos adicionais de retrabalho e alterações no sistema, que poderiam ter sido evitados por meio de um processo claro para estabelecer:

- a) um canal de comunicação clara entre os diversos participantes, incluindo o rastreamento de alterações e exigências;
- b) os requisitos de desempenho, bem como critérios a serem atendidos;
- c) um método de verificação das soluções empregadas para atender aos critérios estabelecidos na fase de projeto (BoD), inclusive com verificação do projeto por pares;

- d) o desenvolvimento de um plano de verificação durante a execução da obra, incluindo o uso de métodos de verificação dos critérios antes e após a entrega das unidades (PCx)
- e) a verificação dos manuais de operação, de modo a determinar se as informações presentes são pertinentes;
- f) o treinamento da equipe de assistência técnica para solução de problemas em campo.

Nota-se que todas essas medidas são presentes no comissionamento. Outrossim, para a solução do problema em questão, foi necessário fazer o processo de pelo caminho inverso, uma vez que os problemas de desempenho já haviam ocorrido.

Mesmo assim, após o término dos testes é possível constatar que existem problemas latentes. O dimensionamento dos ramais do sistema foi feito pelo Método dos Pesos, que para o projeto em questão, tende a incorrer em um superdimensionamento considerável das vazões de projeto. Além disso, para a especificação do hidrômetro foi considerado apenas uma vazão equivalente a 2 chuveiros funcionamento simultaneamente com uma temperatura da água quente de 43°C, sem um método de cálculo propriamente estabelecido.

5.2.11 Proteção sanitária da água potável

O sistema de água fria e sistema de água quente tem como função prover água potável para o usuário executar as atividades consumidoras. O padrão de potabilidade da água é definido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5 de 28/09/2017 (ANVISA, 2017), que consolidou o conteúdo de diversos aspectos relacionados a saúde humana em uma portaria única.

Nota-se que, de acordo com a portaria, a definição de água potável é atender ao padrão de potabilidade estabelecido sem oferecer riscos à saúde, e portaria também cita a existência de padrões organolépticos, que são um “conjunto de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde” (ANVISA, 2017).

Nota-se, novamente, que a regulamentação se baseia em requisitos mínimos, que pode estar aquém aos desejados pelos proprietários e usuário do sistema e da edificação.

Também é necessário notar que a portaria se aplica, principalmente, as fontes de abastecimento de água, uma vez que as características do sistema predial não são observadas pelo documento. Nesse ponto, é necessário notar que as características do sistema têm influência direta no padrão de potabilidade da água.

Os riscos sanitários relativos ao sistema água quente estão diretamente relacionados aos riscos do sistema de água fria, uma vez que ambos os sistemas geralmente são abastecidos pela mesma fonte de água e possuem interligações entre si.

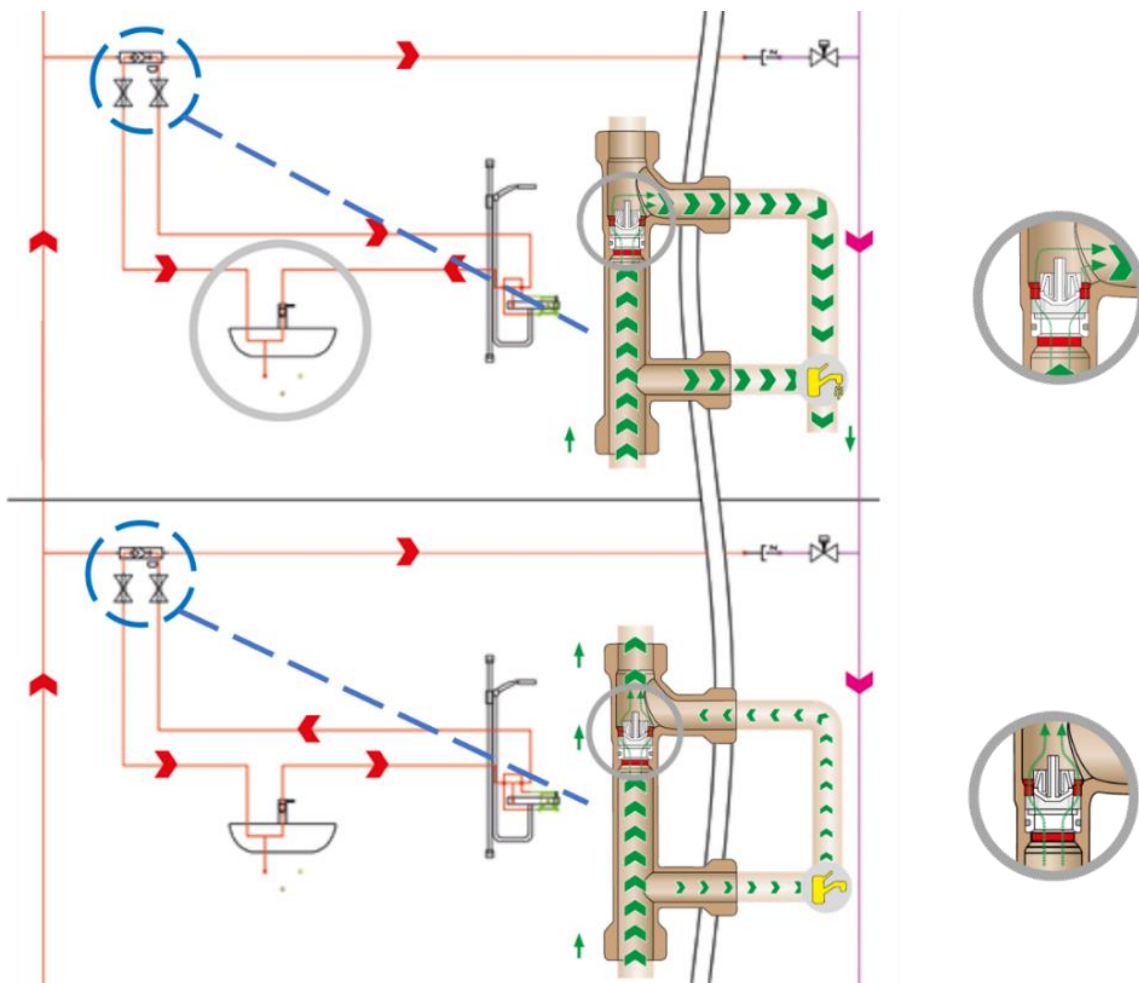
Por exemplo, o superdimensionamento do reservatório de água fria pode incorrer na perda de cloro livre por evaporação, fazendo com que a potabilidade da água de ambos os sistemas seja comprometida. O uso de respiros coletivos para reduzir a possibilidade de retrossifonagem também pode incorrer na criação de um trecho sem renovação de água, ou seja, um trecho morto.

Nos sistemas de água quente e nos sistemas de água fria, a estagnação e a falta de renovação da água são fatores importantes para a redução da qualidade da água do sistema. Idealmente, a água deveria recircular por todo o sistema, de modo que nenhum trecho fique sujeito a estagnação.

Um exemplo dessa situação está ilustrado na Figura 5.52, que emprega um componente para dividir o fluxo (*flowsplitter*) entre os ramais de recirculação. Nesse caso, parte da água circula pelo ramal de recirculação principal (roxo) e parte pelo ramal de recirculação secundário (laranja), que abastece os sub-ramais. O componente em questão é autoajustável para impedir o retorno de água e prover a vazão necessária para o ponto de consumo.

Além disso, devido ao abastecimento do ponto por dois tubos ao invés de apenas um, a vazão de cada um dos ramais ligados ao ponto é menor, permitindo a redução do diâmetro de cada um deles. Nota-se que o sistema inteiro necessita ser projetado em forma de anéis de recirculação para a solução ser eficaz.

Figura 5.52 - Esquema de sistema de recirculação total para prevenir estagnação de água

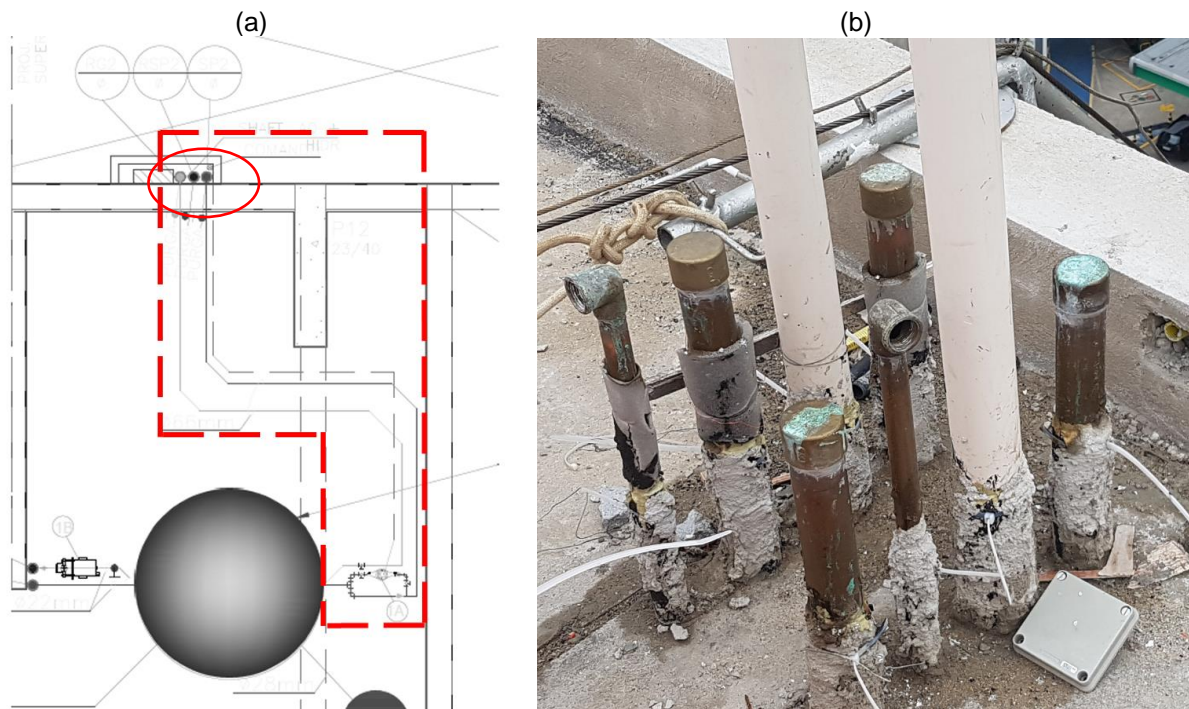


Fonte: adaptado de Kemper e Geberit (2019).

Outro exemplo comum são sistemas de água quente que possuem previsão para instalação futura de sistemas de aquecimento solar. Nesse caso, o sistema deve ser projetado de modo a reduzir os comprimentos dos trechos que ligam o sistema instalado na entrega com a previsão de onde as placas solares podem ser instaladas no futuro.

Na Figura 5.53 está apresentado um caso em que o projeto previa a instalação futura de um sistema de aquecimento solar. As tubulações a serem instaladas estão marcadas em vermelho na figura. A construtora decidiu instalar parte da tubulação que tem como função conectar as placas no reservatório térmico e fazer a furação da laje da cobertura com o intuito de facilitar a instalação do sistema no futuro. Infelizmente, devido ao comprimento da tubulação, inadvertidamente, criou-se um trecho morto de cerca de 8 metros em cada uma das tubulações.

Figura 5.53 - Exemplo de sistema de água quente com previsão de instalação de aquecimento solar com trechos mortos em (a) projeto e (b) execução



Fonte: Autor (2021).

Outro ponto a ser considerado é a contaminação do sistema de água quente por agentes externos, a exemplo de sistemas de água não potável. Devido a demanda por um menor consumo de água, esse sistema tem se tornado mais comum nas edificações. Um dos maiores riscos sanitários que envolvem a presença desse sistema é o risco de conexões cruzadas, ou seja, uma ligação direta entre o sistema de água não potável e o sistema de água quente.

A ocorrência de conexões cruzadas ocorre, principalmente, nas fases de execução e operação, mesmo com indicações específicas em projeto. A NBR 16783 (ABNT, 2019b) exige que a pressão do sistema de água fria e quente seja sempre superior que a pressão estática do sistema de água não potável, de modo a reduzir o risco de contaminação do sistema de água potável. Nota-se que essa medida auxilia a reduzir a contaminação, uma vez que a pressão superior do sistema de água potável faria com que a água potável invadisse o sistema de água não potável e não o inverso. Porém, uma vez que as pressões dinâmicas dos sistemas são variáveis e independentes, a medida não é infalível.

Uma maneira simples de verificar a existência de conexões cruzadas é a verificação da pressão dos dois sistemas em condição estática, uma vez que elas não podem ser

iguais. Também é possível pressurizar um dos sistemas e verificar se a pressão do outro sofre alteração. Qualquer sinal de elevação da pressão implica na existência de uma conexão cruzada.

Além disso, a proteção sanitária da água potável dos sistemas prediais de água quente necessita de cuidados adicionais a da água fria devido a possibilidade da proliferação de bactérias do tipo *Legionella*.

De acordo com Freije (1996), este tipo de bactéria se reproduz na água em temperaturas entre 20°C e 50°C, sendo que a temperatura ideal para sua reprodução é de 35°C a 45°C, porém elas não sobrevivem em temperaturas inferiores ou superiores a estes níveis, conforme descrito na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Efeito da temperatura em bactérias do tipo *Legionella*.

TEMPERATURA (°C)	EFEITO NAS BACTÉRIAS DO TIPO <i>LEGIONELLA</i>
< 20	Podem sobreviver, porém ficam em estado dormente
50	Podem sobreviver, porém deixam de se reproduzir
55	Morrem após 5 a 6 horas
60	Morrem após 32 minutos
65	Morrem em 2 minutos
70	Morrem instantaneamente

Fonte: adaptado de Freije (1996).

Na Tabela 5.16 é possível observar que uma das maneiras mais eficazes de evitar a proliferação das bactérias deste tipo nos sistemas prediais de água quente é o aumento da temperatura da água quente. Ao mesmo tempo, o aumento da temperatura da água quente pode incorrer em maior oscilação de temperatura, bem como uma perda considerável na eficiência energética do sistema de água quente e, em condições mais extremas, causar o esaldamento do usuário.

Além disso, ainda não existe um consenso sobre qual seria a temperatura ideal para uma operação segura e eficiente do sistema. Isso ocorre, principalmente, porque existem diversas variáveis que também contribuem para a proliferação deste tipo de bactéria nas tubulações e componentes, como a presença de trechos do sistema com pouco ou nenhum uso (trechos estagnados), a formação de biofilme nos tubos, além dos materiais dos componentes do sistema predial e as características físico-químicas da água. Além disso, existem diversas medidas que auxiliam a mitigar os riscos, como

a desinfecção térmica ou química dos componentes feitas de maneira periódica e sistemática durante a vida útil da edificação.

A prevenção do risco de legionelose nos sistemas prediais de água fria e quente é abordada pela NBR 16824 (ABNT, 2020d), que estabelece os métodos para gerenciamento de risco e práticas para a prevenção de legionelose associada aos sistemas prediais coletivos de água de edificações.

A norma em questão aborda a necessidade de um programa de Análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) para determinação dos riscos de legionelose e possui as medidas que devem ser tomadas para cada tipo de sistema.

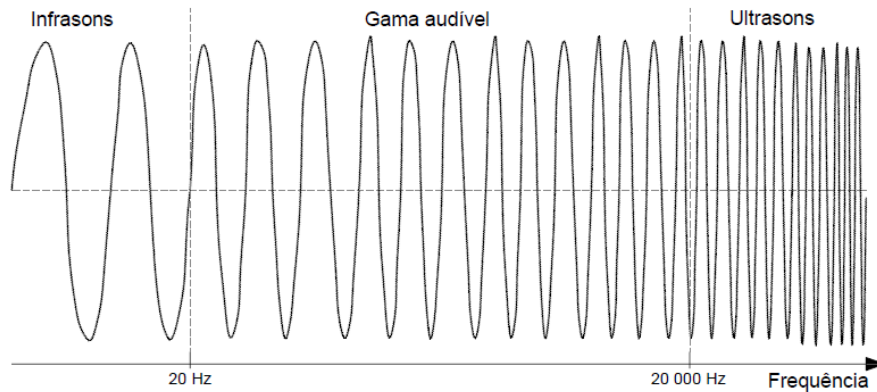
No caso da existência de riscos, deve-se adotar medidas na fase de projeto, execução e operação do sistema para evitar a contaminação do sistema. No caso de contaminação, as medidas que devem ser tomadas também são descritas na norma, a exemplo de procedimentos de desinfecção térmica e química, bem como o uso de filtros específicos nos pontos de uso.

Devido à complexidade do tema e suas particularidades, bem como pela interação com diversos outros sistemas, os critérios necessitam desenvolvidos de acordo com a APPCC da edificação e do sistema em questão, o que impede o desenvolvimento de critérios e métodos de verificações gerais para o comissionamento desse requisito.

5.2.12 Desempenho acústico

O som é um fenômeno físico, descrito como um movimento ondulatório de partículas sobre um meio que causa uma alteração da pressão sonora de um ambiente. Sons podem ser audíveis ou não, sendo que para a maioria dos seres humanos, a faixa audível é de 20Hz a 20 kHz e a variação da pressão atmosférica, causada pelo movimento ondulatório, deve ser superior a 2×10^{-5} Pa (BISTAFA, 2006). Na Figura 5.54 está ilustrada a gama de sons e o alcance da audição humana.

Figura 5.54 - Gamas de frequência: infrassons, audível, ultrassom



Fonte: Mateus (2008).

Nota-se que essa faixa é consideravelmente ampla e que o ser humano não percebe os sons de maneira linear, logo a unidade Decibel (dB) é empregada por ter uma característica logarítmica. De maneira geral, o Nível de Pressão Sonora (NPS) pode ser calculado em função da Equação 6, em que 0 dB equivale a ao limite inferior da capacidade auditiva humana.

$$NPS = 10 \cdot \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

NPS é o nível de pressão sonora (dB);

p é a pressão medida (Pa);

p_0 é a pressão de referência do limite inferior da capacidade auditiva humana, que é 2×10^{-5} Pa.

Os ruídos, de acordo com Gerges (1992), são interpretações humanas e subjetivas sobre sons indesejados, logo são sujeitos a interpretação do receptor. Ruídos tendem a ser indesejáveis e desagradáveis ao receptor e podem incorrer em danos à saúde do ouvinte, ao meio ambiente e a edificação (MURGEL, 2007). A exposição contínua de pessoas a níveis de pressão sonora indesejadas pode ocasionar diversos problemas, tais como perda de concentração, dores de cabeça, palpitações, infarto e insônia (WHO, 1999). Em níveis mais elevados que 120 dB ele incorre em dor física e possível perda da capacidade auditiva, dependendo do tempo de exposição do receptor (WHO, 1999).

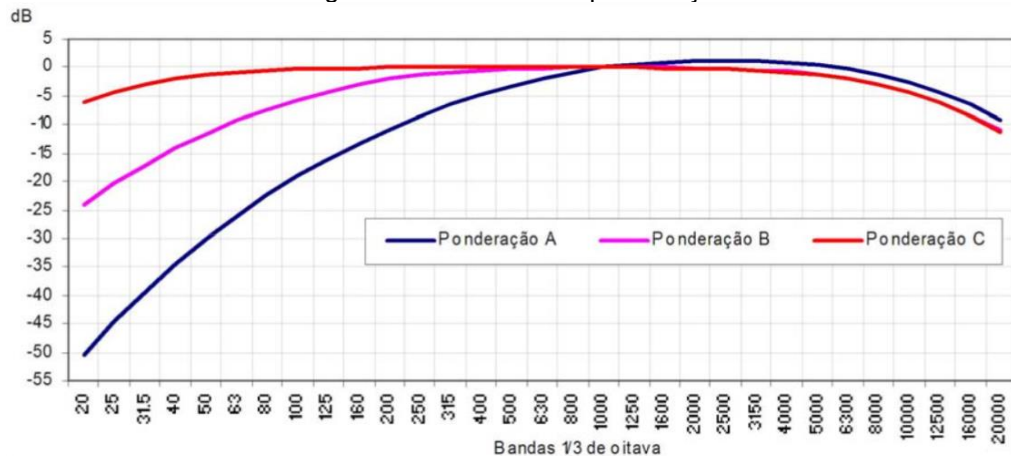
Em níveis moderados, a presença contínua de ruídos pode causar mal-estar, dificultar ou impedir a concentração, a comunicação, o descanso e o sono (PAVANELLO,

2014). A repetição desse cenário pode provocar um estado crônico de nervosismo e estresse que, conseqüentemente, causar ao receptor transtornos psicofísicos, doenças cardiovasculares e alterações no sistema imunológico (REBOLLO, 2011, apud PAVANELLO, 2014). De acordo com a *World Health Organization* (WHO, 1999), é possível observar efeitos deletérios sobre a saúde humana com níveis de pressão sonora a partir de 50 dB.

A percepção do ouvinte também não possui uma relação idêntica ao nível de pressão sonora dos sons e ruídos, especialmente devido a variação de frequências do som. Devido a isso, durante as medições empregam-se curvas de ponderação para melhorar a correlação entre a medição do som e a interpretação do aparelho auditivo humano.

As curvas de ponderação mais empregadas para a avaliação do desempenho acústico de edificações são as curvas A e C, ilustradas na Figura 5.55, sendo que a curva em A tende a ser a mais próxima da percepção humana sobre o fenômeno para sons e ruídos com pressão sonora mais baixas (próximas a 40 dB).

Figura 5.55 - Curvas de ponderação



Fonte: Mateus (2008).

Os ruídos são medidos por sonômetros, que são equipamentos específicos para a medição de sons e fornecem indicadores de ruídos. A medição é feita pela leitura e integração dos valores médios que foram medidos pelo sonômetro dentro de um intervalo de tempo e com uma determinada frequência de leitura.

Geralmente os indicadores de ruído empregados são expressos em função do seu tipo (valores equivalentes ou máximos), da curva de ponderação (A ou C) e do tempo de integração, também conhecido como frequência de leitura (S, F ou I). A

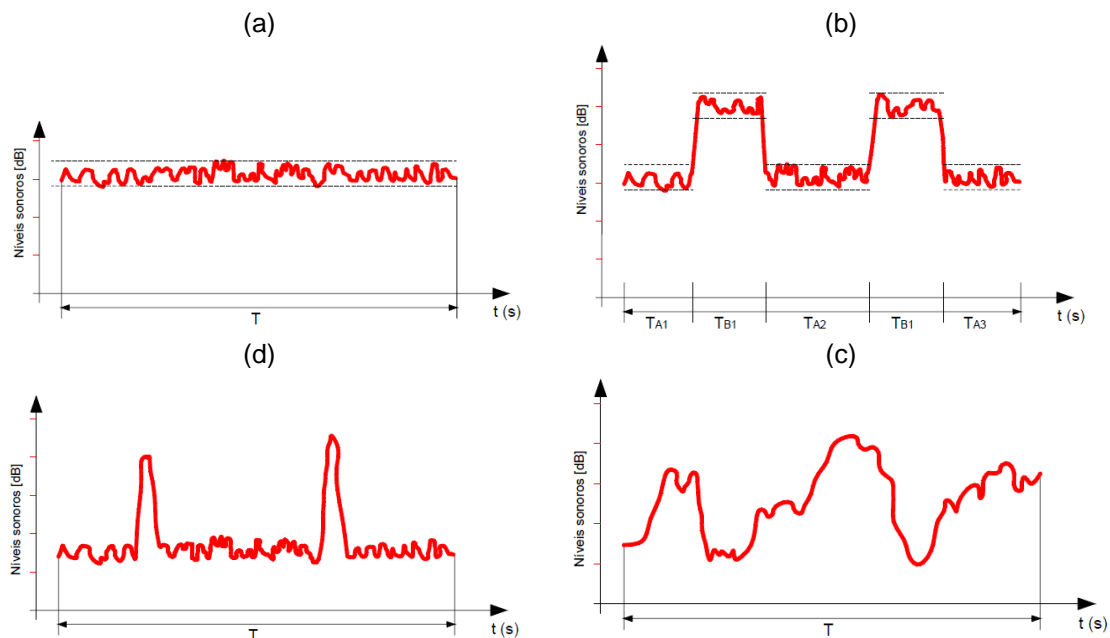
necessidade de diferentes tipos de indicadores incorre uma vez que os ruídos apresentam características próprias.

A frequência de leitura pode ser feita de maneira lenta (S - *slow*), a cada 1 segundo, rápida (F - *fast*), a cada 0,125 segundos, ou impulsiva (I - *impulse*), a cada 0,035 segundos. A escolha da frequência de leitura, bem como das curvas de ponderação, deve ser adequada ao tipo do ruído a ser medido.

Ruídos impulsivos, que tem a característica de picos curtos de níveis de pressão sonora, são percebidos como mais desagradáveis pelos usuários. Exemplos de ruídos impulsivos em sistemas prediais de água quente são aqueles gerados no caso da ocorrência de sobrepressões no sistema. Para medir os indicadores de ruído para ruídos impulsivos é necessário usar a frequência de leitura impulsiva I.

Para a leitura de ruídos intermitentes e flutuantes também pode ser necessário empregar a frequência rápida (F) e é importante verificar o indicador de ruído máximo (L_{AFmax}), uma vez que os valores médios e máximos podem apresentar variações consideráveis. Na Figura 5.56 estão ilustrados quatro tipos de ruídos.

Figura 5.56 - Tipos de ruído: (a) contínuo, (b) intermitente, (c) impulsivo e (d) flutuante aleatório



Fonte: Mateus (2008).

Também é necessário verificar a presença de ruídos tonais. Esse tipo de ruído é caracterizado por uma maior pressão sonora no primeiro terço das bandas de oitava quando comparado com os outros dois terços. Ruídos tonais tendem a ser mais desagradáveis aos ouvintes.

A propagação do ruído pode ser feita por meios aéreos e físicos. Para os meios aéreos, a pressão sonora é reduzida em função da distância entre a fonte sonora e o ouvinte. Em meios sólidos a propagação ocorre de maneira diferente. Uma vez que as moléculas estão mais próximas, a transmissão ocorre de modo mais rápido, porém a propagação ocorre em diversas direções, incorrendo em vibrações e na propagação do som pela superfície.

Em todos os casos, é necessário observar que a ocorrência de ruídos nas edificações é dada pelas atividades executadas pelos usuários, pelo funcionamento dos sistemas da edificação e pelas atividades executadas no seu entorno. Logo, é impossível eliminar os ruídos inteiramente, sendo apenas possível controlá-lo de modo que ele não seja demasiadamente incômodo aos usuários.

Existem três pontos de atuação para controle do ruído, sendo essas (a) a fonte geradora, (b) os meios de transmissão e (c) o receptor do ruído (BISTAFA, 2006). A atuação no receptor, ou seja, no ocupante ou morador, não é aplicável nesse contexto, logo é abordada neste trabalho.

As principais fontes geradoras de ruído dos sistemas prediais de água quente são:

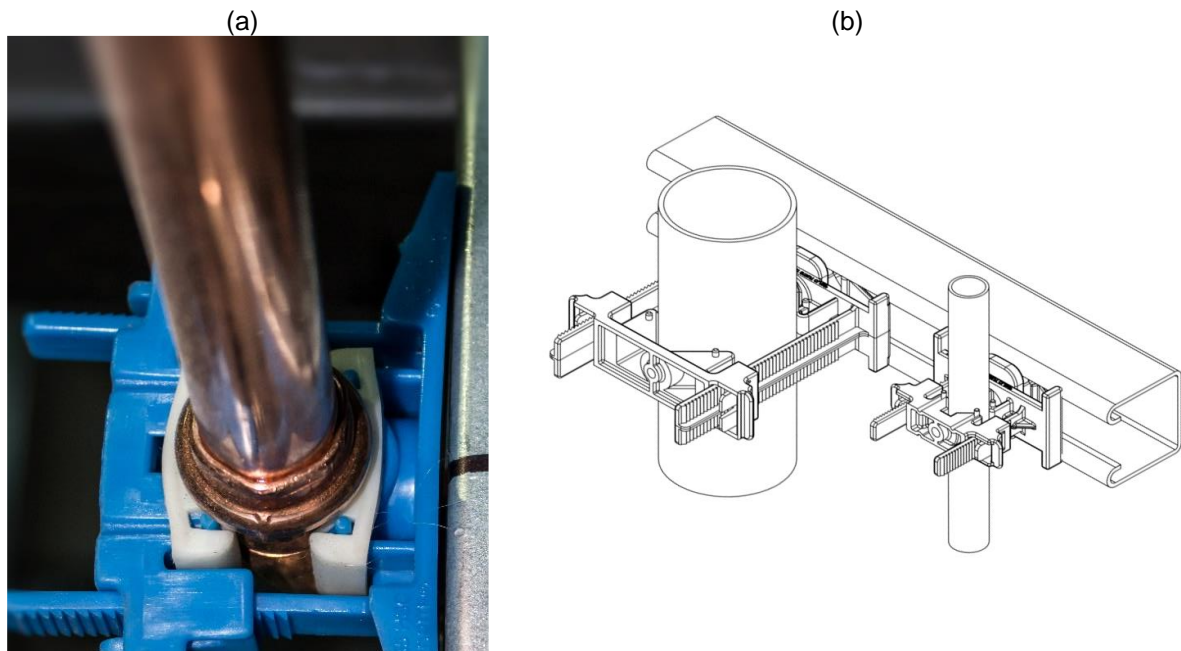
- a vibração das tubulações durante o escoamento da água, caso elas não sejam fixadas de maneira adequada, ou a ocorrência de sobrepressões no sistema;
- o funcionamento dos componentes do sistema; a exemplo de bombas, pressurizadores, aquecedores, válvulas, bem como misturadores para lavatório ou chuveiros.

Em todos esses casos a geração de ruído deve ser controlada, tanto na geração quanto na transmissão, de modo que ela não supere as especificações.

Para o escoamento da água, a NBR 5626 (ABNT, 2020a) exige que o dimensionamento das tubulações seja feito de modo que o ruído proveniente do escoamento da água não supere as exigências da NBR 10152 (ABNT, 2017). A NBR 15575-6 (ABNT, 2013c) também possui um anexo informativo sobre o ruído em sistemas prediais, porém sem critérios quantitativos ou prescrições, apenas recomendações (ABNT, 2020a). Ressalta-se que a NBR 5626 (2020a) foi publicada antes da NBR 16032 (ABNT, 2020c), que aborda especificamente a medição de ruídos dos componentes dos sistemas prediais.

Além disso, materiais e estruturas mais pesados tendem a transmitir a vibração em menor nível devido a maior massa e inércia. Assim, estruturas ou componentes mais leves tendem a vibrar mais facilmente e, conseqüentemente, transmitem ruídos com maior intensidade. Um exemplo relativo aos sistemas prediais de água quente, são tubulações fixadas diretamente em paredes de *dry-wall*, que tendem a gerar maior ruído que tubulações embutidas em paredes sólidas, uma vez que a vibração causada pelo escoamento da água tende a incorrer em maiores vibrações no primeiro caso que no segundo. Na Figura 5.57 está ilustrado um exemplo de fixação com amortecedores para reduzir a vibração das tubulações e evitar a propagação de ruídos.

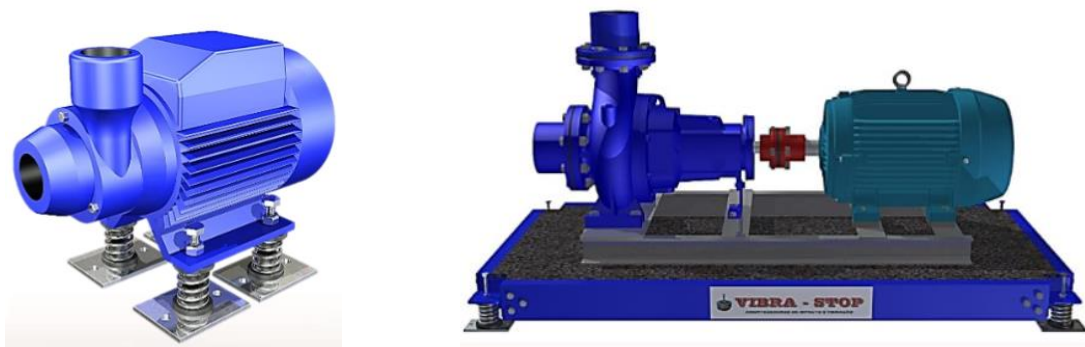
Figura 5.57 - Fixação para tubulações com amortecedores paredes de *dry-wall* para reduzir a propagação de ruídos (a) instalação e (b) desenho esquemático



Fonte: Holdrite (2020).

No caso do uso de bombas e pressurizadores, esses componentes devem ser fixados em bases amortecedoras ou em amortecedores, de modo que a vibração não seja transmitida as lajes e estruturas, o que pode incorrer em ruídos. Na Figura 5.58 estão apresentados exemplos de pressurizadores e conjuntos motor-bomba fixados em bases ou componentes amortecedoras.

Figura 5.58 - Bombas e pressurizadores fixados em (a) amortecedores e (b) bases amortecedoras



Fonte: Vibrastop (2020).

A conexão com a tubulação também deve ser feita por meio de ligações flexíveis, de modo que a vibração não seja transferida para os tubos e, conseqüentemente, para o resto do sistema, conforme ilustrado na Figura 5.59.

Figura 5.59 - Bomba conectada ao sistema por ligações flexíveis



Fonte: Autor (2021).

Em todos os casos, a medição de ruído deve ser realizada de acordo com as normas técnicas de acústica e ruído de edificações e sistemas prediais, sendo essas a NBR 10152 (ABNT, 2017) e a 16032 (ABNT, 2020c) e devem atender as recomendações,

requisitos e critérios presentes nas normas NBR 15575-1 e NBR 15575-6 (ABNT, 2013b, ABNT, 2013c).

As normas de acústica, NBR 16032 (ABNT, 2020c) e NBR 10152 (ABNT, 2017), estabelecem os métodos e procedimentos de medição, separando em dois tipos principais, sendo esses o método simplificado e o método de engenharia. O método simplificado é menos preciso que o método de engenharia, logo é recomendado que o último seja utilizado. A NBR 10152 (ABNT, 2017) também apresenta valores de referência em função do uso do ambiente a ser medido.

A NBR 15575-6 (ABNT, 2013c) apresenta valores máximos para o nível de pressão sonora contínua equivalente ($L_{Aeq,nT}$) e máxima ($L_{ASmax,nT}$) medidos em dormitórios, classificando-os conforme descrito na Tabela 5.17. Ressalta-se que os valores apresentados estão contidos em um anexo de caráter informativo, logo não são obrigatórios (ABNT, 2013c).

Tabela 5.17 - Níveis de pressão sonora máximos em dormitórios de acordo com a NBR 15575-6 (ABNT, 2013c)

NÍVEL DE DESEMPENHO	$L_{Aeq,nT}$ (dB)	$L_{ASmax,nT}$ (dB)
S (Superior)	≤ 30	≤ 36
I (Intermediário)	≤ 34	≤ 39
M (Mínimo)	≤ 37	≤ 42

Fonte: NBR 15575-6 (ABNT, 2013c).

Sobre os níveis de desempenho estabelecidos, Rocha (2018) realizou uma comparação entre as normas e regulamentações de diversos países europeus com as recomendações de ruído presentes nas normas de desempenho (ABNT, 2013c). De acordo com a pesquisa, os limites estabelecidos nacionalmente ainda são brandos e o atendimento aos limites mínimos estabelecidos não implica em garantia de conforto acústico ao usuário. Nota-se também que, em ambientes com menores dimensões, a medição em diversos pontos pode apresentar dificuldades ou ser inviável.

Também foi possível observar que existe uma dificuldade em obter informações sobre os componentes dos sistemas prediais em relação ao ruído gerado e suas características, a exemplo de bombas ou pressurizadores. Alguns fabricantes

possuem tais dados, porém as características do ruído, a exemplo da presença de ruídos tonais durante o funcionamento do componente não estão descritos.

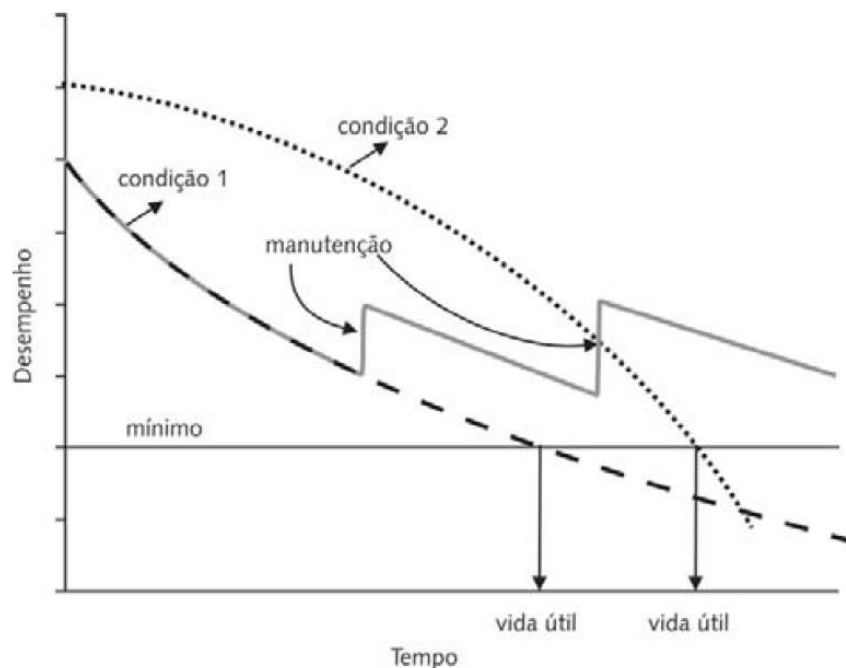
5.2.13 Durabilidade e vida útil de projeto

O desempenho de um determinado componente, sistema ou mesmo da própria edificação não é constante ao longo de sua vida útil. Observa-se que existe uma degradação constante dos elementos que compõe a edificação até um ponto onde o desempenho esperado não é mais obtido.

Ações de manutenção ajudam a estender a vida útil, permitindo que um determinado sistema, componente ou material atenda a sua função por mais tempo, porém, inevitavelmente, em algum momento o sistema irá falhar.

Na Figura 5.60 está ilustrada a perda de desempenho ao longo do tempo de um componente em duas condições diferentes. Na primeira condição, que é mais severa, a durabilidade tende a ser menor, porém com as atividades de manutenção a vida útil do componente é estendida. Na condição 2, que é mais branda que a condição 1, é possível observar que a perda de desempenho ocorre de modo mais lento, porém devido a inexistência de manutenção, sua vida útil se torna menor que a vida útil da condição 1.

Figura 5.60 - Função de desempenho versus tempo, descrevendo a durabilidade de um produto em determinadas condições ambientais



A redução do desempenho possui relação direta com o meio onde o componente ou material se encontra inserido, a interação do mesmo com os outros componentes do sistema e outros subsistemas e com a maneira em que este será utilizado.

Comparativamente a produtos de diversas outras indústrias, as edificações e os sistemas que a compõe são caracterizados por ter vidas úteis consideravelmente mais longas, de modo que manter o desempenho esperado ao longo do ciclo de vida é essencial.

De acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) a Vida Útil (VU) é o período de tempo em que um edifício e/ou seus subsistemas é capaz de prestar às atividades para quais foram projetados e construídos, com atendimento ao nível de desempenho estabelecido, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados.

Deste modo, é possível concluir que a vida útil (VU) do sistema é a expressão quantitativa da expectativa de durabilidade do sistema. Analogamente, a vida útil de projeto (VUP) é o critério estabelecido na fase de projeto para mensurar o atendimento ao requisito estabelecido.

De acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) os sistemas prediais hidrossanitários devem ter uma VUP mínima de 20 anos, conforme apresentado na Tabela 5.18. Nota-se que a norma em questão só é aplicável a edificações habitacionais, porém a metodologia para determinação da VUP pode ser estendida para outros tipos de edificação.

Tabela 5.18 - Vida útil de projeto (VUP)

SISTEMA	VUP MÍNIMA EM ANOS
Estrutura	≥ 50
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013b).

O valor estabelecido para a VUP na NBR 15575-1 teve como base as Tabelas 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22, apresentadas a seguir.

Tabela 5.19 - Efeito das falhas no desempenho

CATEGORIA	EFEITO NO DESEMPENHO
A	Perigo à vida (ou de ser ferido)
B	Risco de ser ferido
C	Perigo a saúde
D	Interrupção do uso do edifício
E	Comprometer a segurança do usuário
F	Sem problemas excepcionais

NOTA: Falhas individuais podem ser enquadradas em duas ou mais categorias

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013b).

Tabela 5.20 - Categoria de vida útil de projeto para partes do edifício

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	VIDA ÚTIL
1	Substituível	Vida útil mais curta que o edifício, sendo sua substituição fácil e prevista na etapa de projeto
2	Manutenível	São duráveis, porém necessitam de manutenção periódica, e são passíveis de substituição ao longo da vida do edifício
3	Não manutenível	Devem ter a mesma vida útil do edifício por não possibilitarem manutenção

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013b).

Tabela 5.21 - Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
A	Baixo custo de manutenção
B	Médio custo de manutenção ou reparação
C	Médio ou alto custo de manutenção ou reparação. Custo de reposição (do elemento ou sistema) equivalente ao custo inicial
D	Alto custo de manutenção e/ou reparação Custo de reposição superior ao custo inicial Comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício
E	Alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição muito superior ao custo inicial

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013b).

Tabela 5.22 - Critérios para o estabelecimento da VUP das partes do edifício (ABNT, 2013b).

VALOR SUGERIDO DE VUP PARA OS SISTEMAS ELEMENTOS E COMPONENTES	EFEITO DA FALHA	CATEGORIA DE VUP	CATEGORIA DE CUSTOS
Entre 5% e 8% da VUP da estrutura	F	1	A
Entre 8% e 15% da VUP da estrutura	F	1	B
Entre 15% e 25% da VUP da estrutura	E, F	1	C
Entre 25% e 40% da VUP da estrutura	D, E, F	2	D
Entre 40% e 80% da VUP da estrutura	Qualquer	2	D, E
Igual a 100% da VUP da estrutura	Qualquer	3	Qualquer

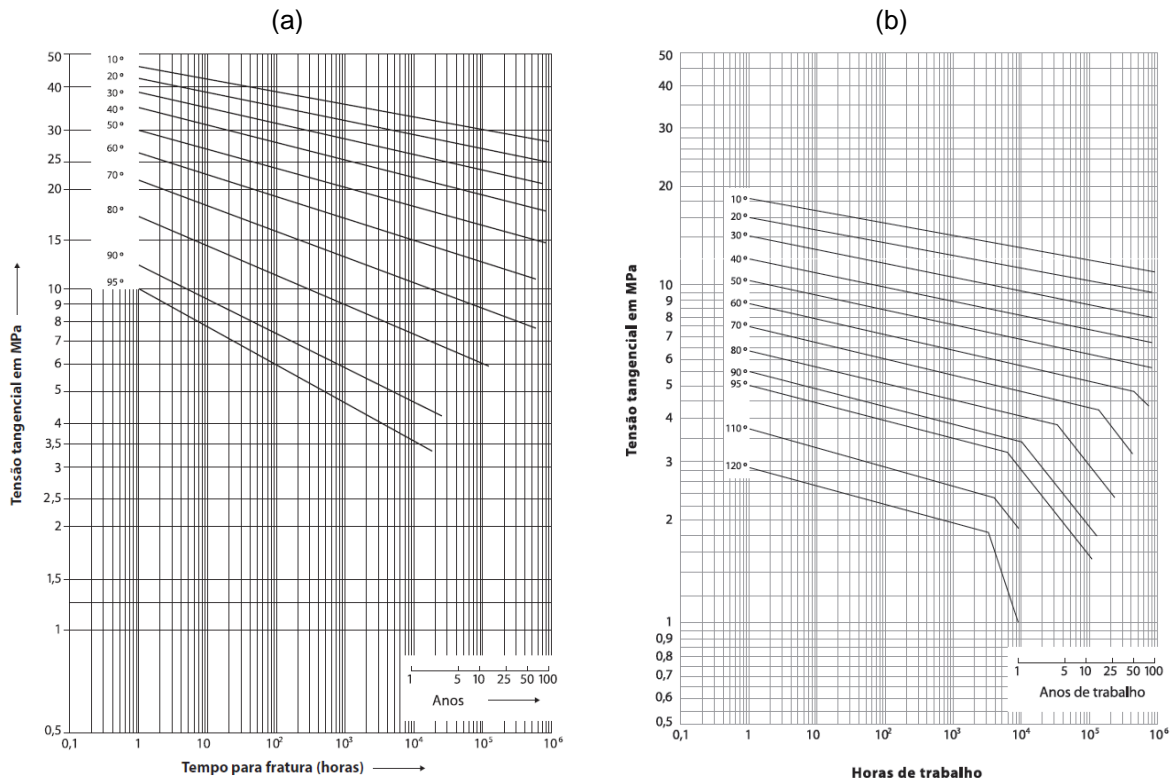
Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013b).

O método recomendado para a definição da VUP sugerido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) é apresentado na norma ISO 15686 - *Buildings and constructed assets - Service life planning* (ISO, 2011). A norma em questão é dividida em onze partes, sendo que 6 delas são citadas pela NBR 15575-1 como referência para verificação da VUP na etapa de projeto (partes 1 a 3 e 5 a 7). A série de normas em questão emprega, principalmente, o Método dos Fatores para a estimativa da VUP.

Devido a necessidade de uma vida útil extensa para diversos componentes, os métodos e testes executados para determinar a vida útil, geralmente, são baseados em extrapolações sobre resultados em condições de envelhecimento acelerado, ensaios de fadiga, fluência e de outros fatores.

Para tubos, na etapa de concepção e projeto, a durabilidade é determinada pelo uso de curvas de regressão, conforme demonstrado na Figura 5.61.

Figura 5.61 - Curvas de regressão para tubos (a) CVPC e (b) PP-R



Fonte: NBR 15884-1 (ABNT, 2010a) e NBR 15813-1 (ABNT, 2018a).

Nota-se que a pressão e a temperatura da água têm influência direta sobre a durabilidade do material, de modo que ambas necessitam ser observadas para que a durabilidade prevista seja alcançada. As curvas de regressão relacionam a tensão tangencial com o período de serviço esperado antes da ruptura do tubo. Dessa forma, é necessário aplicar as condições previstas projeto, conforme a Equação 7.

$$P_D = \frac{2 \cdot e \cdot \sigma_t}{(D_e - e) \cdot CS} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

P_D é a pressão máxima de operação, considerando possíveis sobrepressões e oscilações;

e é a espessura da parede do tubo;

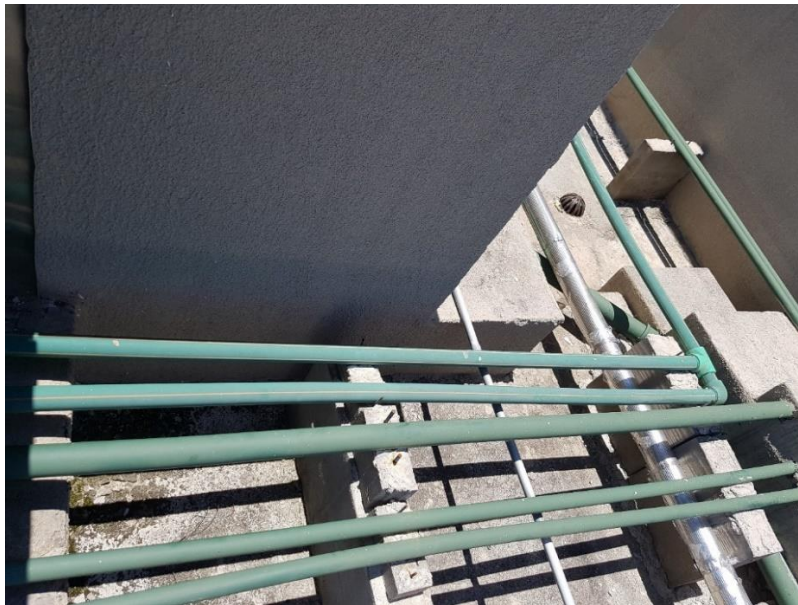
σ_t é a tensão tangencial, obtida nas curvas de regressão para a temperatura de projeto e para o período de serviço desejado;

D_e é o diâmetro externo do tubo;

CS é o coeficiente de segurança, sendo que é recomendado o valor de 1,5.

Ressalta-se que a durabilidade esperada só será obtida se os componentes forem utilizados, instalados e operados de forma adequada. Tubulações plásticas, geralmente, são suscetíveis a degradação pela exposição a raios ultravioleta por um tempo prolongado, de modo que o ambiente tem influência direta sobre sua durabilidade. Na Figura 5.62, onde um trecho do sistema de distribuição de água quente está exposto a luz solar, possui um exemplo de uma instalação inadequada.

Figura 5.62 - Tubulação de distribuição de água quente exposta a raio ultravioleta



Fonte: Autor (2021).

Esse tipo de situação deve ser evitado para que o sistema atinja a vida útil esperada. Neste sentido, o projeto deveria prever meios de proteção aos raios ultravioleta.

Ao mesmo tempo, é provável que um teste funcional em campo não detectaria perda de durabilidade devido a instalação incorreta, de modo que esse tipo de método de verificação de desempenho não seja adequado para avaliação desse tipo de requisito. Assim, a avaliação da durabilidade deve ser feita por meio de análise do projeto, acompanhadas a visitas a campo para verificar se existem não conformidades entre o previsto e o realizado.

5.2.14 Manutenibilidade e acessibilidade do sistema

A manutenibilidade do sistema está diretamente relacionada a capacidade de operação do sistema com o menor número de paradas e com tempos de parada mais curtos possíveis. Dessa forma, como indicadores de manutenibilidade, pode-se

mencionar a quantidade de falhas que os subsistemas e componentes apresentam em um determinado período junto com o tempo médio para solução dos problemas. Para permitir a redução destes indicadores, o sistema e seus componentes devem ser instalados em locais acessíveis a equipe de manutenção e que permitam a execução das atividades de maneira facilitada e sem incorrer em riscos para os profissionais de manutenção.

Nota-se que alguns componentes, a exemplo de medidores de água e gás, podem ter legislações ou especificações de localização, acesso e instalação feitas pelas concessionárias ou fornecedoras de serviços de saneamento ou distribuidoras de gás.

Dentro deste aspecto, deve-se notar que o sistema deve ser projetado de forma que os componentes que necessitam de verificação, inspeção e manutenção sejam instalados em locais onde a equipe de operação tenha acesso.

Atividades executadas em locais altos ou confinados implicam na necessidade de capacitação dos colaboradores da equipe de manutenção em conformidade com as normas regulatórias 33 (trabalho em espaços confinados) e 34 (trabalho em altura), o que pode onerar a operação da edificação. Na Figura 5.63 é apresentado um exemplo de um sistema em que as válvulas de retenção e de bloqueio das colunas do sistema de aquecimento solar estão instaladas abaixo da laje do primeiro andar de uma edificação residencial, sendo que o pé direito do andar térreo tem seis metros de altura.

Figura 5.63 - Instalação de componentes de bloqueio e retenção em altura de 6 m



Fonte: Autor (2021).

Tecnicamente, o local é acessível e presente na área comum, uma vez que a construtora previu a instalação de um alçapão de 1,1 m² para acesso ao forro que fica no hall de entrada do edifício. Ao mesmo tempo, para executar a manutenção neste trecho do sistema, é necessário um profissional qualificado na NR 35, todos os EPI's necessários para a execução da atividade, além de andaimes ou escadas. Além disso, durante as atividades de manutenção, a água do sistema, que está previsto para operar com uma temperatura de 70°C, tende a cair no profissional que executa a atividade, o que pode incorrer em acidentes de trabalho graves ou queimaduras.

Neste caso em particular, a instalação foi feita dessa maneira devido à falta de detalhamento do local de instalação desses componentes no projeto e a falta de comunicação entre a empresa instaladora e a empresa de projeto para esclarecimento de dúvidas.

Dessa forma, recomenda-se que esses componentes não sejam instalados em tais locais, a não ser que necessário e justificado. Um exemplo deste caso seria a instalação de uma válvula de expulsão de ar (ventosa) em um reservatório de água quente vertical e alto. A válvula necessita ser instalada no ponto mais alto do sistema e diretamente acima do reservatório, logo não há como evitar a instalação em altura.

Além disso, diversos componentes têm funções críticas dentro do sistema, cuja parada ou falha pode incorrer em perda total da funcionalidade do sistema, riscos de explosão ou outro tipo de danos e riscos. Neste caso, deve-se prever um determinado nível de redundância e meios de aviso de falha, de forma que o sistema, ou partes extensas do mesmo, não seja parado em função de uma falha nestes componentes.

Dois exemplos desse caso são válvulas redutoras de pressão e bombas pressurizadoras. No primeiro caso, a falha de uma válvula incorre em uma sobrepressão a jusante do componente, logo o sistema fica sujeito a danos devido a pressão excessiva. No segundo caso, a falha de uma bomba pressurizadora causa uma perda de pressão da rede, logo uma falha de abastecimento das condições estabelecidas de vazão e pressão de partes do sistema.

Em ambos os casos é necessário instalar componentes que sirvam como reserva no sistema ou manter componentes no local para substituição imediata no caso de falhas. Diversos outros componentes apresentam uma criticidade similar a estes, a exemplo de válvulas de alívio de pressão e válvulas termostáticas. Assim, o nível e as

redundâncias desejadas necessitam ser definidos em projeto, de forma que a equipe de operação seja capaz de executar as atividades de operação sem a necessidade da parada de setores extensos da edificação.

Ressalta-se que a manutenibilidade do sistema tem influência direta sobre sua durabilidade (e vice-versa), uma vez que sistemas que permitem manutenibilidade facilitada permitem a substituição e manutenção de componentes e trechos do sistema, aumentando sua durabilidade de maneira considerável.

5.2.15 Uso eficiente da água

A gestão da água pode ser classificada em duas subpartes, sendo estas a gestão da demanda, onde busca-se obter uma redução do consumo por meio da redução da demanda por água potável, e a gestão da oferta, onde objetiva-se a redução do consumo pelo uso de água advinda de fontes menos nobres.

Uma vez que o uso da água do sistema de água quente é feito, geralmente, para fins sanitários, a redução do consumo de água deve ser obtido por meio da gestão da demanda, uma vez que o uso fontes menos nobres podem incorrer em riscos sanitários ao usuário.

De acordo com Oliveira (1999), existem dois tipos de medidas operacionais que podem ser tomadas para a otimização do uso da água. O primeiro tipo são as medidas de atuação, que são ações que influenciam na redução do consumo de água. O segundo tipo são as medidas de controle, que buscam a estabilização do consumo de água nos níveis de eficiência alcançados. Ambas necessitam ser implantadas para manter o consumo de água dentro dos níveis previstos.

Dentro do tema Comissionamento, os critérios empregados para definir se uma edificação é eficiente no uso da água são, tradicionalmente, aqueles presentes nos referenciais de certificação ambiental, que tendem a variar de país para país. Devido a presença de mais de um modelo de certificação no Brasil, os critérios e requisitos foram desenvolvidos após uma análise documental dessas referências. Após a verificação do atendimento a eles em projeto, deve-se verificar se as medidas planejadas trouxeram resultados esperados em operação.

5.2.15.1 Critérios para certificação ambiental

Existem diversas referências e certificações que abordam o uso eficiente da água, a exemplo do AQUA (Alta Qualidade Ambiental), LEED (*Leadership in Energy and Environmental Management*) e o *WaterSense Label*. Na Tabela 5.23 são apresentados os critérios similares entre as certificações.

Tabela 5.23 - Resumo dos critérios de desempenho das certificações ambientais para o uso eficiente da água

REQUISITO	CERTIFICAÇÃO	
	AQUA	LEED FOR HOMES / WATERSENSE
Medição individualizada ou setorizada	Medição individualizada para as unidades e áreas comuns. Prever um painel para verificação do consumo de processos consumidores chave, inclusive geração de água quente no caso de sistemas de aquecimento central coletivo.	Medição setorizada nas unidades autônomas e incentivos para compartilhamento do consumo medido para avaliação dos resultados.
Limitação da pressão estática máxima	300 kPa (redução de 25% da pressão máxima normativa)	414 kPa (redução de 33% da pressão máxima normativa)
Aquisição de componentes avaliados por laboratório independente	Atendimento as normas ABNT e fabricante listado na lista de empresas conforme no PBQP-H	Os produtos devem ter certificação Watersense Label.
Redução da vazão dos pontos de uso	Metodologia de cálculo específica para estimativa do consumo per capita com valores de referência para frequência, tempo e vazão de uso.	Metodologia de cálculo específica para a estimativa do consumo per capita com valores de referência para frequência, tempo e vazão de uso.
Verificação da estanqueidade das tubulações e aparelhos	Não há.	Todas a tubulações devem ser testadas e os aparelhos devem ser inspecionados.
Redução da perda de água do traçado da tubulação de água quente	Não há.	Métodos prescritivos (limitação do volume interno do tubo) ou teste de desempenho in loco.

Fonte: Autor (2021).

No Brasil também existe a NBR 16782 (ABNT, 2019a), que aborda diretamente o uso eficiente de água em edificações, porém a norma tem um caráter mais voltado a diretrizes e procedimentos e não a requisitos, critérios e métodos de verificação. Mesmo assim, os requisitos presentes na norma são similares aqueles previstos nas certificações ambientais.

Independentemente da certificação, para obter-se resultados ótimos, o consumo de água e seus indicadores devem ser monitorados permanentemente e as ações corretivas devem ser adotadas no caso da ocorrência de anomalias. Logo, o comissionamento deve abordar o estabelecimento e o monitoramento dos Indicadores

de Consumo de cada setor. Além disso, deve-se verificar se o sistema de medição atende aos requisitos estabelecidos (periodicidade de leitura) e se ele apresenta funcionamento conforme as especificações, de modo a permitir os dados necessários para estabelecer os indicadores.

As vazões de operação devem ser definidas em projeto, considerando as exigências da certificação, caso aplicável, e verificadas em campo caso os aparelhos necessitem de regulagem.

5.2.15.2 Medição setorizada

O emprego da setorização como meio de gestão da demanda de água foi abordado por diversos autores, a exemplo de Tamaki (2003) e Yamada (2001), bem como por Oliveira (1999), que abordaram as vantagens, desvantagens e suas limitações.

A seleção do medidor deve ser feita com base nas exigências do proprietário e na vazão de projeto do setor, sendo que é recomendável o uso de métodos probabilísticos abertos para a determinação da vazão. Eles apresentam características distintas em função de seu tipo, classe de precisão (A, B ou C). Na Figura 5.64 estão apresentados os três tipos de medidores mais comuns empregados em edificações.

Figura 5.64 - Medidor de água quente (a) velocimétrico, (b) volumétrico e (c) ultrassônico



Fonte: Diehl Metering (2019).

A leitura do consumo, ou seja, a etapa de aquisição de dados do medidor também deve ser observada uma vez que ela pode ser feita de diversas maneiras. A maneira mais simples é a leitura visual, onde um operador lê os dados e os compila. Nota-se que esse método tende a ser impreciso e improdutivo, devido a possibilidade de falhas humanas, a exemplo de erros de leitura, transcrição, falhas de periodicidade de leitura etc. Esse tipo de leitura ainda é praticado pelo mercado, porém a prática da leitura

automatizada e a distância, conhecida como medição remota ou telemetria, já é mais comumente encontrada no mercado.

De acordo com Tamaki (2003), o sistema de medição é composto, basicamente, por:

- Medidor e interface;
- Rede de comunicação;
- Central de gerenciamento de dados.

A interface com o medidor, que substitui o processo de leitura feito pelo operador, é feita pela conexão de um sensor na relojoaria do medidor, que é pré-equipado para receber esse sensor. Geralmente, esses sensores medem a quantidade de pulsos emitidos pelo medidor, que contabiliza o consumo dentro de um intervalo de tempo. Os sensores mais comuns são os eletromecânicos, tipo *Reed Switch*, magnéticos e óticos.

Após a leitura, os dados precisam ser transmitidos para a central de gerenciamento de dados por uma rede de comunicação. A rede de comunicação pode ser física, composta por cabos que ligam as interfaces a uma central, ou aérea (feitas por ondas eletromagnéticas), tipo rádio frequência, rede telefônica móvel ou mesmo híbrida, que é uma combinação entre redes físicas e aéreas.

A coleta dos dados pode ser feita de modo móvel, onde um operador vai até o local coletar os dados (sistemas tipo *walk by*), ou fixa, onde concentradores de dados são instalados no local ou próximo ao local. As redes fixas geralmente possuem um barramento de campo (*field bus*). Nesse caso, é necessário transmitir os dados para a central provedor de serviços. Essa transmissão geralmente é feita por internet, rede telefônica móvel ou pela coleta por um equipamento de leitura específico (*walk by*).

Em todos os casos, a transmissão dos dados é feita por protocolos de comunicação. Os protocolos podem ser abertos, a exemplo do ModBus e do Zigbee, ou fechados (proprietários). Ressalta-se que o uso de protocolos abertos permite melhor intercambialidade do provedor de serviço de leitura, logo são preferíveis aos protocolos proprietários.

Após a obtenção dos dados, é necessário transformá-los em informação útil. Deve-se notar que essa informação tem como propósito o gerenciamento do consumo, ou seja, a verificação de medidas e a tomada de ação futura por parte dos usuários e operadores. Logo, as informações que o fornecedor dos serviços de leitura irá fornecer

devem ser definidas previamente para atender as expectativas dos usuários e operadores.

Devido a maior conscientização dos usuários sobre o uso da água, bem como o aumento do custo desse insumo, é possível verificar que existe uma tendência de alteração na expectativa do consumidor.

Expectativa era apenas pagar pelo consumo, porém atualmente a expectativa é o pagamento por um consumo consciente e justo. A adição desses dois termos é de extrema importância e tem impactos significativos uma vez que ela implica em alinhamento maior com a gestão da demanda. Essa gestão é feita, principalmente pelo monitoramento de Indicadores de Consumo é fundamental, uma vez que o volume de água consumido apresenta diferenças entre as edificações, setores e unidades. Essas diferenças ocorrem devido as diversas variáveis relativas à frequência de uso e as atividades e processos consumidores executados dentro dela.

Assim, o processo de medição deixar de ser estanque, uma vez que é necessário incluir outras grandezas, que geralmente não são obtidas pelo próprio sistema de medição.

Sendo assim, o volume de água de um setor, seja esse qual for, deve ser avaliado dentro de um dado intervalo e por um dado processo ou agente consumidor. A Equação 8 apresenta a relação entre as variáveis.

$$IC_x = \frac{V_c}{A_c \cdot I_m} \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

- IC_x é o indicador de consumo no setor x;
- V_c é o volume consumido no intervalo de tempo entre as medições;
- A_c é a quantidade de agentes consumidores ou processos consumidores executados durante o intervalo de tempo entre as medições;
- I_m é o intervalo de tempo entre as medições.

No caso da água quente, ressalta-se que uma redução no consumo não implica necessariamente em uma redução do consumo global de água ou energia. A água quente tende a ser utilizada em conjunto com a água fria, fazendo que o volume de água quente consumido tenha uma relação direta com sua temperatura.

Assim, o indicador de consumo de água quente sempre deve ser observado em conjunto com o indicador de consumo de água fria, uma vez que um consumo de água quente inferior pode ser causado por um aumento na temperatura da água quente e vice-versa. Isso também é válido para o consumo de água fria, que pode sofrer redução ou aumento em função da temperatura de água quente.

O indicador de consumo possui relação direta ao setor e ao intervalo de tempo entre as medições. A setorização do consumo deve ser definida em projeto, através de um plano de setorização, que deve observar os tipos de processos e agentes consumidores dentro dele, bem como as possíveis limitações do sistema de medição. Deve-se buscar reduzir as quantidades de diferentes processos e atividades consumidoras dentro de um mesmo setor, de forma que o uso de água pelos agentes e processos seja o mais uniforme possível, fazendo com que a precisão do indicador maior.

O intervalo entre as leituras também é um dos fatores de maior importância a efetividade dos resultados. O uso de intervalos menores permite a identificação de anomalias e alterações no perfil de consumo de modo mais rápido, permitindo uma tomada de ação mais rápida e reduzindo as perdas de água.

No caso de um sistema de medição que permite a leitura apenas uma vez por mês, o tempo de resposta para a correção de um evento que impacta no consumo, a exemplo de um vazamento, dificilmente será inferior ao intervalo estabelecido, a não ser que este se manifeste de maneira patológica, a exemplo de infiltrações.

Ao mesmo tempo, é importante observar que a identificação de anomalias e alterações no perfil de consumo não tem resultado sem uma ação concreta sobre sua causa. Por exemplo, a identificação da existência de um vazamento não reduz o consumo caso o vazamento não seja sanado. Isso implica que a equipe responsável pelas atividades de manutenção necessita ter um tempo de resposta para executar as atividades condizente com o tempo de leitura estabelecido.

5.2.15.3 Perdas

Oliveira (1999, p. 23) define desperdício como “toda a água que esteja disponível em um sistema hidráulico e seja perdida antes de ser utilizada para uma atividade fim ou, então, quando utilizada para uma atividade fim, o é de forma excessiva”. A definição

mencionada engloba tanto as perdas quanto o uso excessivo, logo a autora define e classifica ambos os termos, conforme sumarizado na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 - Tipos de desperdício, definições, causas e exemplos

TIPO DE DESPERDÍCIO	DEFINIÇÃO	CAUSA	EXEMPLOS
Perdas	Água que escapa do sistema antes de ser utilizada para uma atividade fim.	Vazamentos	Fuga de água de um sistema hidráulico, quer seja em tubos e conexões, componentes de utilização, reservatórios e, ainda, em equipamentos - conjunto motor bomba.
		Mau desempenho do sistema	Sistemas de recirculação de água quente operando inadequadamente, ou seja, com tempo de espera longo e, portanto, gerando perda de água antes de ser utilizada pelo usuário.
		Negligência do usuário	Misturador deixado mal fechado após o uso por displicência do usuário.
Uso excessivo	Água utilizada para uma atividade fim de maneira perdulária, ou seja, através de um procedimento inadequado, ou por mal desempenho do sistema.	Procedimento inadequado	Banhos prolongados.
		Mau desempenho do sistema	Sistemas projetados para trabalhar com vazões superiores às necessárias à realização das atividades relacionados ao uso de água, tais como misturadores com vazões elevadas que, além de desperdício, causam desconforto ao usuário.

Fonte: adaptado de Oliveira (1999).

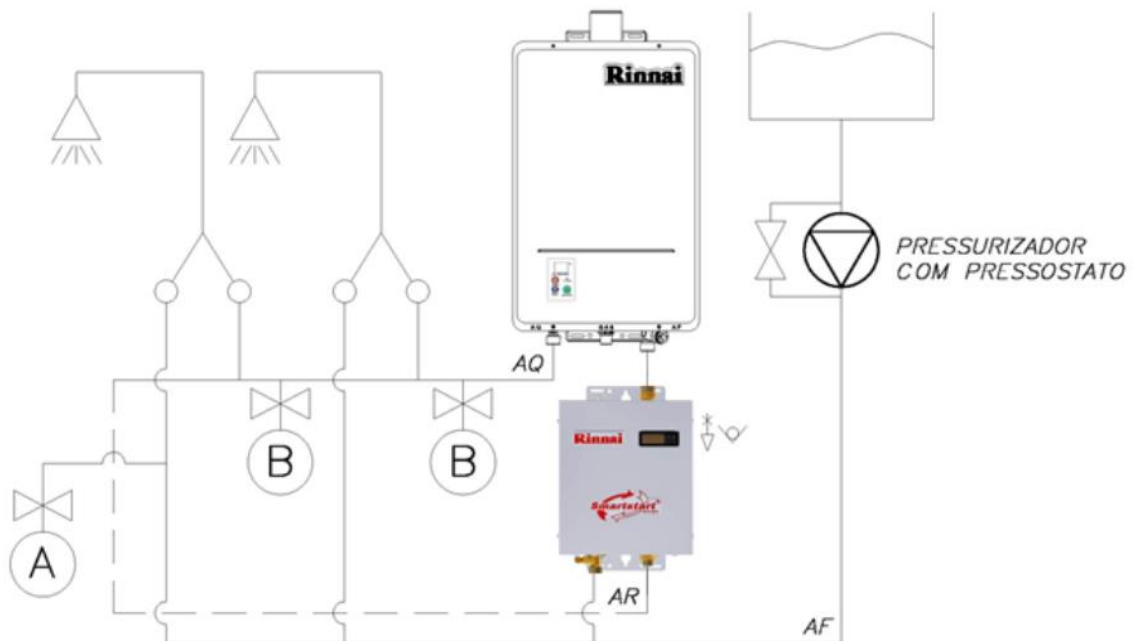
O desperdício é responsável por uma grande parcela da água consumida nas atividades fim. No sistema de água quente, particularmente, um ponto exclusivo a ele é a perda de água pela purga da água quente até que ela atinja a temperatura de uso. A certificação ambiental *WaterSense Label*, desenvolvida pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), exige que o volume máximo desperdiçado antes da água ter um aumento de temperatura de 5°C não supere 2,5 litros e que o volume de água contido nos tubos não supere 1,9 litros entre a fonte de calor ou anel de recirculação e o ponto de uso mais desfavorável (USEPA, 2014). A mesma exigência é presente na certificação *LEED V4 for Homes Design and Construction* (USGBC, 2013).

Para atender ao critério estabelecido é necessário fazer uma análise dos volumes internos dos tubos e das vazões dos pontos no ramal, além de, no ato de entrega da unidade, fazer um teste no local para aferição do volume máximo no ponto menos favorecido (USEPA, 2014). Ao mesmo tempo que a medida promove a redução do

consumo de água e maior conforto ao usuário, é necessário ressaltar que essa medida pode incorrer em um aumento no consumo de energia, caso seja necessário incluir um sistema de recirculação.

Logo, a certificação exige que um sistema de controle recirculação seja instalado para que o sistema de recirculação apenas funcione em determinados horários ou quando existe demanda pela água quente, vetando a instalação de sistemas de automação que façam a recirculação contínua ou acionados pela queda de temperatura da água presente nas tubulações internas as unidades. Esse tipo de sistema de controle pode ser encontrado tanto em sistemas de aquecimento por circulação quanto em sistemas de aquecimento instantâneo, conforme exemplificado na Figura 5.65.

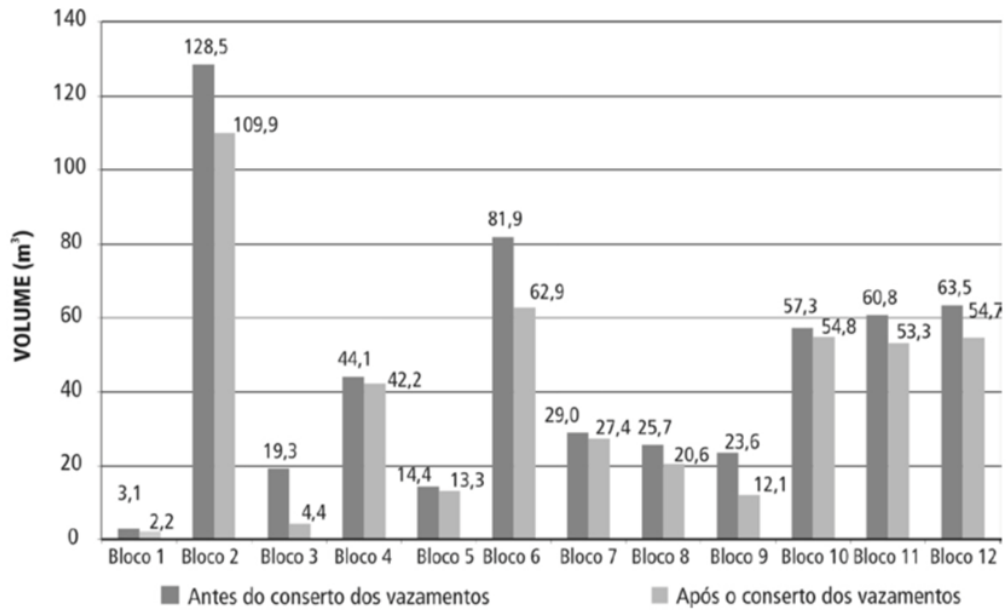
Figura 5.65 - Exemplo de componentes para recirculação para aquecedores instantâneos a gás



Fonte: Rinnai (2020).

Outro fator relacionado ao desperdício são as perdas por vazamentos, sejam estes visíveis ou invisíveis. Estudos elaborados por Pedroso (2002) apontam a redução no consumo de água obtida pelo conserto de vazamentos nos edifícios da Universidade Estadual de Campinas, conforme demonstrado na Figura 5.66. Os resultados dos estudos mencionados, que tiveram como objeto os sistemas de água fria, também são passíveis de ocorrência em sistemas de água quente, dada suas respectivas diferenças de magnitude.

Figura 5.66 - Redução do consumo advinda do conserto de vazamentos - unidades localizadas no Campus Universitário da UNICAMP



Fonte: Pedroso (2002).

Estudos elaborados por Oliveira (1999) no Hospital das Clínicas de São Paulo apontam uma redução de 28,4% no consumo de água do complexo após a correção de vazamentos na edificação, reduzindo o custo mensal com água em mais de 54 mil reais.

Vazamentos em aparelhos sanitários também tem consequências similares aos vazamentos em tubulações. O gráfico ilustrado na Figura 5.67 apresenta a perda de água em um vazamento que ocorreu em uma caixa de descarga para bacia sanitária, verificada por um medidor empregado na própria bacia para verificar seu consumo de água e avaliar a eficácia da substituição por modelos mais econômicos.

Figura 5.67 - Vazamento em aparelho sanitário

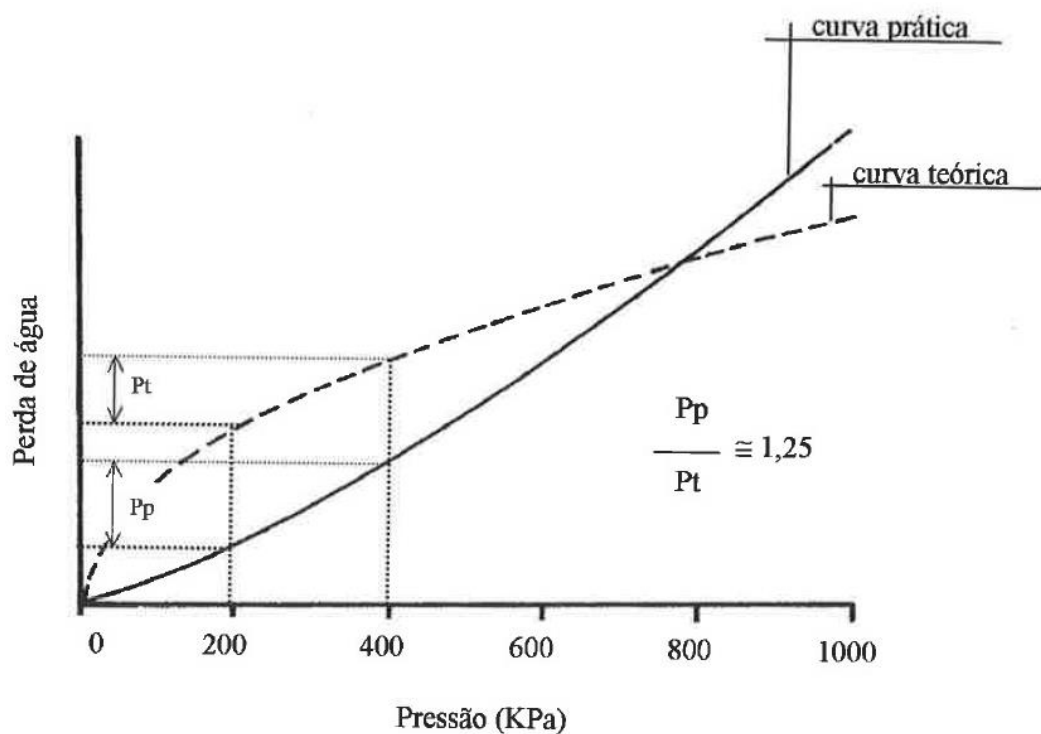


Fonte: Autor (2021).

No caso em questão, o tempo de resposta para a correção foi de apenas 37 minutos e, mesmo assim, houve uma perda de 572 litros.

Outra medida que pode ser tomada é a redução da pressão estática do sistema, de modo que, no caso da ocorrência de vazamentos, a taxa de perda, ou seja, a vazão, seja reduzida proporcionalmente. De acordo com o *National Water Council* (1980), observa-se que existe uma redução proporcional das perdas em função da pressão estática de acordo com a Figura 5.68.

Figura 5.68 - Efeito da pressão hidráulica nas perdas de água



Fonte: Oliveira (1999), adaptado de National Water Council (1980).

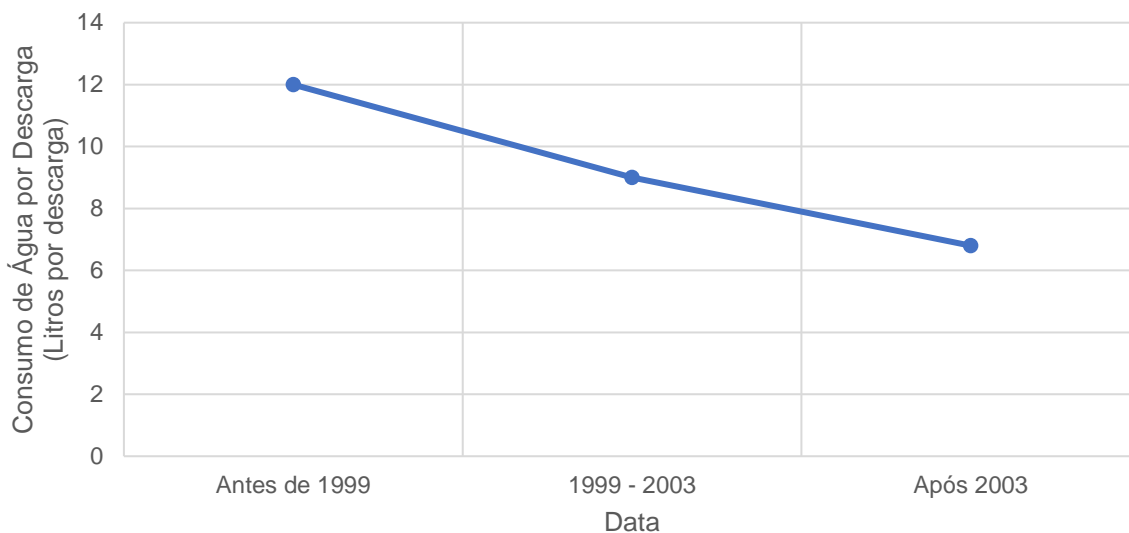
Nota-se que essas perdas ocorrem durante a fase de operação, logo só podem ser contidas por medidas de controle. Assim, é necessário um que um sistema que permita o monitoramento do consumo, de modo que seja possível tomar ações caso esses eventos venham a ocorrer.

5.2.15.4 Redução da vazão de aparelhos sanitários

O consumo para a execução de uma atividade ou processo consumidor pode sofrer variação em função do componente ou aparelho sanitário devido a constante evolução tecnológica. Um exemplo simples para esse fato foi a redução do consumo de água para a limpeza de bacias sanitárias promovida pelo Programa Brasileiro de Qualidade

e Produtividade do Habitat (PBQP-H), que ocorreu entre os anos de 1999 e 2003, conforme ilustrado na Figura 5.69.

Figura 5.59 - Eficiência no uso de água - redução normativa dos volumes de descarga de bacias sanitárias



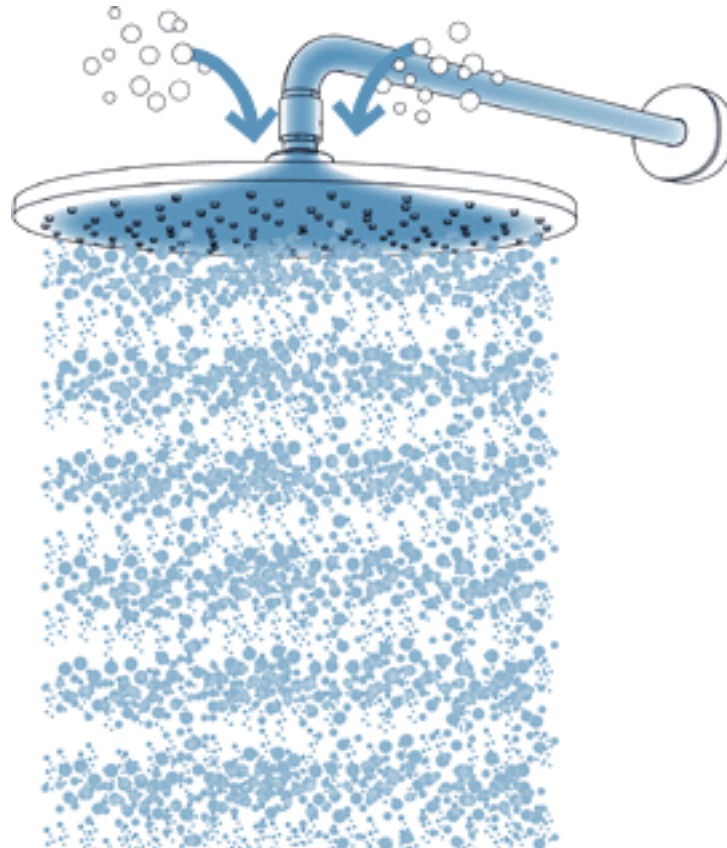
Fonte: adaptado de Ilha, Gonçalves e Oliveira (2002).

No caso mencionado, a evolução tecnológica permitiu que a variável Volume Necessário da Equação 8 fosse reduzida, o que permite reduzir o Volume Consumido. Uma medida similar para aumentar a eficiência no uso de água seria a redução da vazão de uso dos aparelhos sanitários, a exemplo de chuveiros e misturadores para lavatório e cozinha.

Nos pontos de consumo, a limitação da vazão em valores baixos deve ser adotada com critério, uma vez que sua eficácia depende diretamente da aceitação do usuário. Em torneiras e misturadores para cozinhas, por exemplo, onde alguns processos necessitam de maior vazão de água, a exemplos de cozinhas, a redução da vazão para valores muito baixos pode resultar em improdutividade e/ou insatisfação. Além disso, a limitação de vazão nos chuveiros, sem considerar o conforto e a conveniência do usuário, também pode levá-lo a burlar as soluções implementadas. Caso a estratégia não seja aceita pelo usuário, ela se tornará ineficaz.

Diversos fabricantes de aparelhos sanitários que possuem chuveiros com vazões reduzidas tendem a desenvolver produtos com tecnologias que alteram o jato de água para fornecer conforto. Um exemplo desse tipo de tecnologia está ilustrado na Figura 5.70, que junta a injeção de ar na água e uma tecnologia para que o jato seja pulsante para prover maior conforto.

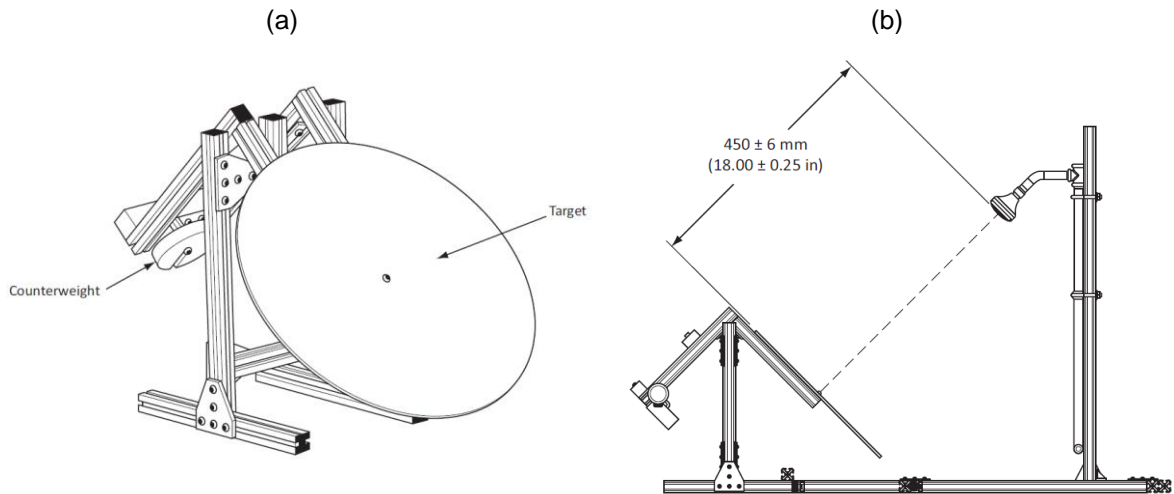
Figura 5.70 - Chuveiro com tecnologia de injeção de ar e jato pulsado



Fonte: TOTO (2019).

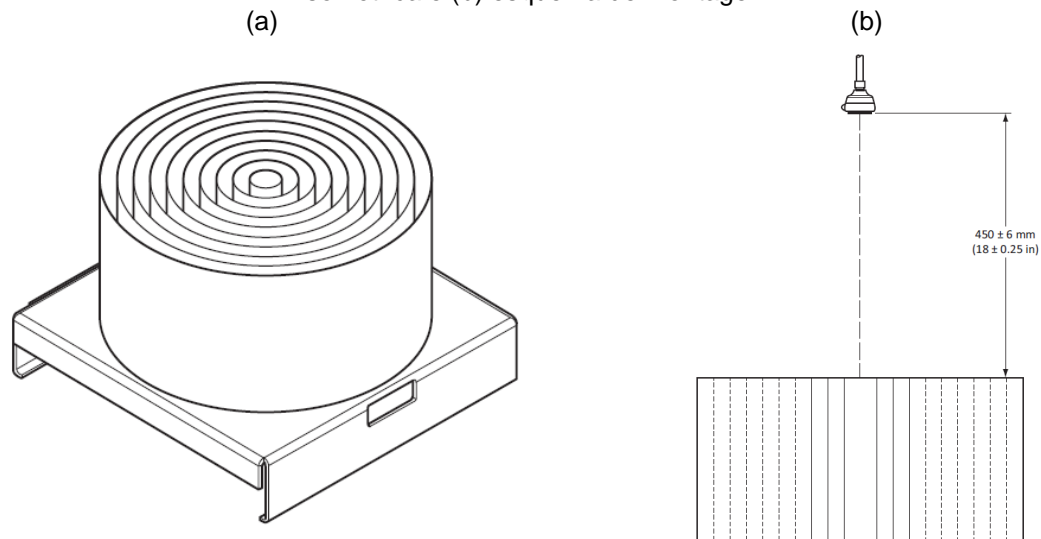
Atualmente, as normas técnicas brasileiras não possuem nenhum critério ou método de verificação específico para avaliar o conforto provido por chuveiros ou misturadores para lavatório e cozinha. Nos Estados Unidos, a certificação *Watersense Label* e as normas técnicas, a exemplo da ASME A112.18.1 (ASME, 2018), possuem critérios específicos para vazões máximas e mínimas, bem como requisitos e métodos para avaliar características específicas de chuveiro, a exemplo de dispersão, força e envolvimento do jato. Critérios similares estão presentes no WELS - *Water Efficiency Labeling Scheme* (AUSTRALIA, 2020), cujas especificações são baseadas na AS/NZS 3662:2013 - *Performance of showers for bathing* (STANDARDS AUSTRALIA, 2013) e na AS/NZS 6400:2016 - *Water efficient products - Rating and labelling* (STANDARDS AUSTRALIA, 2016), que são utilizados na Austrália e na China (WATER SUPPLIES DEPARTMENT, 2018). As Figuras 5.71 e 5.72 apresentam os aparelhos empregados para medir a força e a dispersão do jato de chuveiros de acordo com a norma americana.

Figura 5.71 - Aparelho para teste de força de jato de acordo com a ASME A112.18.1 - (a) vista isométrica e (b) esquema de montagem



Fonte: ASME (2018).

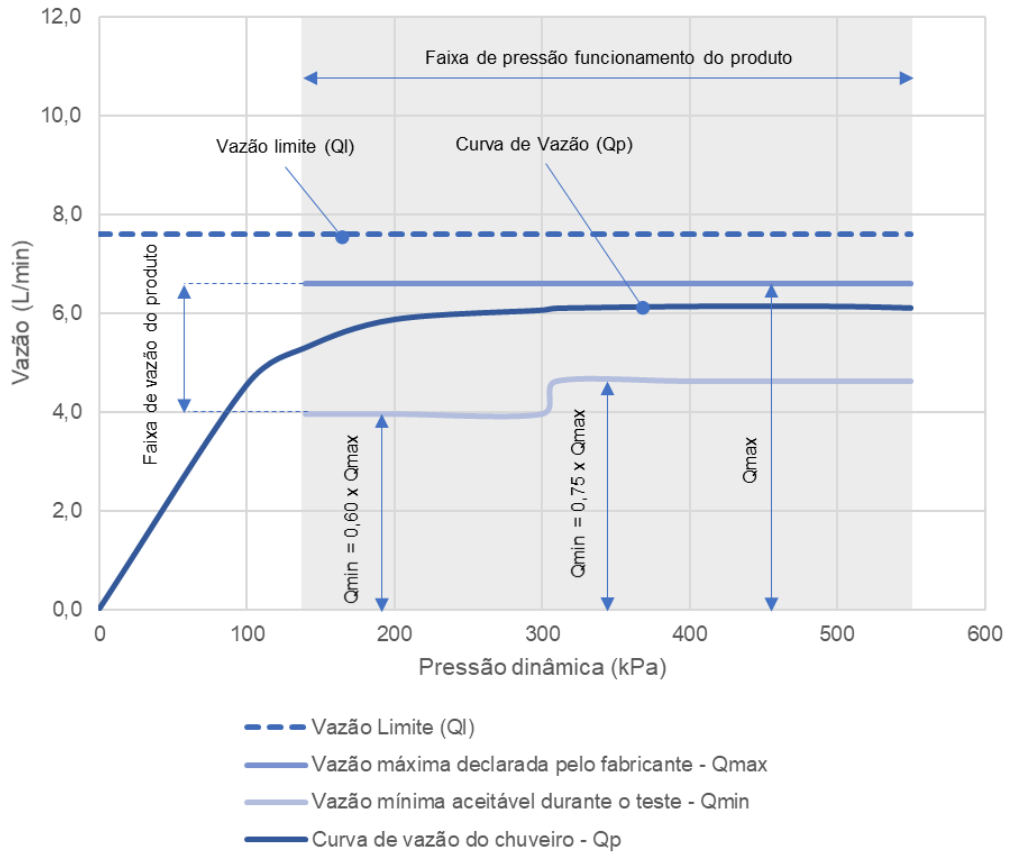
Figura 5.72 - Aparelho para teste de dispersão do jato de acordo com a ASME A112.18.1- (a) vista isométrica e (b) esquema de montagem



Fonte: ASME (2018).

Além dos critérios de força e envolvimento de jato, a vazão dos chuveiros (QI) deve ser igual ou menor a 7,6 L/min para ser classificado como eficiente, além de não poderem apresentar vazões inferiores a 60% e 75% da vazão (Qmin) declarada dentro da faixa de pressão de operação normativa (Qmax). Na Figura 5.73 estão ilustradas as faixas de pressão de operação, vazões mínimas e máximas, de acordo com a ASME A112.18.1 (ASME, 2018).

Figura 5.73 - Exemplo de faixas de vazão e pressão para chuveiros eficientes de acordo com a ASME A112.18.1



Fonte: Autor (2021).

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a), a pressão deve ser superior a 15 kPa (dinâmica) e inferior a 400 kPa (estática), de modo que é possível observar que as faixas de pressão estabelecidas na norma americana (ASME, 2018) são diferentes das faixas de pressão estabelecidas nas normas brasileiras. A vazão limite estabelecida para os aparelhos sanitários pela norma NBR 16782 (ABNT, 2019a) difere das vazões limite estabelecida pela norma ASME (ASME, 2018). Na Tabela 5.24 estão apresentados os valores presentes nas normas citadas.

Tabela 5.24 - Vazões máximas de referência para a conservação de água de acordo com a atividade

PONTO DE CONSUMO	VAZÃO MÁXIMA INDICADA (L/MIN)	
	NBR 16782	WATERSENSE LABEL / ASME
Lavatório	6,0	5,7
Pia de Cozinha (residencial / comercial)	7,2	-
Chuveiro / Ducha	12,0	7,6

Fonte: Adaptado de NBR 16782 (ABNT, 2019a), ASME A112.18.1 (ASME, 2018).

Ressalta-se que as principais tecnologias empregadas para a limitação de vazão em chuveiros e misturadores apresentam a vazão nominal apenas em pressões superiores a pressão mínima permitida pela NBR 5626 (ABNT, 2020a). Logo, a pressão dinâmica do sistema precisa ser avaliada antes de escolher por um produto desse tipo.

Dessa forma, é possível que o desempenho de alguns componentes seja comprometido quando instalados em sistema que possuem pressões inferiores a especificação do fabricante, uma vez que eles não foram desenvolvidos para serem utilizados nessa condição.

Devido a inexistência de critérios e métodos para estes componentes nas normas brasileiras, o estabelecimento de um critério de conforto é difícil, uma vez que sem a normalização dos métodos e critérios os resultados não seriam uniformes. Ao mesmo tempo, a falta de abordagem normativa é reflexo da falta de pesquisas específicas sobre o tema, logo recomenda-se que maiores pesquisas sobre o assunto.

A redução da vazão tem diversos efeitos sobre o desempenho do sistema. Conforme mencionado anteriormente, o uso de vazões baixas e mesmo de componentes para a limitação da vazão, altera o funcionamento do sistema devido a interação com outros componentes. Diversos componentes, a exemplo de medidores de vazão, aquecedores de passagem, válvulas e misturadores termostáticos, pressurizadores entre outros possuem uma vazão mínima para funcionamento.

Ressalta-se novamente que o uso de vazões mais baixas tende a incorrer em maior dificuldade de manter a temperatura da água misturada estável, bem como aumentar o tempo de espera até que a temperatura atinja o valor desejado nos pontos de consumo. Em determinados casos, pode ser necessário utilizar misturadores autocompensadores ao invés de misturadores convencionais para manter a estabilidade térmica da água misturada. De acordo com a *American Society of Sanitary Engineers* (ASSE, 2012), o uso de aparelhos de vazão reduzida não deveria ser feito sem o uso desse tipo de misturador.

Desse modo, conclui-se que as peças de utilização devem trabalhar com vazões baixas sem apresentar redução de desempenho, a exemplo de perda de conforto ou estabilidade da temperatura.

5.2.16 Eficiência energética

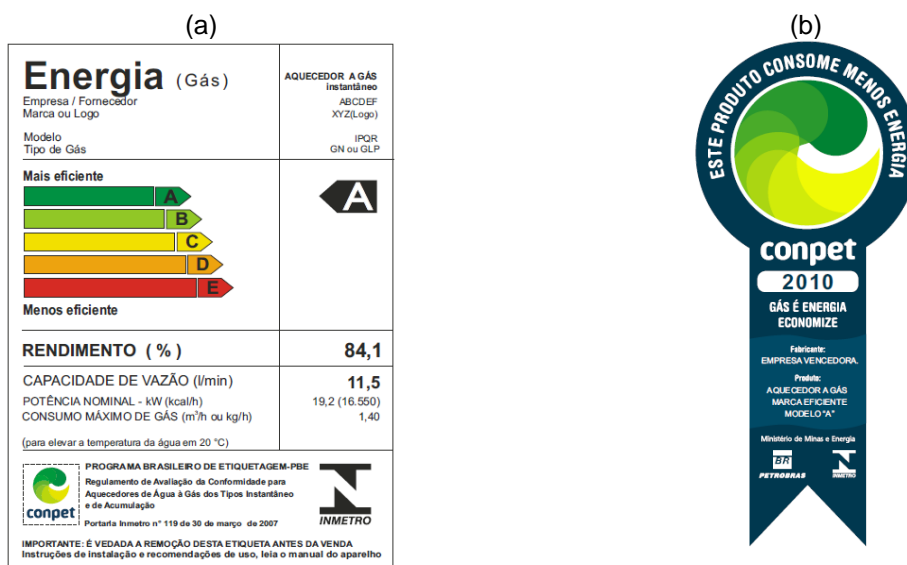
A eficiência energética do sistema de água quente pode ser avaliada em três partes distintas, sendo estas a geração e armazenamento, distribuição e o uso da água quente. Considerando que o uso de água quente pode ser avaliado de modo mais abrangente dentro dos critérios e requisitos relativos ao uso eficiente da água, esse ponto não será avaliado aqui.

5.2.16.1 Geração e armazenamento

Os programas do Programa Brasileira de Etiquetagem (PBE) são coordenados em conjunto com o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet), que é uma iniciativa da Petrobrás, e com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que é uma iniciativa da Eletrobrás. Ambos os programas têm abrangência nacional, sendo que em alguns casos a etiquetagem é voluntária, a exemplo de placas coletoras, e em outros casos mandatória, como no caso de aquecedores de passagem e acumulação a gás.

A etiquetagem dos equipamentos a gás é feita pelo Conpet. Um exemplo de ENCE e do selo Conpet, que é dado para os equipamentos de maior eficiência, está ilustrada na Figura 5.74.

Figura 5.74 - Exemplos de (a) ENCE e (b) Selo Conpet para aquecedores de passagem

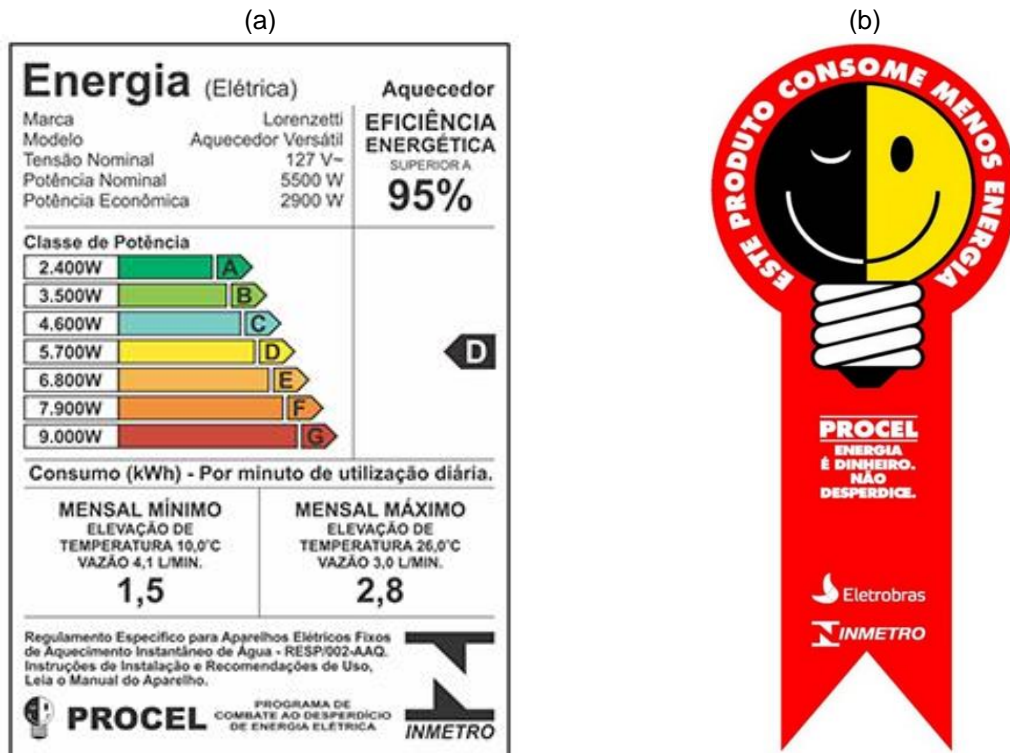


Fonte: Conpet (2010).

De maneira análoga, chuveiros elétricos e outros tipos de aquecedores que são alimentados por energia elétrica também possuem uma ENCE, onde a eficiência do

chuveiro é relacionada ao consumo de energia elétrica do componente, conforme exemplificado na Figura 5.75. Nota-se que, atualmente, os chuveiros elétricos recebem um nível de eficiência D ou E em função de sua potência e não existem chuveiros ou aquecedores elétricos com o Selo Procel, logo a ilustração presente na Figura 5.75 é apenas um exemplo.

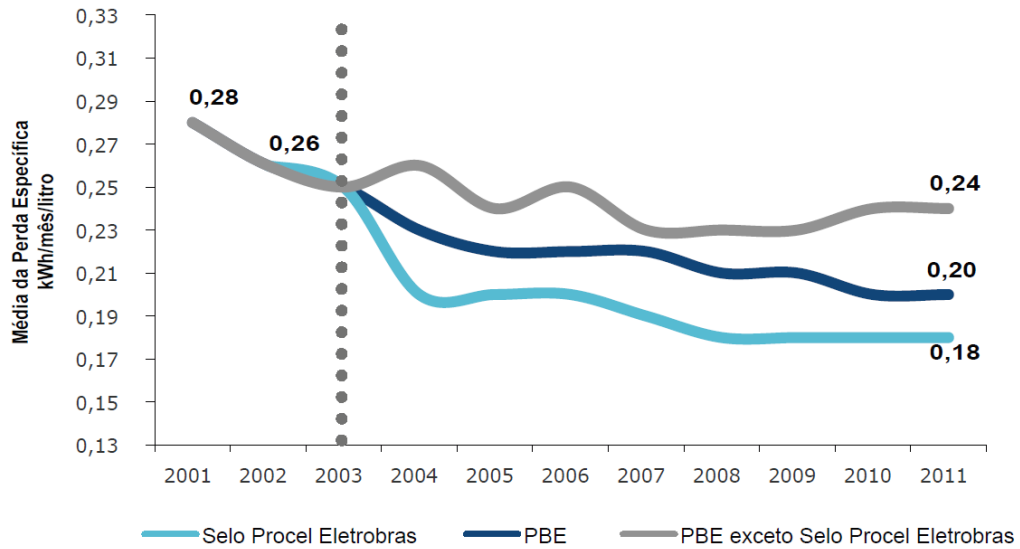
Figura 5.75 - Exemplos de (a) ENCE e (b) Selo Procel para aquecedores e chuveiros elétricos



Fonte: Lorenzetti (2017).

A eficiência de aquecedores instantâneos a gás é verificada com base na eficiência da conversão de energia em calor que é transmitido para a água. Essa avaliação é normalizada pela NBR 8130 (ABNT, 2004) e feita pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). O aquecedor recebe uma ENCE com uma classificação relativa ao rendimento térmico. Um critério similar é aplicado a aquecedores de acumulação. Nota-se que, no caso de armazenamento, o superdimensionamento do volume e do uso de temperaturas maiores tendem a incorrer em maiores perdas térmicas, logo perda de eficiência energética. A perda térmica dos reservatórios tem sido reduzida gradativamente ao longo dos últimos anos. Na Figura 5.76 está apresentada a evolução da redução das perdas térmicas dos reservatórios avaliados pelo Procel dos reservatórios de até 200 litros.

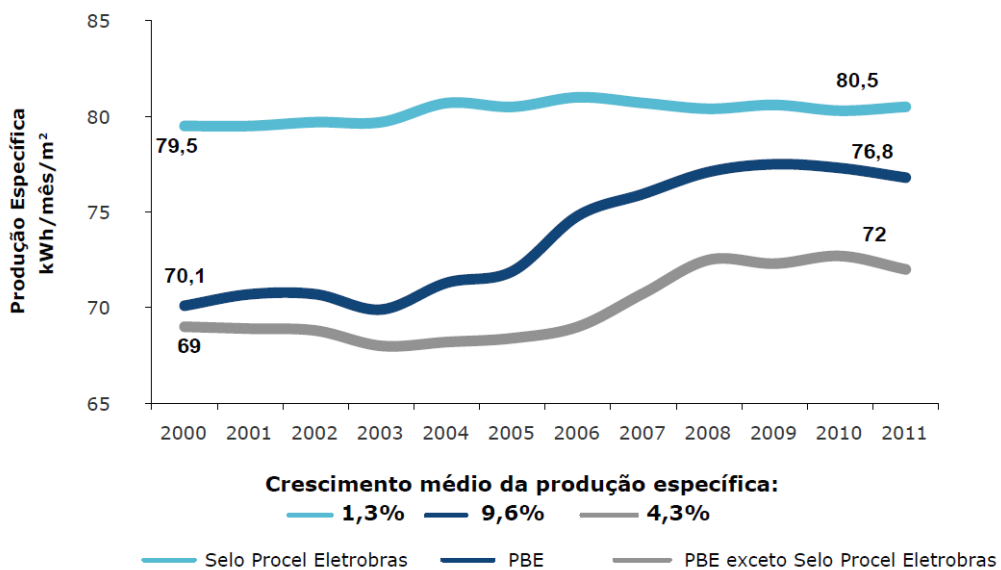
Figura 5.76 - Evolução da média das perdas específicas de energia em reservatórios térmicos (kWh/mês/litro)



Fonte: Eletrobras (2012).

Coletores solares são avaliadas em função da conversão de energia solar em energia térmica por área coletora. A eficiência desse tipo de componente também é verificada pelo PBE e a avaliação é feita de forma voluntária pelos fabricantes. De modo análogo aos reservatórios térmicos, na Figura 5.77 está apresentada a evolução da eficiência de produção de calor dos coletores solares entre os anos de 2000 e 2011.

Figura 5.77 - Evolução da produção específica de energia em coletores solares (kWh/mês/m²)



Fonte: Eletrobras (2012).

5.2.16.2 Distribuição de água quente

Além da geração e do armazenamento da água quente é necessário considerar que a distribuição da água quente também deve ser avaliada. A eficiência da distribuição de água quente é dada pela perda de calor ao longo das tubulações até que ela chegue ao ponto de uso, além da manutenção dos níveis de temperatura e pressão estabelecidos.

A transmissão de calor é função da diferença entre a temperatura da água e o meio, os materiais empregados para a distribuição da água (tubos e isolantes) e a área de transferência de calor, ou seja, o diâmetro e o comprimento das tubulações. A redução dos diâmetros dos tubos é importante, uma vez que isso permite tanto uma redução da área de transferência de calor quanto menores custos com isolamento térmico. O uso de isolantes térmicos apresenta diversas vantagens, além de um custo relativamente baixo e um rápido retorno sobre o investimento (SANGOI, 2015).

Em ambos os casos, a redução do comprimento e do diâmetro implica em uma redução do volume de água presente dentro de trechos do sistema de distribuição. Caso esse trecho não faça parte do sistema de recirculação, a água perde o calor obtido entre os usos, o que reduz a eficiência do sistema. Outros meios também podem ser empregados para reduzir essa perda, a exemplo de sistemas que ramais alimentam mais pontos de uso para reduzir o tempo entre os usos em determinados trechos.

Além disso, ressalta-se que o sistema de água quente conta com componentes que necessitam de energia para seu funcionamento, a exemplo de bombas de recirculação. No caso de uma constante recirculação de água, o sistema consome mais energia, tanto pelo funcionamento da bomba, quanto pelo possível acionamento do sistema de aquecimento para manter a temperatura dentro dos intervalos desejados. Dessa forma, o sistema de automação do sistema de água quente deve ser concebido considerando a redução do consumo de energia necessária para seu funcionamento.

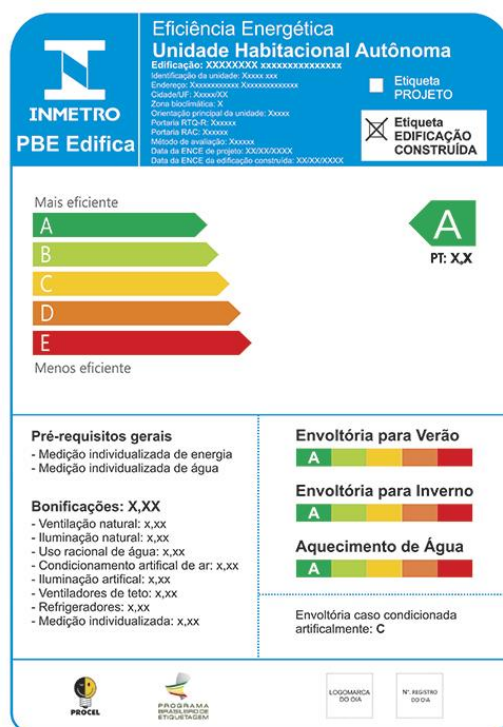
A certificação americana LEED for Homes exige que o sistema de recirculação seja acionado apenas por meio de início de demanda, seja pelo fluxo da água ou por comandos de ativação específicos, a exemplo de interruptores, sensores ou comandos de voz, além de exigir que toda a tubulação tenha isolamento térmico com

um fator R-4 (USGBC, 2013). Nesse caso o fator R é a razão entre a espessura e a condutividade térmica aparente do material isolante aplicado.

5.2.16.3 Critérios para certificação ambiental

A eficiência energética das edificações é feita pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que emprega a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para informar a eficiência energética de um determinado objeto, seja este uma edificação ou um produto. Assim, a avaliação da eficiência energética do sistema de água quente pode ser feita por meio do método estabelecido no Procel Edifica. Na Figura 5.78 está apresentado um exemplo de uma etiqueta ENCE de uma edificação residencial.

Figura 5.78 - Exemplo de uma ENCE para o PBE Edifica



Fonte: Procel (2019).

Para os sistemas de água quente, a certificação apresenta um método para verificar a eficiência e a participação de cada fonte de calor na demanda total de energia e a eficiência de cada um dos aquecedores de acordo com seu ENCE, além de exigir isolamento térmico nas tubulações e bonificar o uso eficiente da água.

Nota-se que o uso de sistemas de aquecimento de fontes de energia elétrica é penalizado, uma vez que a o ENCE desse tipo de componente tende a ser baixo.

Chuveiros elétricos possuem uma ENCE nível D ou E, mesmo com uma eficiência energética superior a 95% (INMETRO, 2017).

Mesmo assim, em simulações realizadas por Sangoi (2015), o consumo global de energia de sistemas que empregam chuveiros elétricos, mesmo considerando as perdas de transmissão elétrica, pode ser menor que o de sistemas com gás combustível. Ao mesmo tempo, ressalta-se que a vazão considerada para os chuveiros elétricos foi de 3 L/min e para os chuveiros a gás foi de 12 L/min, logo, a diferença entre as vazões de água quente teve um impacto considerável nos resultados.

Além disso, o RTQ-R do Procel Edifica não avalia as perdas térmicas de distribuição, exigindo apenas o uso de isolamento térmico nas tubulações (INMETRO, 2012). Assim, é possível que um sistema ineficiente no aspecto de perdas térmicas seja bonificado devido a tubulações com traçados extensos ou com diâmetros superdimensionados. Além disso, uma vez que a determinação do volume de água quente armazenado é intrínseca ao projeto, ela não é avaliada. O superdimensionamento do volume armazenado também tende a incorrer em maiores perdas térmicas.

Também se nota que aspectos operacionais do sistema também não são avaliados, a exemplo da temperatura de operação e dos sistemas de automação. No caso do LEED, o sistema de recirculação deve ser automatizado para ser acionado por demanda, de modo que sistemas que mantêm a recirculação da água quente integralmente ou acionada por outros meios, a exemplo de sensores térmicos, não são permitidos (USGBC, 2013). Para evitar o superdimensionamento dos diâmetros ou o uso de ramais extensos, também existem critérios técnicos, a exemplo de limitação no volume interno da tubulação e do tempo de espera pela água quente (USGBC, 2013).

Ao mesmo tempo, deve-se notar que a abordagem desses três pontos de modo separado, ou seja, de forma analítica, não é ideal. Ao mesmo tempo, devido a quantidade de fatores externos, tanto ambientais, sazonais ou mesmo operacionais, que influem na eficiência energética, uma abordagem sistêmica voltada puramente ao desempenho do sistema é de difícil aplicação. Devido a esses fatores, edificações iguais podem apresentar uma eficiência diferente quando avaliadas durante a fase de operação.

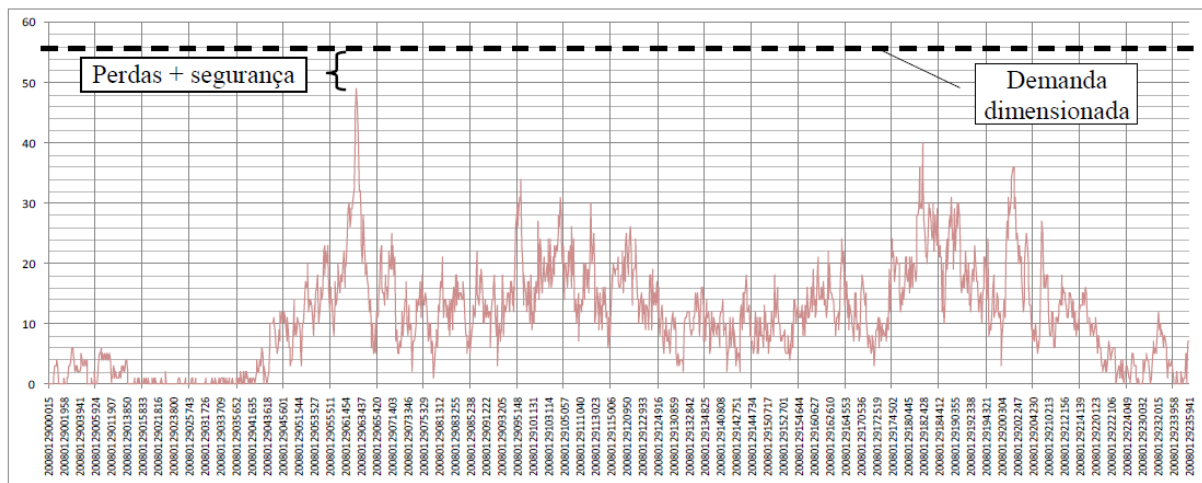
Sobre a avaliação durante a fase de operação, uma maneira de verificar a eficiência da distribuição e armazenamento é medir as perdas térmicas durante períodos sem uso, ou seja, o consumo do sistema em modo de espera. Para isso, é necessário que o sistema permita essa verificação, por meio do emprego de sensores de fluxo, pressão e temperatura, bem como de medidores de energia para a bomba e outras fontes de energia.

Durante a fase de operação, deve-se lembrar que o sistema de aquecimento de água é concebido e projetado para atender a demanda de água quente da edificação em regime pleno. Em edificações residenciais, esse regime só é alcançado depois de meses ou anos após o início da operação da edificação. Além disso, a demanda por água quente apresenta um perfil dinâmico, o que não pode ser previsto inteiramente na etapa de projeto.

Na Figura 5.79 o consumo de gás de um sistema de água quente ao longo do dia está exemplificado junto com os parâmetros de dimensionamento empregados durante a etapa de projeto. Uma vez que o gás combustível era a única fonte de energia que abastecia o sistema de aquecimento, o consumo de água quente e de gás estão diretamente relacionados.

Nota-se que, durante a fase de projeto, o sistema não foi superdimensionado uma vez que o sistema necessita atender a demanda em horários de pico. Mesmo assim, o volume é naturalmente superdimensionado em todos outros horários, incorrendo em perdas térmicas.

Figura 5.79 - Perfil de demanda de gás combustível do reservatório de água quente de um sistema central coletivo



Fonte: Chaguri (2009).

Uma vez que o perfil de demanda é variável e particular a cada edificação, para obter resultados ótimos o sistema necessita de automação e, principalmente, gestão. Em um estudo de caso elaborado por Chaguri (2004), em que um sistema de gestão do sistema de aquecimento foi implantado em um edifício residencial, foi possível obter uma redução do consumo de gás combustível de 29% por meio da redução da temperatura da água armazenada em períodos de menor demanda.

A necessidade de gestão, bem como o maior nível de complexidade do sistema, reforça a necessidade do comissionamento do sistema de água quente para a obtenção de resultados ótimos.

5.2.17 Flexibilidade e adaptabilidade

O uso da edificação é dinâmico e pode necessitar de alterações, sejam estas programadas ou não, durante seu ciclo de vida. Em casos específicos, pode ser necessário projetar o sistema de água quente de forma que ele seja capaz de alterar suas características em função das alterações que ocorrem durante o ciclo de vida da edificação.

Dentro deste aspecto, a adaptabilidade do sistema é imprescindível, uma vez que o desempenho do sistema, em seus diversos aspectos, deve ser mantido durante o ciclo de vida da edificação. A capacidade de adaptação do sistema está relacionada a possibilidade de modificações em função de alterações nas atividades internas sem perda significativa de seu desempenho e sem a necessidade de intervenções significativas, dentro dos limites de previsibilidade razoáveis.

As previsões de alteração devem ser estabelecidas pelo proprietário e previstas em projeto, de forma que o sistema atenda aos requisitos sem incorrer em perda de desempenho. As características do sistema e os outros requisitos estabelecidos, a exemplo de eficiência energética, operação do sistema, capacidade de recuperação do sistema, entre outros, não podem ser comprometidas considerando as alterações previstas.

Tendo isso em consideração, no caso dos sistemas de água quente, esse requisito pode ser classificado em aspectos diferentes.

O primeiro é a capacidade do sistema em aumentar ou reduzir o fornecimento de água quente, seja em volume ou em vazão, porém sem alterar seu perfil de uso

(escalabilidade). Um exemplo de previsão de escalabilidade seria a alteração na quantidade de apartamentos de um hotel. Neste caso, pode-se observar que a demanda por água quente é alterada, porém o uso final da água quente (processos e atividades consumidoras) não sofre modificação.

O segundo está relacionado a capacidade de fornecer a água quente com características diferentes, a exemplo da inclusão de um novo processo consumidor de água quente ou alterações no perfil de uso da edificação. Um exemplo desse caso, é a inclusão de um processo que necessita de água quente a uma temperatura superior a projetada, a exemplo da construção de uma lavanderia, que necessita de água com temperaturas superiores para a higienização das roupas. Neste caso, o aumento da demanda por água quente e por energia pode não ser considerável, porém o sistema pode não ter sido projetado para gerar água na temperatura desejada para o novo processo.

O terceiro está relacionado a capacidade de alteração do sistema ou de seus fatores em busca de uma melhoria, sem a alteração no perfil de uso ou nas atividades consumidoras.

Um exemplo desse caso foi abordado por Yamada e Oliveira (2019), em que um hotel localizado na cidade de São Paulo tentou reduzir o consumo de água pela substituição de chuveiros com vazão reduzida. Nesse caso, os sistemas prediais de água fria e quente não foram projetados considerando o uso de chuveiros com a vazão reduzida, o que incorreu em problemas de oscilação de temperatura da água misturada. Ressalta-se que no caso estudado o projeto impediu a tomada de ações que melhorem o desempenho no uso eficiente da água e na eficiência energética da edificação sem uma intervenção considerável e obras com alto custo para a edificação. Ao mesmo tempo, considerando que durante a concepção do sistema essa demanda não foi prevista, essa condição não foi causada por uma falha de projeto.

Outros exemplos desse caso seriam a alteração nas fontes de energia para o aquecimento de água, a exemplo da previsão da instalação de um sistema de aquecimento solar e a previsão de instalação de sistemas de medição setorizada.

Atualmente, em São Paulo, a exigência da previsão para instalação futura de sistemas de aquecimento solar é feita pelo Código de Obras e Edificações (COE) do município

de São Paulo, estabelecido pela Lei Municipal Nº 16.642, de 9 de maio de 2017. (SÃO PAULO, 2017a).

O COE exige que todas as edificações residenciais multifamiliares novas com mais de 1500 m² e até 3 banheiros possuam previsão para instalação futura de sistemas de aquecimento solar (SÃO PAULO, 2017b). O documento também possui a exigência que todas as edificações não residenciais com mais de 1500 m² que possuam demanda por água aquecida também tenham essa previsão (SÃO PAULO, 2017b).

A fração solar mínima a ser atendida pelo sistema deve ser de 40%, porém caso seja tecnicamente inviável obter tal fração, a exemplo da presença de sombreamento extenso, é possível apresentar uma justificativa para a não previsão da instalação futura do sistema, além de ser permitido prover soluções que reduzam o consumo de energia ou cogeração de energia *in loco* para reduzir a demanda na mesma proporção (SÃO PAULO, 2017b).

Em todas as situações, caso seja prevista a instalação de componentes adicionais no sistema, a exemplo da instalação de reservatórios de água quente ou fontes de aquecimento adicionais, estes devem ser passíveis de instalação dentro das condições de intervenções previstas. Isso inclui a previsão de espaços técnicos, além de acesso ao local de montagem.

Nota-se que, devido ao caráter futuro desse requisito e critérios, após as alterações sejam feitas no sistema para obter resultados ótimos o sistema deveria ser sujeito a um processo de recomissionamento para verificar o atendimento ao requisito e os impactos das alterações.

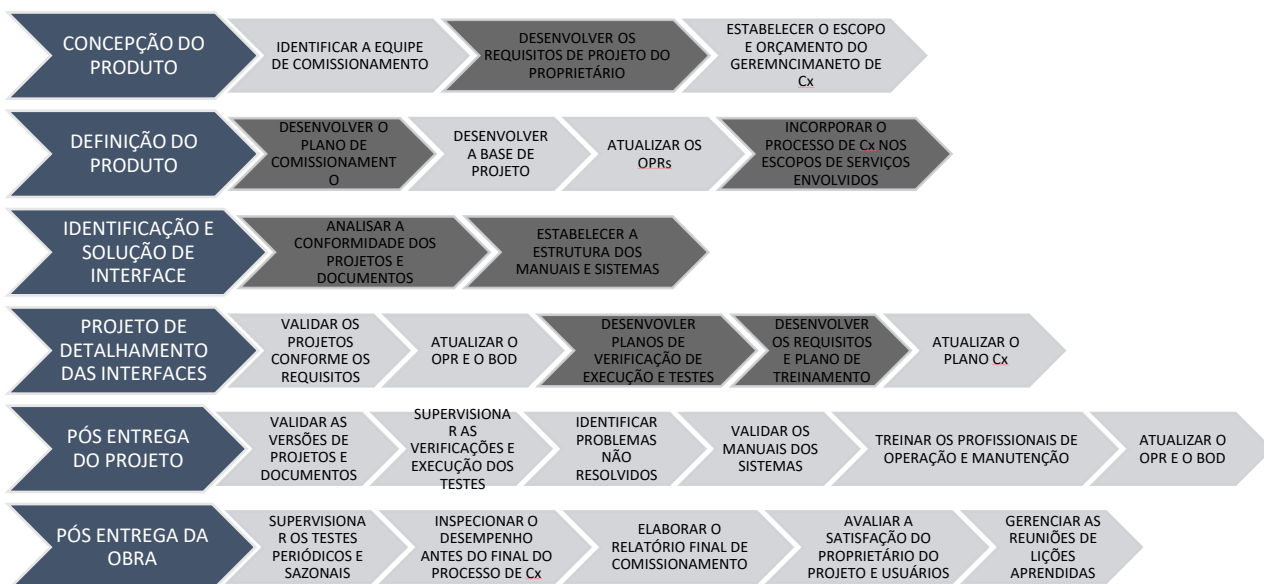
6 RESULTADOS

Esse capítulo aborda os resultados da pesquisa. Primeiramente, apresenta-se o modelo empregado para a execução do comissionamento, com suas etapas e produtos esperados. Após a apresentação do modelo, apresenta-se os produtos de comissionamento, ou seja, as atividades que devem ser realizadas para comissionar um sistema predial de água quente.

A pesquisa elaborada por Ishida (2015), que apresenta o modelo conceitual para o comissionamento de sistemas prediais hidráulicos e sanitários, possui diversas atividades que são relativas gestão do processo. Dentre elas pode-se citar atualização e validação dos diversos documentos ao longo do processo e a identificação dos problemas não resolvidos entre outros.

Na Figura 6.1 está apresentado um fluxograma com as etapas do comissionamento descritas por Ishida (2015). As atividades marcadas em cinza escuro são as abordadas nesta pesquisa.

Figura 6.1 - Etapas previstas no modelo conceitual proposto por Ishida (2015)

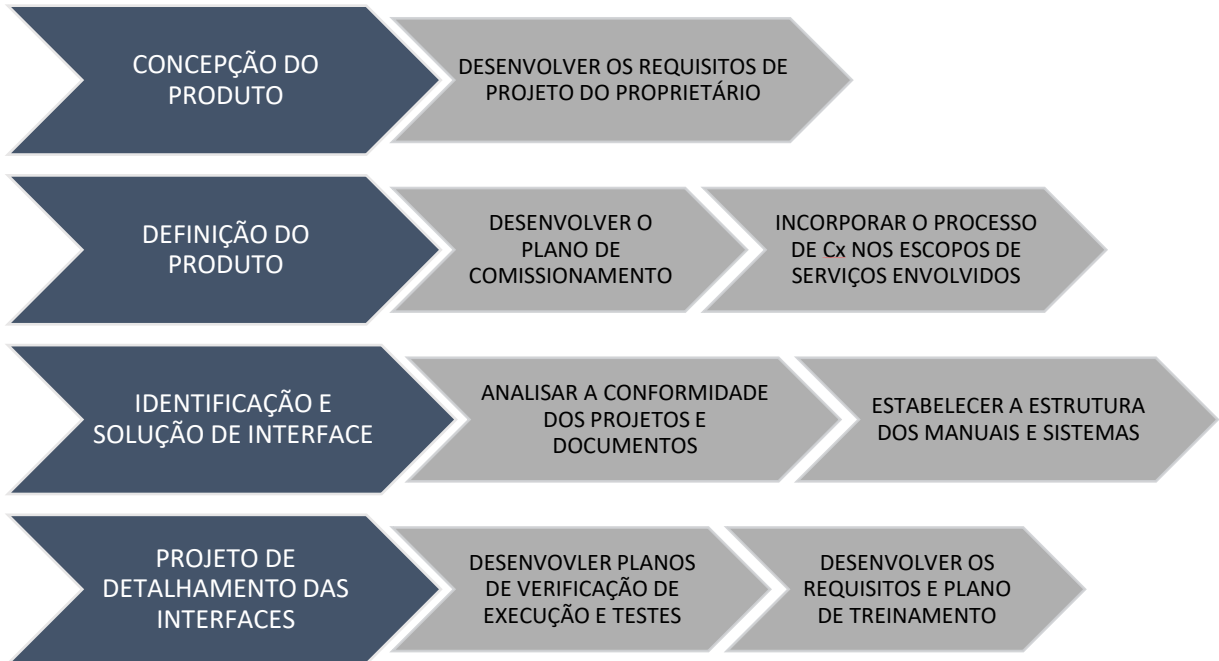


Fonte: Autor (2021), com base em Ishida (2015).

Outras atividades apresentam variações e particularidades específicas ao projeto em questão, a exemplo da identificação da equipe de comissionamento e a definição do escopo e orçamento para comissionamento. Desse modo, para o desenvolvimento

dessas atividades, seria necessária a elaboração de um estudo de caso, que não é o objetivo desta pesquisa. Tendo isso em consideração, as etapas abordadas nesta pesquisa podem ser resumidas, conforme ilustrado na Figura 6.2.

Figura 6.2 - Etapas abordadas na pesquisa



Fonte: Autor (2021).

6.1 REQUISITOS DE PROJETO DO PROPRIETÁRIO (CX-A 002 - OPRs)

Os Requisitos de Projeto do Proprietário foram desenvolvidos com base na ISO 19208 (ISO, 2016), de acordo com as características do sistema, normas técnicas, referências internacionais, bem como nos pontos previamente expostos nessa pesquisa.

Uma vez que os requisitos normativos empregados no estabelecimento dos OPR's não têm a intenção de ser idênticos aos requisitos normativos, tendo uma abordagem mais voltada ao desempenho e com valores limites mais restritivos, não haverá problemas de incompatibilidade entre os OPR's e as normas técnicas. Além disso, a pesquisa também aborda requisitos que não estão presentes nas normas, uma vez que estas tendem a abordar apenas os requisitos mínimos para o desempenho do sistema.

Devido à natureza flexível dos OPR's, em que diversas definições e especificações são feitas pelo proprietário e não precisam se ater apenas aos requisitos normativos,

os requisitos foram desenvolvidos de modo a permitir o estabelecimento de valores e exigências extra normativas.

Esses dados, que necessitam ser especificados pelo proprietário ou seu representante, estão presentes no item Dados Necessários, dentro de cada um dos critérios de desempenho estabelecidos. Na Figura 6.3 estão apresentados os pontos abordados nesse item.

Figura 6.3 - Etapas abordadas na pesquisa para o estabelecimento dos OPRs



Fonte: Autor (2021).

6.1.1 Resistência mecânica das tubulações suspensas

O espaçamento entre suportes, ancoragens ou apoios devem ser instalados do modo que os níveis de deformação das tubulações sejam compatíveis com os materiais empregados.

Os componentes de fixação e suporte das tubulações, assim como as próprias tubulações, sejam estes aparentes ou não, devem resistir, sem entrar em colapso, à carga especificada. No caso de tubulações rígidas, a carga aplicada na tubulação não pode incorrer em uma flecha que exceda o valor máximo especificado. Atenção especial deve ser dada quando tubulações flexíveis são empregadas.

6.1.1.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a) a carga de teste e a flecha máxima permitida, sendo que a deformação não pode exceder 0,5% do vão (ABNT, 2013c) e;
- b) a carga de teste, que deve ser, no mínimo, cinco vezes o peso da tubulação preenchida de água (ABNT, 2013c).

6.1.2 Resistência mecânica das tubulações aparentes

Os trechos de tubulação acima do nível do piso, com uma altura inferior ao limite especificado, devem resistir aos impactos que possam ocorrer durante a vida útil do sistema sem sofrer perda de funcionalidade ou ruína.

6.1.2.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a) a altura limite para os trechos a serem testados, sendo que a altura limite deve ser inferior a 1,5 m do piso acabado (ABNT, 2013c), e;
- b) a energia a ser aplicada nos testes de impacto e ruína, que devem ser superiores aos valores especificados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Impactos atuantes em tubulações aparentes

TIPO DE IMPACTO	IMPACTOS ATUANTES EM TUBULAÇÕES APARENTES	
	IMPACTO DE UTILIZAÇÃO	IMPACTO LIMITE
Corpo Mole	120 J	240 J
Corpo Duro	2,5 J	10 J

Fonte: NBR 15575-6 (ABNT, 2013c).

6.1.3 Resistência a sobrepessões

A sobrepessão decorrente do fechamento dos componentes hidráulicos não pode superar os valores especificados nos pontos críticos estabelecidos. No caso da possibilidade de ocorrência de sobrepessões que superem os valores especificados, o projeto deve prever meios para absorver e atenuação a sobrepessão da água.

6.1.3.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a) a sobrepressão máxima admitida, que deve ser inferior a 200 kPa (ABNT, 2020a)
- b) a necessidade de meios de alerta de ocorrência de sobrepressão; e
- c) a necessidade de meios de segurança adicionais, a exemplo de válvulas de alívio e de atenuação de sobrepressões.

No caso do uso de válvulas redutoras de pressão, o sistema deve ser projetado prevendo meios de impedir o aumento da pressão a jusante das válvulas no caso de falha no seu funcionamento, a exemplo de válvulas de alívio de sobrepressão. Caso contrário, os componentes do sistema a jusante da válvula devem ser capazes de resistir à pressão estática atuante a montante da mesma (ABNT, 2020a).

6.1.4 Resistência a dilatação térmica dos componentes

A dilatação dos materiais e da água, causada pelo aumento da temperatura, não deve incorrer em risco de ruptura ou aumento da pressão do sistema. Devem ser previstos meios e medidas, a exemplo do uso de juntas de dilatação, liras e vasos de expansão, bem como pontos fixos e móveis para evitar seus efeitos deletérios no sistema.

6.1.4.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- os materiais das tubulações;
- a temperatura de operação da água quente.

6.1.5 Risco de explosão

O sistema deve conter meios de alívio e proteção no caso da temperatura e/ou a pressão da água ultrapassem os valores máximos permitidos pelos componentes e materiais especificados. No caso da necessidade de redundância dos meios de segurança e de alerta de falha do sistema, as mesmas devem ser definidas antes do início do projeto.

6.1.5.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a pressão e temperatura limite para o sistema em função dos materiais empregados; e
- a necessidade de redundância dos meios de segurança e os meios de alerta de ocorrência de anomalias no sistema.

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a) o sistema deve contar com componentes para alívio de pressão e temperatura, a exemplo de válvulas de alívio e segurança, além de componentes que possuam função automática de corte de fornecimento de energia no caso de superaquecimento da água.

6.1.6 Risco de queimaduras por contato

A temperatura das superfícies expostas dos componentes do sistema de água quente não pode superar os valores especificados, nem incorrer em riscos de queimaduras por contato com os componentes quando o sistema se encontra em sua temperatura de operação normal.

No caso de temperaturas que possam incorrer em queimaduras e a impossibilidade de isolamento térmico das superfícies dos componentes, a exemplo de coletores solares, devem ser tomadas medidas para alertar os usuários, a exemplo de instruções de uso, placas de alerta e meios para restringir o acesso ao local dos componentes.

6.1.6.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a) a temperatura máxima para as superfícies expostas;
- b) os meios e medidas de segurança e alerta que devem ser empregados, a exemplo de isolamento térmico, placas de aviso, controle de acesso a áreas em que os componentes que não podem ser isolados possam ser localizados, entre outros.

6.1.7 Risco de escaldamento do usuário

Durante a operação normal do sistema, a temperatura máxima da água misturada nos pontos de utilização que os usuários têm acesso não pode incorrer em escaldamento nem superar o valor especificado.

6.1.7.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a) a temperatura máxima nos pontos de uso qual os usuários têm acesso; e
- b) se existem pontos de atenção particular para o uso de água quente com usuários fragilizados (hospitais, escolas etc.).

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a), onde houver possibilidade de a água quente ultrapassar 45°C em pontos de utilização de água quente para uso corporal, deve-se empregar recurso de segurança intrínseca com atuação automática para limitar a temperatura a este valor.

6.1.8 Estanqueidade das tubulações do sistema

As tubulações e componentes do sistema predial de água devem apresentar estanqueidade quando submetidas aos procedimentos descritos no plano de testes e verificações. O projeto deve prever os meios para execução dos testes durante a fase de execução e meios de verificação da estanqueidade durante a operação do sistema.

6.1.8.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto, para cada trecho a ser testado, as temperaturas e pressões de operação e teste (máxima e mínima). As temperaturas e pressões devem ser definidas com base na temperatura de operação prevista para o trecho em questão, respeitando os limites de resistência dos componentes empregados no sistema, sendo que a temperatura mínima deve ser de 80°C (ABNT, 2020a).

6.1.9 Geração e armazenamento de água quente

O sistema de geração e armazenamento de água quente deve ser projetado para atender a demanda de água quente necessária para execução das atividades e processos consumidores, considerando:

- a tipologia da edificação e seu perfil de uso, especialmente os picos de consumo;
- as características das atividades e processos consumidores especificados, ou seja, vazão, pressão e temperatura de uso;

- as fontes de energia disponíveis no local e especificadas pelo proprietário do projeto, considerando as legislações aplicáveis;
- o nível de automação e capacidade de gestão de água e de energia demandados pelo sistema de aquecimento no sistema de distribuição de água quente, considerando as legislações aplicáveis.
- o nível de eficiência energética desejado, especialmente no caso de certificações ambientais.

Os métodos empregados para o estabelecimento da vazão de projeto devem ser especificados e justificados em projeto. As exigências de sistemas de automação, medição de vazão, volume, calor ou energia, devem ser definidas previamente.

6.1.9.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a tipologia e o local da edificação;
- as fontes de energia disponíveis;
- o tipo do sistema de geração de água quente, seja central coletivo, central privado, individual ou a combinação entre eles;
- as atividades e processos consumidores de água quente, bem como a quantidade e o perfil dos agentes e processos consumidores;
- as áreas técnicas disponíveis para o sistema de geração de água quente;
- adicionalmente, caso aplicável, definir a intenção de certificação ambiental e os níveis de eficiência energética almejados, a necessidade de sistemas de gestão de água e energia e o nível de automação desejado para o sistema.

No caso de sistemas de aquecimento solar, deve-se especificar a fração solar a ser atendida pelo sistema, as condições de sombreamento do local e a área disponível para os coletores solares. Atenção especial deve ser dada a locais que possuem legislações específicas relativas à necessidade de instalação ou previsão de instalação de sistemas medição individualizada de água e de sistemas de aquecimento solar.

6.1.10 Distribuição e uso de água quente

O sistema predial de água quente deve ser capaz de fornecer água dentro das faixas de pressão, vazão e intervalos compatíveis com as atividades e processos consumidores definidos, considerando as condições de uso simultâneo, tempo de espera pela água quente e as oscilações máximas especificadas para as grandezas no ponto de utilização.

Os métodos empregados para a determinação das vazões do sistema devem ser definidos e justificados nos elementos descritivos integrantes do projeto. Atenção especial deve ser dada ao método de determinação de vazões no caso de sistemas que requerem medição setorizada.

No caso do almejo de certificação ambiental, os níveis de eficiência energética e hídrica, bem como os requisitos aplicáveis devem ser especificados.

6.1.10.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- as atividades e processos e consumidores;
- as faixas de vazão, pressão e temperatura de operação;
- as oscilações permitidas para cada uma dessas grandezas durante o uso do sistema;
- o tempo de espera pela água quente;
- a intenção de medição individualizada ou setorizada;
- a intenção de certificação ambiental, quando aplicável, bem como o nível almejado.

6.1.11 Proteção sanitária da água potável

O sistema predial de água quente deve ser projetado de modo a não afetar a qualidade da água, particularmente por meio:

- do contato com materiais inadequados;
- do refluxo de água servida ou de trechos onde a qualidade é desconhecida ou se encontra comprometida;
- de interligação entre as tubulações do sistema de água quente com sistemas de água não potável, esgoto sanitário e de águas pluviais;

- de formação de biofilme ou pela proliferação de micro-organismos potencialmente patogênicos;
- da presença de trechos de estagnação;
- de contaminação por agentes externos.

6.1.11.1 Dados necessários

Verificar em conjunto com a equipe de projeto se:

- existem sistemas de água não potável na edificação;
- existe a necessidade de controle adicionais sobre os riscos de presença de organismos patogênicos no sistema, a exemplo de *Legionella* entre outros.

6.1.12 Desempenho acústico

Os ruídos gerados pelo funcionamento dos componentes dos sistemas prediais não podem superar as especificações máximas de ruído pela equipe de projeto. O nível pressão sonora do ruído proveniente do funcionamento dos componentes e do sistema deve ser verificado nos ambientes especificados durante o ciclo de funcionamento dos componentes e conforme as normas técnicas, em especial a NBR 10152 (ABNT, 2017) e a NBR 15575-6 (ABNT, 2013c).

Devem ser definidos meios para atenuar as vibrações dos componentes cujo funcionamento ou o próprio escoamento da água pode incorrer em vibrações, a exemplo de bombas, pressurizadores e mesmo tubulações, caso a velocidade da água supere os valores estabelecidos em norma ou caso ela esteja sujeita a ocorrência de sobrepressões durante a operação do sistema.

6.1.12.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- ruídos máximos permitidos para os componentes geradores de ruídos;
- ruídos máximos permitidos para os ambientes próximos aos componentes geradores de ruído;
- os ambientes a serem testados, em função da proximidade com os componentes geradores de ruído.

6.1.13 Durabilidade e vida útil de projeto

O sistema de água quente deve ser projetado de modo que a vida útil de projeto (VUP) seja igual ou superior as especificações. O projeto deve especificar os meios empregados para mitigar os efeitos das intempéries que possam causar desgaste e degradação acelerada sobre o sistema. No caso de componentes ou trechos que necessitam de manutenção em um intervalo inferior a vida útil do sistema, o projeto deve prever acesso conforme especificado nos requisitos de adaptabilidade e manutenibilidade.

6.1.13.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a vida útil de projeto (VUP) desejada para o sistema predial de água quente e para seus componentes;
- os componentes e subsistemas que necessitam de manutenção e substituição em períodos inferiores a VUP estabelecida;
- a durabilidade esperada para os componentes que necessitam de manutenção periódica;
- os períodos e condições de garantia dos componentes empregados que podem ser afetados pelas condições de uso e exposição;
- os meios de proteção empregados para evitar a influência das intempéries sobre o sistema.

Ressalta-se que, de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) o sistema predial de água quente deve ter uma vida útil de projeto mínima de 20 anos.

6.1.14 Manutenibilidade e acessibilidade do sistema

O sistema predial de água quente deve permitir que as atividades de manutenção sejam executadas de maneira facilitada e segura. A setorização do sistema para fins de manutenção deve ser feita através de válvulas de bloqueio e retenção, de modo a permitir a execução das atividades necessárias para a manutenção, testes e verificações previstas para o sistema sem a necessidade de intervenções significativas. No caso da necessidade de intervenções consideráveis para as

atividades de operação de determinado trecho ou componente, o projeto deve especificar os trechos e componentes e as intervenções que devem ser feitas.

Todos os componentes que requerem manutenção periódica ou inspeção devem ser passíveis de acesso pelos operadores e usuários definidos, considerando os espaços necessários para a execução das atividades de maneira segura. Deve-se prever as necessidades de escoamento de água no local onde as atividades serão executadas, ventilação adequada, bem como outros aspectos de saúde e segurança. No caso da necessidade de serviços em altura, espaços confinados, o projeto deve especificar e justificar o motivo.

No caso de subsistemas e componentes que alimentam uma ou mais unidades ou setores, cuja falha ou a parada de um ou mais componentes implica em perda total da funcionalidade do setor em questão, o projeto deve prever redundâncias ou a disponibilidade de componentes adicionais para substituir aqueles que necessitam ser removidos para manutenção, além de meios de alerta de falha, para reduzir o tempo de parada do sistema.

6.1.14.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- os espaços disponíveis e necessários para as atividades de manutenção;
- quais componentes que devem estar em área comum, restrita e privada;
- o nível de intervenção máximo permitido para a execução das atividades;
- o plano de testes e verificações, inclusive a infraestrutura necessária para execução dos ensaios, verificações e inspeções;
- o plano de setorização para a manutenção, por trecho, unidade, economia ou atividade-fim;
- a necessidade de redundância de componentes, de forma que as atividades de manutenção não incorram em parada completa do sistema.

Ressalta-se que, de acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a), deve-se prever, ao menos, um registro de bloqueio ou componente de similar função:

- no barrilete, posicionado no trecho que alimenta o próprio barrilete, posicionado em cada trecho que liga o barrilete ao reservatório de água quente;
- na coluna de distribuição, posicionado a montante do primeiro ramal;

- no ramal, posicionado a montante do primeiro sub-ramal em ao menos um dos ambientes sanitários da unidade autônoma;
- havendo medição individualizada, a montante do hidrômetro.

6.1.15 Uso eficiente da água

O sistema predial deve ser projetado de forma com que seja possível atingir os indicadores de consumo estabelecidos para as atividades e processos consumidores de água. Deve-se atentar para o consumo e para a vazão de água dos aparelhos sanitários empregados, de modo a reduzir o desperdício de água nas atividades e processos consumidores.

O projeto deve prever um plano de setorização que permita o monitoramento do consumo de água quente e a obtenção de meios de verificação dos indicadores de consumo obtidos durante a operação da edificação de acordo com as atividades estabelecidas em cada a ser medido, com a periodicidade e precisão definida.

No caso da intenção de certificação ambiental, os níveis almejados devem ser definidos, bem como os critérios e requisitos que devem ser atendidos.

6.1.15.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- Os indicadores de consumo desejados, em função dos processos e atividades consumidoras;
- O plano de setorização desejado;
- O nível de gestão dos dados que será executado durante a operação, incluindo periodicidade de obtenção de dados, de leitura e as informações necessárias;
- A infraestrutura disponível para os medidores tais como: disponibilidade de eletricidade, espaços técnicos etc.;
- A necessidade de meios de alerta de falha;
- As medidas empregadas para atingir os indicadores de consumo estabelecidos.

6.1.16 Eficiência energética

O sistema de aquecimento deve ser projetado de modo a reduzir a demanda por insumos energéticos para o aquecimento da água, observando as especificações de nível de eficiência definidos. O uso de energia proveniente de fontes solares deve ser avaliado considerando os fatores de insolação, sombreamento e uso, bem como as perdas térmicas inerentes à necessidade de armazenamento e de distribuição de água quente. No caso da intenção de certificação, deve-se estabelecer os níveis almejados.

As perdas térmicas relativas ao armazenamento e distribuição de água quente devem ser minimizadas pelo emprego de materiais isolantes na tubulação, pelo uso de reservatórios com melhor isolamento térmico, pela redução da temperatura de distribuição e pela redução da extensão e do diâmetro dos tubos.

No caso do emprego de sistemas de recirculação de água internos as unidades, deve ser previsto um sistema de automação para que a recirculação ocorra em horários pré-definidos ou apenas sob demanda.

Devem ser previstos sistemas de medição de consumo de energia e de água quente do sistema para permitir a gestão do consumo de energia do sistema, de acordo com as especificações do proprietário. O nível de automação e a capacidade de gestão dos insumos devem ser pré-definidas, bem como as possíveis ações a serem tomadas posteriormente durante a fase de operação, a exemplo de gestão da temperatura da água para redução de perdas térmicas.

6.1.16.1 Dados necessários

Definir em conjunto com a equipe de projeto:

- a intenção de certificação ambiental, inclusive o nível almejado;
- os insumos energéticos disponíveis e, no caso do uso de energia solar, a fração solar almejada;
- o sistema de medição e as informações de saída para análise de resultados e tomada de ações de eficiência.

6.1.17 Flexibilidade e adaptabilidade

O sistema de água quente deve ser projetado para que forneça água quente considerando uma futura alteração no perfil de demanda do sistema e/ou a inclusão de novos processos consumidores previamente definidos.

As soluções definidas para atendimento às alterações previstas não podem incorrer em perda de desempenho do sistema ou falha em atendimento aos requisitos estabelecidos anteriormente. Caso a solução incorra em perda de desempenho, a exemplo da perda de eficiência energética, redução da capacidade de recuperação do sistema ou outros, as mesmas devem ser detalhadas e aprovadas. No caso da necessidade de alterações e intervenções para atender as alterações previstas, as mesmas devem ser previstas e detalhadas em projeto.

6.1.17.1 Dados Necessários

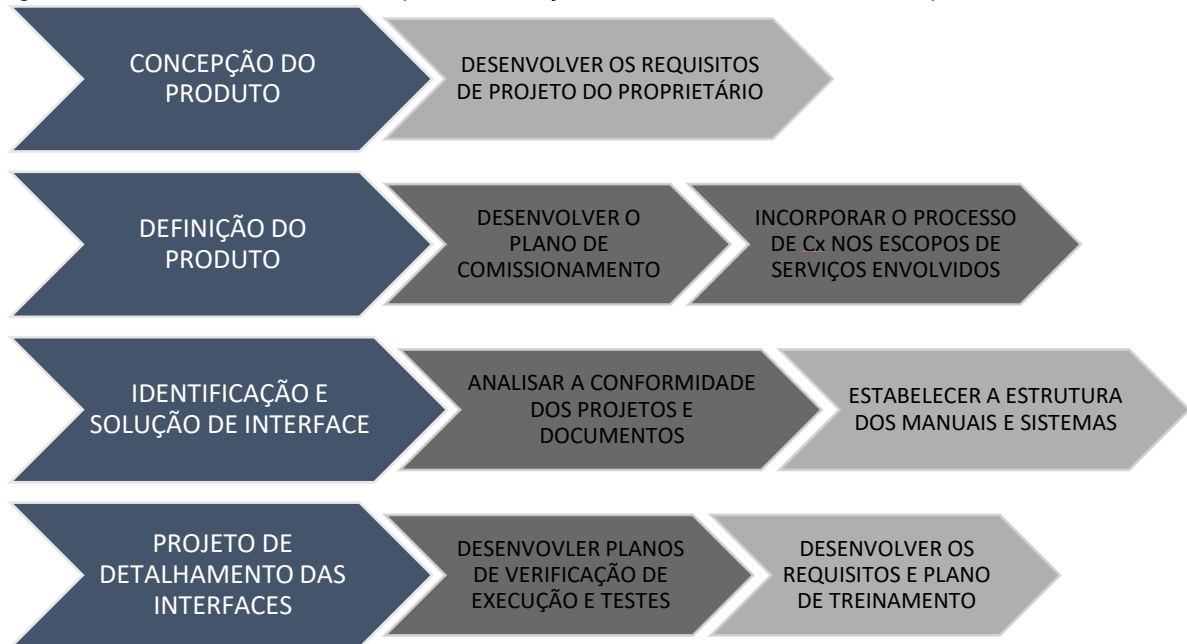
Definir em conjunto com a equipe de projeto, se existe a previsão de:

- aumento da vazão e intervalo de pico de demanda por água quente devido à expansão ou alteração das atividades consumidoras já existentes;
- inclusão de novas atividades e processos consumidores de água quente na edificação, bem como suas características e;
- o nível máximo de intervenção desejado para alterações no sistema durante seu uso.

6.2 VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE

Neste item são abordadas as atividades que têm como função atender aos requisitos e critérios estabelecidos nos OPR's, bem como os métodos empregados para a verificação do atendimento aos mesmos. As atividades estão ilustradas na Figura 6.4.

Figura 6.4 - Atividades abordadas para verificação de conformidade com os requisitos estabelecidos



Fonte: Autor (2021).

6.2.1 Plano de comissionamento (CX-B-001 - PCX)

A verificação do atendimento aos requisitos estabelecidos no OPR's feita é conduzida em três principais fases principais e conforme o modelo conceitual proposto por Ishida (2015). Nesta etapa, deve ser desenvolvido um plano com o intuito de demonstrar a visão do comissionamento como um todo, bem como as atividades a serem executadas e resultados que devem ser obtidos.

Para cada requisito estabelecido, durante as diversas etapas do comissionamento, devem ser estabelecidos:

- as atividades de comissionamento, inclusive testes e verificações que serão executados em campo e os pontos a serem avaliados em projeto;
- as funções e responsabilidade de cada uma das partes envolvidas;
- os canais de comunicação que serão empregados;
- as listas de verificação para a Base de Projeto e para o Plano de Testes e Verificações;
- a estruturação dos manuais e do plano de capacitação dos profissionais;
- os procedimentos de teste de cada requisito, inclusive com a necessidade de infraestrutura e cronograma;

- os documentos e registros de execução e de resultados obtidos para cada uma das atividades e requisitos abordados.

6.2.2 Análise da base de projeto (CX-B-002 - BoD)

A base de projeto é o documento que é elaborado pelo projetista com as soluções que empregadas para obter o desempenho esperado para o sistema, conforme descrito nos OPR's.

Nesta etapa da pesquisa, cada um dos OPR's estabelecidos devem ser abordados e deve ser feita uma verificação para garantir o atendimento aos requisitos estabelecidos. Recomenda-se que a análise das soluções propostas seja realizada por meio de um processo de revisão por pares com a participação do agente de comissionamento, bem como outros agentes do processo, a exemplo do instalador e consultores diversos.

Em todos os casos, o sistema deve ser projetado de modo que ele seja passível de verificação em campo, considerando a necessidade de infraestrutura para execução das verificações em campo e testes. Deve-se prever pontos para instalação provisória ou permanente de medidores de pressão, temperatura e vazão, bem como pontos de drenagem para a água que precisa ser escoada devido a execução dos testes.

Os itens a seguir abordam os pontos a serem verificados durante a BoD para os OPR's estabelecidos, porém ressalta-se que, devido à natureza específica da BoD ao projeto em questão, a inclusão de outros aspectos pode ser necessária.

6.2.2.1 Resistência mecânica das tubulações suspensas

O projeto deve especificar os meios empregados para fixação das tubulações suspensas, considerando os efeitos relativos à dilatação dos tubos, vibrações e compatibilidade entre as fixações e os elementos de vedação ou estruturais.

Os pontos críticos do sistema, a exemplo aos pontos próximos a trechos próximos as bombas, as liras e juntas de dilatação, bem como trechos sujeitos a sobrepressões, devem ser detalhados em projeto.

Durante a análise do projeto deve-se verificar se ele contém:

- as especificações e detalhamento do espaçamento entre os suportes, bem como o tipo (fixos ou móveis) e materiais;

- a compatibilidade entre os elementos de fixação e os elementos estruturais, a exemplo de paredes de *drywall* ou blocos vazados;
- as especificações dos pontos críticos, em especial aos pontos próximos a derivações, liras e juntas de expansão;
- a referência às normas e especificações técnicas relativas à instalação das tubulações.

6.2.2.2 Resistência mecânica das tubulações aparentes

O projeto deve especificar os trechos das tubulações que serão instalados abaixo do limite de altura definido, bem como detalhar:

- os meios empregados para atender aos critérios de resistência a impactos prescritas no plano de testes e verificações e nas normas técnicas;
- os trechos críticos, que definem onde os impactos serão aplicados.

6.2.2.3 Resistência a sobrepressões

O projeto deve especificar a sobrepressão máxima prevista, bem como os pontos críticos, onde os medidores empregados para a verificação da ocorrência serão instalados.

No caso da existência de pontos críticos de controle, a exemplo de componentes que permitem o bloqueio por fechamento rápido durante a operação e válvulas e estações reductoras de pressão, o projeto deve avaliar a necessidade da instalação de componentes com função amortecedora para atenuar a energia de golpes de aríete.

Em todos os casos, deve-se verificar durante a análise da base de projeto (BoD):

- as possíveis fontes geradoras de sobrepressão;
- os meios empregados para a verificação da ocorrência das sobrepressões durante a fase de operação da edificação e, quando aplicável, na fase de execução do sistema;
- a previsão de meios para atenuar a ocorrência de sobrepressões com valores acima da especificação, caso seja necessário.

6.2.2.4 Resistência a dilatação

O projeto deve prever componentes destinados para absorver o aumento da pressão causada pela dilatação volumétrica da água, a exemplo de vasos de expansão. Os vasos devem ser selecionados em função do volume de água reservado ou aquecido, bem como pela potência do sistema de aquecimento.

Os efeitos da dilatação e contração térmicas das tubulações são função das condições de instalação, temperatura da água e do tipo de material. A deformação imposta pela movimentação térmica em mudanças de direção, derivações ou ramificações das tubulações deve ser verificada e o sistema deve ser projetado de modo a absorver estas deformações.

Verificar se o projeto contém:

- as especificações das fixações com pontos fixos e móveis;
- a presença de liras e juntas de expansão, bem como a memória de cálculo para definir como elas foram selecionadas;
- a presença de vasos de expansão ou meios de conter a expansão térmica, caso necessário.

6.2.2.5 Risco de explosão

O projeto deve especificar os componentes ou subsistemas cuja falha no funcionamento normal pode incorrer em pressões e/ou temperaturas superiores aos valores de limite de operação e, conseqüentemente, em risco de explosão do sistema. Os meios empregados para mitigar este risco, a exemplo de válvulas de alívio ou proteção dos componentes, devem ser especificados com base nas características do sistema predial em questão. Em todos os casos, nenhuma válvula pode ser instalada entre os componentes que possam gerar riscos de explosão e os meios empregados para segurança do sistema (ABNT, 2020a).

Os sistemas de aquecimento que contam com aparelhos de acumulação devem conter componentes de segurança automáticos que corte a alimentação de energia em caso de superaquecimento, além de componentes que limitem a temperatura e a pressão da água para os limites admissíveis. Atenção especial deve ser dada a sistemas que contam com aquecimento solar.

As especificações das condições de acionamento dos meios e medidas de segurança empregados, bem como sua sequência de atuação, devem estar presentes no projeto, que deve conter um diagrama com o funcionamento do sistema de segurança e seus componentes.

Os locais e meios empregados para escoar a água quente quando os componentes empregados para garantir a segurança são acionados devem ser especificados. A posição dos mesmos não deve incorrer em risco para o sistema, para os usuários e operadores.

Deve-se verificar se o projeto contém:

- o detalhamento dos pontos críticos de controle, a exemplo de sistemas de aquecimento por acumulação;
- o detalhamento e especificações dos componentes empregados para a segurança;
- as pressões e temperaturas máxima admissíveis;
- as pressões e temperaturas de acionamento dos componentes de segurança;
- o diagrama de funcionamento do sistema de segurança, contendo a ordem de acionamento dos dispositivos.

6.2.2.6 Risco de queimadura por contato

O projeto deve conter as especificações sobre quais componentes possuem superfícies sujeitas a contatos propositais ou acidentais. Essas superfícies devem ter isolamento térmico que evite a ocorrência de queimadura, caso a temperatura de operação supere a temperatura especificada.

No caso de componentes expostos que podem conduzir água com nível de temperatura acima do valor especificado, os mesmos devem ser identificados, isolados e protegidos. No caso da impossibilidade ou inviabilidade de isolamento ou proteção dos componentes, a exemplo de coletores solares, pressurizadores e válvulas redutoras de pressão, elas devem conter meios de alerta aos usuários e operadores do sistema.

Atenção especial deve ser dada aos componentes manuseados durante a operação da edificação, a exemplo de canoplas e alavancas dos componentes e válvulas de controle empregadas. Sobre as fontes de água quente, em especial os aquecedores

de passagem, deve-se verificar se eles atendem as normas técnicas, uma vez que estas especificam a temperatura máxima da capa do aquecedor quando operando nas condições normais de uso.

Verificar se o projeto contém:

- isolamento térmico nas tubulações expostas;
- as especificações dos equipamentos que não podem ser protegidos contra o contato, a exemplo de coletores solares, e os meios empregados para mitigar os riscos.

6.2.2.7 Risco de escaldamento do usuário

A temperatura máxima da água no sistema de distribuição e a tipologia da edificação devem ser observadas para a determinação das medidas de segurança que devem ser adotadas.

O sistema de aquecimento pode possuir controle de temperatura, assim o projeto pode especificar a temperatura de operação, que deve ser inferior a temperatura máxima estabelecida para atuar como um mecanismo de segurança intrínseco. Neste caso, não há necessidade de mecanismos (válvulas, misturadores etc.) termostáticos na distribuição, misturador ou ponto de uso.

Caso a temperatura da água quente superar os valores especificados, medidas de segurança como o emprego de válvulas termostáticas ou válvulas anti-escaldamento, sejam nos pontos de uso ou no sistema de distribuição, devem ser adotadas. Neste caso, as faixas de pressão e vazão de operação dos componentes devem ser especificadas.

Atenção especial deve ser dada para os pontos de uso com vazões e/ou pressões baixas e com temperaturas de água quente elevadas, uma vez que essas condições tornam o sistema mais suscetível a oscilações de temperatura.

Além disso, deve-se verificar se o ramal de distribuição de água fria que abastece o misturador alimenta outros pontos de consumo, em especial aqueles com vazão elevada, uma vez que a abertura desses pontos pode incorrer em uma redução da pressão dinâmica da água fria e, conseqüentemente, da temperatura da água misturada.

Em todos os casos, verificar em projeto:

- se o sistema de aquecimento permite controle de temperatura da água quente;
- a temperatura máxima da água quente distribuída;
- caso a temperatura da água quente na distribuição seja superior a temperatura máxima especificada para não incorrer em riscos de escaldamento, a presença de válvulas, misturadores ou componentes de segurança nos pontos de uso de água quente para uso corporal;
- no caso da necessidade de componentes de controle de temperatura ou segurança, as faixas de pressão e vazão para o funcionamento desses componentes.

6.2.2.8 Estanqueidade das tubulações

Verificar se o projeto possui as especificações das pressões e temperaturas de operação, além de prever a infraestrutura necessária para execução dos ensaios previstos tanto durante a execução do sistema quanto durante a operação do sistema.

6.2.2.9 Geração e armazenamento de água quente

O projeto deve justificar o método empregado para o dimensionamento do sistema de aquecimento e deve conter as vazões de operação, os fatores de simultaneidade e intervalos de pico considerados para o perfil de uso da edificação, em função de sua tipologia. O projeto do sistema de geração e de armazenamento de água quente deve conter as especificações:

- da tipologia do sistema de aquecimento quer seja individual, central coletivo ou privado;
- das fontes de energia empregadas e as suas representatividades no consumo energético total do sistema;
- da potência dos aquecedores e o volume de armazenamento, considerando a estratificação térmica e a capacidade de recuperação do sistema de aquecimento;
- das temperaturas máximas e mínimas de armazenamento e de fornecimento de água quente;
- do nível de eficiência do sistema de aquecimento;
- das perdas térmicas consideradas;

- do diagrama de funcionamento do sistema, especialmente quando especificada a necessidade de sistemas de gestão e automação.

A tipologia do sistema de aquecimento deve ser definida levando em consideração as leis e regulamentações aplicáveis, bem como a infraestrutura disponível no local do projeto. Atenção especial deve ser dada para localizações que possuem legislações referentes a obrigatoriedade da instalação ou a previsão de sistemas de aquecimento solar e medição setorizada/individualizada de água. Nota-se que sistemas centrais coletivos tendem a incorrer uma maior perda de calor na distribuição de água quente que sistemas de aquecimento central privado ou individuais. Assim, o consumo de energia deve ser observado com critério.

No caso de sistemas de aquecimento solar, deve-se verificar o atendimento a fração solar definida, a área de coleta, a demanda por água quente e o método de cálculo empregado para estimar a coleta de energia solar. A escolha por este tipo de sistema seja feita apenas após a execução de um estudo de sombreamento.

Na seleção de aquecedores devem ser consideradas as informações relativas à perda de carga em função das faixas de vazão, pressão e temperatura, da vazão mínima de operação e da pressão dinâmica mínima de operação.

Havendo opção pela desinfecção térmica das tubulações de água quente proveniente do próprio sistema de aquecimento, este deve ter capacidade de gerá-la acima da temperatura definida, considerando as perdas térmicas de distribuição do sistema.

5.2.2.10 Distribuição e uso de água quente

Os métodos empregados para a determinação das vazões de projeto do sistema, bem como a justificativa pela sua escolha, devem ser especificados em projeto. Atenção especial deve ser dada no caso da determinação das vazões em sistemas que contam medição setorizada ou individualizada.

O projeto deve estabelecer e explicitar as faixas de vazão que serão obtidas nos pontos de utilização dos aparelhos sanitários, bem como as condições de simultaneidade estimadas. No caso da exigência de uso eficiente de água e/ou energia devido a certificações ambientais, o projeto deve especificar os meios empregados para garantir o atendimento aos critérios estabelecidos. Os componentes

a serem empregados para obter as vazões previstas devem ser especificados e, no caso de necessidade de regulagem, os procedimentos devem ser referenciados.

A pressão dinâmica mínima nos pontos de utilização deve ser aquela necessária para garantir as vazões e temperaturas especificadas pelo proprietário ou pela equipe de projeto para os pontos de uso, considerando a possibilidade de mistura de água. Dentro das faixas de vazão de projeto, ao se abrir simultaneamente os pontos de utilização previstos nas condições de simultaneidade, o valor da pressão, vazão e temperatura da água no ponto não pode sofrer uma oscilação superior às especificações.

No caso do uso de sistemas de pressurização, deve-se verificar se o sistema conta com bombas dotadas de inversores de frequência ou componente equivalente para manter a pressão dinâmica estável a jusante dos pressurizadores. No caso do uso de válvulas ou estações redutoras de pressão, deve-se observar se os componentes especificados mantêm a pressão dinâmica de saída estável, independentemente da oscilação da pressão dinâmica a montante. Em ambos os casos, os subsistemas de redução de pressão e de pressurização devem permitir a verificação e a regulagem da pressão em condições dinâmicas, além de permitir a execução dos testes funcionais e o monitoramento da pressão de operação durante a vida útil do sistema.

A temperatura da água no sistema de distribuição de água quente deve atender às necessidades dos usuários e aos usos pretendidos, conforme estabelecido no requisito. O projeto deve especificar os métodos de controle das temperaturas de operação e uso, considerando as oscilações máximas permitidas. O projeto deve especificar os componentes a serem empregados para permitir a regulagem da vazão e da temperatura nos pontos de uso, de modo que seja possível obter as temperaturas, vazões e pressões dentro das faixas especificadas sem apresentar variações superem as especificações, a exemplo do uso de componentes que mantenham a temperatura e/ou as vazões e pressões do sistema constantes.

O sistema de distribuição de água quente deve ser concebido e dimensionado de modo que o tempo de espera pela água quente não supere os valores especificados pelo proprietário ou pela equipe de projeto, considerando os pontos menos favorecidos. No caso de sistemas dotados de tubulação de retorno de água quente coletando dois ou mais ramais de distribuição, as vazões de retorno dos ramais devem ser balanceadas de modo a evitar percursos preferenciais.

No caso da previsão de componentes que não serão entregues junto ao sistema e serão instalados após o término das atividades de comissionamento, a exemplo de aquecedores e sistemas de medição, o projeto deve conter as especificações dos modelos indicados, de modo que a instalação destes não comprometa o desempenho do sistema. Atenção especial deve ser dada a perda de carga e as faixas de pressão de funcionamento dos equipamentos não instalados.

Verificar em projeto:

- o método que foi empregado para a previsão das vazões de operação, em especial nos sistemas que possuem medição setorizada;
- as faixas de pressão, vazão e temperatura admissíveis nos pontos de uso e nas estações e componentes de pressurização e de redução de pressão;
- os componentes empregados para manter a temperatura da água misturada estável;
- o tempo de espera pela água quente previsto;
- caso aplicável, as especificações dos componentes que não serão instalados no ato de entrega, em especial relativos as vazões, pressões e temperaturas de operação destes.

6.2.2.11 Proteção sanitária da água potável

Verificar em projeto se existem:

- trechos de estagnação;
- se o sistema conta com pontos de drenagem para a água, em especial no caso da presença de sistemas de acumulação;
- passagem de tubos por solos contaminados.

No caso da presença de sistemas de água não potável na edificação, deve-se verificar:

- o distanciamento entre tubulações de água potável e não potável;
- a diferença entre a pressão de operação entre os sistemas.

No caso da necessidade de cuidados adicionais relativos a riscos de legionelose no sistema, as medidas devem ser definidas em função dos resultados da análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) e o projeto deve abordar e prover soluções para as todas as medidas definidas.

6.2.2.12 Desempenho acústico

O projeto deve especificar os ruídos máximos previstos causados pelo funcionamento dos componentes presentes nas especificações dos fabricantes, quando disponível. Deve-se considerar a possibilidade de ruídos tonais ou impulsivos durante o funcionamento, bem como as diferenças que ocorrem devido a medição em condições laboratoriais e em campo.

Atenção especial deve ser dada a componentes cujo funcionamento incorre em vibrações, a exemplo de bombas e pressurizadores, ou podem incorrer em sobrepressões ou cavitação. Esses componentes devem ser fixados de modo a reduzir a propagação das vibrações e ruídos pelo sistema ou por meio aéreo.

Em todos os casos, deve-se verificar durante a análise da base de projeto (BoD):

- os ruídos máximos previstos para os componentes, de acordo com as informações dos fabricantes;
- as especificações de montagem e fixação dos componentes geradores de vibração e ruído, incluindo bombas, válvulas redutoras de pressão, aquecedores e tubulações, caso aplicável.
- a velocidade máxima prevista para o escoamento da água quente.

6.2.2.13 Durabilidade e vida útil de projeto

Verificar se o projeto contém:

- a descrição de quais componentes são substituíveis, manuteníveis e não manuteníveis;
- a memória de cálculo para evidenciar a durabilidade dos componentes não manuteníveis;
- os meios empregados para proteção dos componentes contra intempéries, a exemplo de carenagens, embutimento ou isolamento, quando aplicável.

6.2.2.14 Manutenibilidade e acessibilidade do sistema

O projeto deve conter um plano de setorização para atender às exigências dos usuários e deve dispor de detalhes da instalação dos componentes que necessitam de manutenção, junto com suas respectivas válvulas de bloqueio. No caso do posicionamento de componentes ou subsistemas em locais que possam incorrer na

necessidade de trabalhos em condição de altura ou de confinamento, o projeto deve justificar a escolha.

Adicionalmente, deve-se verificar se:

- todos os componentes e meios de segurança, como válvulas de segurança, válvulas de alívio de pressão e temperatura, vasos de expansão etc., estão instalados em locais facilmente acessíveis;
- no caso de trechos de tubulações enterradas ou embutidas, se os registros de bloqueio foram projetados de modo a serem instalados em locais de fácil acesso e que permitam seu fechamento, como caixas de proteção, canaletas ou etc.;
- se existem tubulações de limpeza para permitir o completo esvaziamento dos reservatórios de água quente com um registro de fechamento em posição de fácil acesso e operação, situado próximo à saída do reservatório;
- se as estações redutoras estão em área comum ou restrita, em local de fácil acesso para operação e manutenção, em espaço dotado de meio de captação e drenagem da água;
- se o projeto prevê as redundâncias estabelecidas para permitir a manutenção dos componentes críticos do sistema, sem a parada dele. Atenção especial deve ser dada a redutoras de pressão e pressurizadores, bem como outros componentes que alimentam mais de uma unidade ou setor.

6.2.2.15 Uso eficiente da água

O plano de setorização deve ser elaborado para permitir a gestão da água no nível desejado (edificação, subsistema, unidade ou trecho). Recomenda-se que o plano considere as atividades e processo consumidores que ocorrem a jusante dos medidores, de maneira a permitir a definição dos agentes consumidores de maneira mais precisa e melhorar a qualidade dos indicadores de consumo que serão obtidos. Atenção especial deve ser dada a trechos com recirculação de água quente.

O projeto deve especificar:

- as faixas de vazão máxima e mínima do medidor e o método empregado para a determinação das vazões;
- o tipo dos medidores empregados, inclusive a classe de precisão deles;

- o sistema de coleta, transmissão e armazenamento de dados obtidos pelo medidor, inclusive a frequência de captura de dados (emissão de pulsos ou similar), de leitura (emissão de dados) e tempo de armazenamento;
- a infraestrutura necessária para o funcionamento e instalação dos medidores, inclusive a necessidade de pontos de energia e suas especificações;
- a compatibilidade dos componentes do sistema de medição e do programa de leitura de dados;
- as vazões e requisitos sobre os equipamentos sanitários, que devem atender aos valores estabelecidos previamente, especialmente no caso de certificação ambiental.

6.2.2.16 Eficiência energética

Durante a etapa de análise da base de projeto, verificar se o projeto especifica:

- as características dos materiais isolantes empregados e a estimativa das perdas térmicas do sistema;
- o nível de eficiência energética do sistema de aquecimento e a participação prevista para cada uma das fontes de calor do sistema;
- no caso do emprego de sistemas de aquecimento solar, a produção de energia do sistema, a fração solar, bem como as especificações sobre o sistema de automação e as condições de acionamento das bombas e válvulas, que deve priorizar o fornecimento de calor pelo sistema solar;
- no caso de sistemas de medição para gestão da água quente, as características do sistema, a exemplo de periodicidade de leitura, necessidade de infraestrutura para transmissão dos dados, bem como os dados de saída que o sistema irá prover para os operadores e usuárias da edificação.

6.2.2.17 Adaptabilidade e flexibilidade

O projeto do sistema deve prever as necessidades de aumento de demanda ou alteração no perfil sem a necessidade de intervenções significativas no sistema e sem a perda significativa de desempenho dele.

O projeto deve especificar:

- os espaços técnicos necessários para a instalação de novos componentes, inclusive a necessidade de espaços para acesso e execução das atividades de montagem;
- os meios empregados para permitir a alteração da temperatura, pressão e vazão de geração e distribuição de água quente, de forma a atender a alteração no perfil de uso do sistema;
- a necessidade de intervenção prevista para execução das alterações;
- caso a manutenção do desempenho estabelecido seja inviável, os impactos que as alterações futuras podem ter sob o sistema.

6.2.3 Plano de testes e inspeções (CX-D-003)

Neste item estão descritas as atividades relativas ao desenvolvimento dos planos de verificação e testes do sistema em função dos critérios e requisitos estabelecidos. Os testes e verificações devem ser programados em função do planejamento da obra, de modo a reduzir a interferência entre as atividades. Exemplo de interferência é a execução de testes de estanqueidade previamente ao fechamento de paredes e forros, de modo que possíveis vazamentos sejam localizados de maneira facilitada.

6.2.3.1 Resistência mecânica das tubulações suspensas

O ensaio pode ser feito em uma instalação tipo, seja em laboratório ou em campo, onde, após o término do sistema as tubulações devem ser sujeitas a carga especificada no ponto crítico do trecho, conforme definido em projeto, por 30 minutos. A flecha máxima causada pela carga imposta deve ser medida e registrada.

Durante a montagem dos trechos a serem testados, deve-se verificar se as fixações se encontram em conformidade com as especificações de projeto. A compatibilidade entre os elementos de fixação e elementos estruturais ou de vedação/partição dos ambientes deve ser observada.

O teste deve ser realizado na temperatura e pressão de operação definidas em projeto, tendo em vista verificar se as fixações permitem a movimentação prevista para absorver a dilatação do sistema e não apresenta vazamentos.

6.2.3.2 Resistência mecânica das tubulações aparentes

Após o término do sistema as tubulações aparentes devem ser submetidas ao ensaio descrito na NBR 15575-6 (ABNT, 2013c). O teste deve ser feito com a tubulação preenchida de água, com a pressão e a temperatura de operação previstas em projeto. Os impactos devem ser aplicados na seção crítica, conforme previsto em projeto.

Após os testes, a tubulação deve ser inspecionada para verificar a ocorrência de fissuras e danos aos componentes, além do trecho em questão ser sujeito ao teste de estanqueidade previsto no plano de testes e verificações.

O ensaio pode ser feito como protótipo, seja em um laboratório terceiro ou na obra.

Os trechos aparentes devem ser inspecionados periodicamente durante a operação da edificação, para que seja possível verificar se eles apresentam danos, vazamentos ou exsudações. No caso da ocorrência de perda de estanqueidade, o trecho deve ser reparado e a estanqueidade do trecho deve ser testada novamente.

6.2.3.3 Resistência a sobrepressões

O plano de verificação da resistência a sobrepressões deve ser elaborado em função dos meios empregados para medição e atenuação das sobrepressões do sistema e dos pontos críticos de controle.

Durante a fase de execução do sistema, a instalação dos componentes com função de amortecedores, válvulas de alívio e/ou outros meios especificados deve ser inspecionada. Quando possível, testes devem ser feitos para simular a ocorrência de sobrepressões e se os meios de atenuação estão operando corretamente.

A verificação da ocorrência de sobrepressões no sistema durante a operação deve ser feita pela leitura dos medidores e/ou sensores que permitam a medição dos valores máximos. Após a leitura, caso aplicável, o instrumento empregado para a leitura das pressões deve ser regulado de volta a pressão de operação normal.

Em todos os casos, a magnitude da sobrepressão deve ser registrada tanto no relatório de comissionamento, quando verificada durante a execução, quanto nos registros do plano de manutenção, quando verificada durante a operação da edificação e do sistema.

6.2.3.4 Resistência a dilatação

A verificação da resistência a dilatação dos materiais deve ser feita pela inspeção da instalação dos componentes e meios empregados para absorver as dilatações dos materiais, a exemplo de liras e juntas de expansão. Deve-se verificar se as fixações fixas e móveis foram instaladas nos locais corretos de modo a permitir a movimentação das tubulações. Após o sistema entrar em operação ou durante os testes de estanqueidade, deve-se verificar se as tubulações estão sujeitas a esforços consideráveis bem como se as tubulações apresentam deformações devido a impossibilidade de movimentação pelos meios e medidas empregados.

A dilatação da água deve ser verificada por meio da leitura de medidores de pressão próximos aos componentes destinados a absorver a expansão do volume, a exemplo de vasos de expansão. A inspeção deve ser feita antes da entrega do sistema e periodicamente durante a fase de operação e os valores devem ser registrados no relatório de comissionamento e nos registros de acordo com o plano de manutenção.

6.2.3.5 Risco de explosão

O plano de verificação deve ser elaborado em função dos meios empregados para garantir a segurança do sistema, dos usuários e operadores. Durante a fase de execução do sistema, a montagem dos componentes empregados para este fim deve ser inspecionada para reduzir a necessidade de retrabalho posterior no caso de erros.

Os testes devem verificar o funcionamento integrado e a ordem de acionamento dos componentes empregados. A temperatura e a pressão devem ser elevadas até o limite máximo de operação do sistema, onde os componentes devem entrar em operação.

Nota-se que é possível que o sistema não seja capaz de fornecer calor ou pressão suficiente para a execução do teste em condições normais. Neste caso, deve-se prever pontos de conexão e infraestrutura para os componentes necessários para a execução do teste, a exemplo de aquecedores, bombas e pressurizadores.

Durante a operação, a verificação da ocorrência de anomalias no sistema que possam incorrer em riscos de explosão deve ser feita pela leitura dos medidores e sensores instalados no sistema. Todas as verificações devem ser registradas com os valores observados, a data e o responsável pela leitura.

No caso de suspeita de falhas nos componentes ou subsistemas, os mesmos devem ser sujeitos aos testes funcionais, por meio da simulação das condições de acionamento. Neste caso, a pressão e temperatura do sistema devem ser elevadas aos valores limites de acionamento para verificar se os dispositivos, componentes e meios de segurança apresentam funcionamento na ordem de acionamento correta.

6.2.3.6 Risco de queimadura por contato

A avaliação deste requisito durante a fase de execução deve ser feita por meio da verificação da instalação do isolamento térmico nas superfícies expostas do sistema, bem como dos meios de proteção e alerta para os usuários e operadores do sistema nos pontos aplicáveis.

Antes da entrega do sistema, recomenda-se a verificação da temperatura de superfície com câmeras termográficas, sendo que deve priorizar as zonas maior risco de contato, a exemplo de alavancas e manoplas dos registros de controle e válvulas instaladas.

A verificação das temperaturas das superfícies durante a operação do edifício também pode ser feita da mesma maneira. Deve-se verificar se os meios de alerta e proteção se encontram presentes e sem alterações ou danos. No caso de alterações nas temperaturas de operação do sistema, bem como no caso de alterações no sistema em si, devem ser feitas inspeções para garantir que as temperaturas não superem as especificações.

No caso do uso de câmera termográfica, deve-se atentar aos parâmetros de calibração da câmera, a exemplo da emissividade dos materiais, a distância entre a câmera e a superfície, a umidade relativa do ar, entre outros. Além disso, devido a diferença entre a emissividade térmica dos materiais, bem como suas características geométricas, recomenda-se utilizar um material com emissividade conhecida como referência para maior precisão.

6.2.3.7 Risco de escaldamento

Durante a execução do sistema, a avaliação deste requisito deve ser feita por meio da inspeção da instalação dos meios de segurança previstos em projeto e da verificação da temperatura da água nos pontos. Caso a temperatura da água quente

no sistema de distribuição superar a temperatura especificada, deve-se conduzir testes para simular as condições de esaldamento.

A simulação das condições de esaldamento é realizada por meio do fechamento brusco da alimentação de água fria que alimenta o ponto de uso com o mesmo em funcionamento. O teste deve ser feito com a água na temperatura, pressão e vazão de operação especificados. Durante o fechamento, a temperatura da água do ponto deve ser medida, bem como o volume de água liberado.

No caso do emprego de válvulas termostáticas ou outros meios de segurança que necessitam de regulagem, as mesmas devem ser ajustadas antes do início da fase de operação, dentro das faixas de pressão, vazão e temperaturas previstas em projeto. O procedimento de regulagem deve ser feito de acordo com as instruções do fabricante.

Durante a operação, a verificação da prevenção ao risco de esaldamento deve ser feita por meio da medição da temperatura nos pontos de consumo, bem como simulações de condições de esaldamento. A verificação e os testes devem ser feitos com os componentes de segurança regulados e dentro das condições de operação de pressão, vazão e temperatura.

6.2.3.8 Estanqueidade

Após a montagem da tubulação de água quente, as mesmas devem ser sujeitas ao ensaio de estanqueidade e não podem apresentar vazamentos ou queda de pressão quando submetidas a pressão dinâmica 50% superior a pressão estática prevista em projeto, medida no ponto de menor pressão do trecho a ser testado. A pressão de ensaio não pode ser inferior a 100 kPa.

A temperatura de ensaio deve ser definida em função da temperatura de operação de cada trecho a ser testado, sendo recomendado que a temperatura seja superior a 80°C (ABNT, 2020a), medida na tubulação de retorno do sistema, que é o ponto menos favorecido.

O tempo de ensaio deve ser igual ou superior a 1h, contados após a estabilização da temperatura e da pressão no valor definido (ABNT, 2020a).

A infraestrutura da obra deve estar pronta para execução dos testes, sendo que é recomendado que os testes sejam feitos antes da execução das vedações (paredes e forros).

Por questões de segurança recomenda-se que a circulação no local de execução do teste seja restrita ou executar os testes em períodos em que não há muitos colaboradores na obra, a exemplo de finais de semana e feriados.

6.2.3.9 Geração de água quente

Durante a execução do sistema, a montagem do sistema de aquecimento deve ser inspecionada. No caso de sistemas de aquecimento solar deve-se verificar as declividades, ângulos e posicionamento das placas coletoras, bem como a presença de sombreamento do sistema. Após o término da montagem do sistema, os componentes mecânicos devem ser sujeitos ao procedimento de partida de maneira individual e combinada. Todos os aquecedores, válvulas, bombas e o sistema de automação devem ser testados.

Deve-se observar e medir:

- o volume de água máximo fornecido pelo sistema, por meio da abertura de pontos de consumo, considerando a faixa de temperatura de operação especificada, a vazão e intervalo de pico previstos em projeto;
- a capacidade de recuperação do sistema;
- o consumo de energia, seja este gás ou elétrica.

6.2.3.10 Distribuição e uso da água quente

Durante a execução deve-se verificar se os componentes especificados foram instalados em conformidade com as especificações dos fornecedores e descritas em projeto. Os equipamentos que necessitam de regulação devem ser regulados conforme as especificações de projeto e recomendações dos fabricantes. Atenção especial deve ser dada para os componentes de redução e aumento de pressão tais como bombas e válvulas redutoras e de controle de temperatura e vazão, que devem ser regulados em condições dinâmicas. Todos estes componentes devem ser sujeitos aos procedimentos de partida previstos e as vazões, pressões e temperaturas de ensaio devem ser registradas.

Na fase de operação o sistema de distribuição deve ser verificado por meio do emprego de medidores de vazão, pressão e temperatura nos pontos críticos de uso. Deve-se verificar se o sistema é capaz de fornecer as vazões, pressões e temperaturas, sem a ocorrência de oscilações, dentro das faixas especificadas para cada uma destas grandezas considerando os fatores de simultaneidade especificados.

Recomenda-se que esta verificação seja feita nos pontos menos favorecidos, a exemplo daqueles mais próximos e mais distantes do sistema de aquecimento e com maior e menor pressão dinâmica disponível. Deve-se notar que a verificação de oscilações, especialmente da temperatura, necessita de sensores com resposta rápida para a verificação dos resultados.

Durante a operação do sistema, deve-se verificar se os componentes empregados para o controle de vazão, pressão e temperatura, bem como de automação do sistema, apresentam funcionamento adequado. Deve-se verificar os pontos de medição das grandezas, de maneira a garantir que elas se encontram dentro dos limites especificados.

Quando necessário, sugere-se que sejam realizados testes similares ao teste feito durante a fase de execução para verificar se não houve alterações significativas no desempenho do sistema.

6.2.3.11 Proteção sanitária da água potável

Após o término da fase de execução do sistema, deve-se executar o procedimento de limpeza e desinfecção, conforme as normas técnicas e legislações específicas, inclusive dos outros sistemas prediais que são alimentados pela mesma fonte de água como, por exemplo, sistema de combate a incêndio, água fria etc.

A potabilidade da água potável deve ser verificada após o término da instalação e a limpeza do sistema predial de água fria e quente. Recomenda-se que amostras sejam coletadas e analisadas por um laboratório acreditado pelo Inmetro, de modo a garantir a potabilidade da água. O plano de coleta das amostras deve ser definido pelo laboratório contratado.

Os componentes empregados para evitar o refluxo de água devem ser testados conforme as especificações de seus respectivos fabricantes e normas técnicas. No

caso da presença de sistemas de pressurização com mais de uma bomba, deve-se verificar se este apresenta partida alternada entre as bombas.

Os sistemas que possuem a exigência de desinfecção periódica, seja esta térmica ou química, devem ser conduzidos ensaios nos pontos críticos, aqueles mais distantes das fontes de calor ou de armazenamento de água, para garantir que as condições necessárias para a desinfecção sejam atendidas. Os testes devem ser realizados de acordo com o tipo de desinfecção especificado, quer seja química ou térmica.

No caso da presença de sistemas de água não potável, deve-se testar os sistemas para garantir que não existem conexões cruzadas. O teste é feito por meio da abertura de todos os componentes empregados para bloqueio, pela pressurização do sistema de água quente e monitoramento da pressão de ambos os sistemas. No caso da verificação que o aumento de pressão de um sistema possui influência no outro, constata-se que existem conexões cruzadas.

Durante a operação deve-se executar os procedimentos operacionais de limpeza dos reservatórios e filtros do sistema. Recomenda-se que, após a execução do processo de limpeza, novas amostras de água sejam coletadas e analisadas para garantir o atendimento as condições de potabilidade, de maneira similar ao procedimento durante a fase de execução.

Os componentes empregados para evitar a ocorrência de refluxo do sistema devem ser inspecionados e testados conforme as especificações dos fabricantes. No caso da presença de sistemas de água não potável, deve-se conduzir testes de conexão cruzada no sistema caso haja quaisquer alterações ou reformas nas unidades que envolvem os sistemas de distribuição de água potável ou não potável, bem como as peças de utilização.

6.2.3.12 Desempenho acústico

Durante a execução do sistema, deve-se verificar se os componentes geradores de vibração foram fixados de acordo com as instruções de projeto. Após a conclusão da execução dos sistemas, com os equipamentos a serem medidos já instalados e funcionando, deve-se executar as medições da pressão sonora em conformidade com os procedimentos, prescrições e recomendações presentes nas normas NBR 16032 (ABNT, 2020c) e NBR 10152 (ABNT, 2017), nos ambientes geradores de ruído e nos ambientes adjacentes,

Os sonômetros utilizados para fazer a medição devem estar de acordo com as normas técnicas e calibrados por um laboratório independente e deve ser capaz de obter as grandezas especificadas no OPR. Atenção especial deve ser dada a presença de ruídos tonais ou impulsivos.

Recomenda-se que a vibração das bombas e pressurizadores sejam verificadas após os testes de ruído, de modo a definir o perfil de vibração do componente em condições ótimas. Tal medida possibilita verificar se, no caso de ruídos excessivos durante a fase de operação, a bomba precisa de manutenção devido ao desgaste e, conseqüentemente, está gerando ruídos não esperados.

6.2.3.13 Durabilidade e vida útil de projeto

Durante a execução do sistema, deve-se verificar se os componentes estão instalados e protegidos contra as intempéries de acordo com as especificações de projeto. A etapa de verificação em campo se limita a este aspecto, uma vez que, devido ao caráter desse requisito, a verificação e testes em campo não permitem obter previsões sobre a durabilidade e a vida útil do sistema.

6.2.3.14 Manutenibilidade e acessibilidade do sistema

Durante a execução deve-se inspecionar se os componentes empregados para bloqueio e retenção de água, bem como os componentes previstos em áreas comuns foram instalados em conformidade com o projeto.

Deve-se verificar a capacidade de fechamento das válvulas, sendo que não é permitido que o vazamento supere aos valores máximos estabelecidos nas normas técnicas. A verificação pode ser feita pelo fechamento do registro e abertura de pontos a jusante dele. Adicionalmente, recomenda-se que os componentes sejam testados através do fechamento das válvulas e registros de bloqueio em questão e pressurização do trecho a jusante do mesmo com uma pressão 50% acima do valor de operação. Nesse caso, não pode haver queda de pressão no trecho verificado.

Durante a operação do sistema, deve-se verificar periodicamente se os componentes de bloqueio permitem o fechamento da água para fins de manutenção. No caso de alterações nos espaços e acessos aos componentes, deve-se verificar se as alterações implicam em perda de manutenibilidade e de acessibilidade do subsistema ou componente.

6.2.3.15 Uso eficiente da água

A instalação dos medidores de água deve ser inspecionada, verificando a compatibilidade com as especificações, inclusive o sentido e a posição da instalação. O sistema de coleta e transmissão de dados deve ser testado e deve-se verificar, ao menos:

- se os dados são coletados e transmitidos dentro do intervalo de coleta e transmissão pré-estabelecidos;
- se os dados transmitidos são passíveis de verificação pelos programas empregados para a leitura e gestão do consumo.

As vazões de operação de cada aparelho sanitário devem ser verificadas. No caso de aparelhos e componentes que necessitam de regulagem, as mesmas devem ser feitas de acordo com as especificações do fabricante.

Durante a operação, verificar periodicamente:

- se o indicador de consumo se encontra dentro das expectativas de projeto;
- se o indicador de consumo apresenta variações não justificáveis;
- se o sistema apresenta vazamentos ou vazão em períodos onde não o sistema não está em uso. No caso de suspeitas de vazamento em tubulações, o sistema ou os trechos suspeitos devem ser sujeitos a testes de estanqueidade.

6.2.3.16 Eficiência energética

Durante a etapa de execução, verificar no local se:

- os isolantes térmicos foram aplicados corretamente;
- os aquecedores atendem ao nível de eficiência especificado;
- o sistema de automação do sistema de recirculação é acionado de acordo com as especificações (queda de temperatura, horários programados etc.);
- no caso de sistemas de acumulação, os aquecedores ligam de acordo com as especificações de projeto (temperatura de acionamento, vazão de acionamento etc.)
- no caso do uso de sistema solar, o sistema de aquecimento prioriza o abastecimento pela fonte solar;
- o sistema de medição apresenta o funcionamento adequado, transmitindo os dados nos intervalos de coleta e transmissão pré-estabelecidos.

Após a fase de execução for finalizada, verificar periodicamente se o indicador de consumo se encontra dentro das expectativas de projeto e ele apresenta variações não justificáveis.

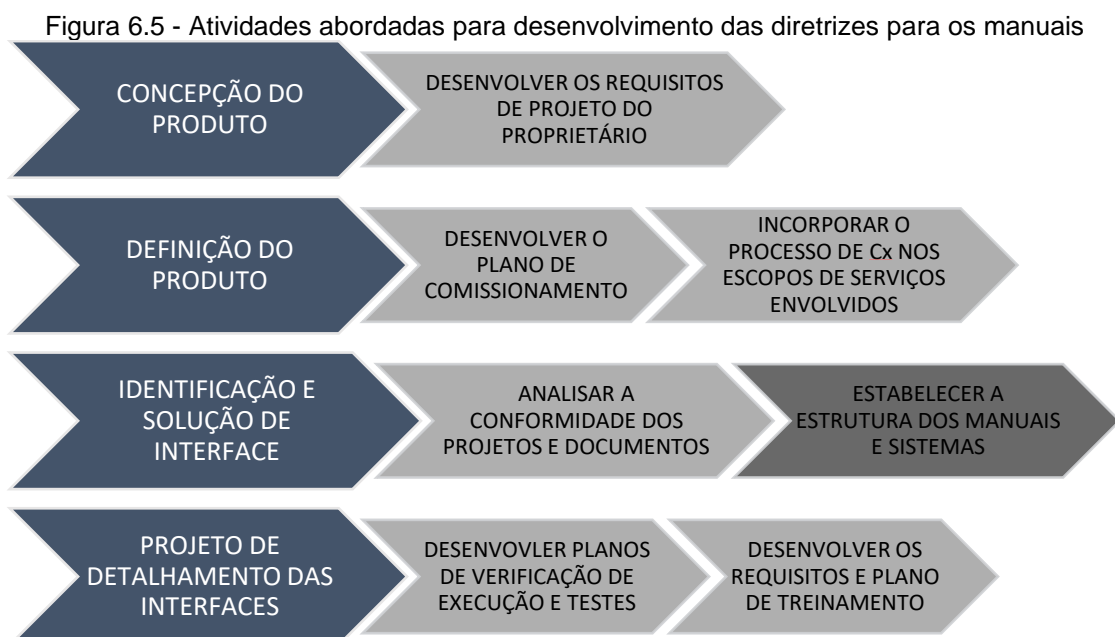
6.2.3.17 Adaptabilidade e flexibilidade

Durante a etapa de execução, verificar no local se:

- os espaços previstos para a instalação estão disponíveis e de acordo com o projeto;
- no caso da previsão de sistemas de gerenciamento de temperatura, o sistema permite alcançar as especificações previstas;
- no caso de previsão de pontos de espera, verificar se eles foram instalados adequadamente e se eles incorrem em possíveis trechos de estagnação;
- ao acesso previsto ao local onde as possíveis alterações futuras estão livres (portas, escadas etc.);
- as condições do entorno foram alteradas, em especial de sombreamento.

6.3 MANUAIS DE EXECUÇÃO E OPERAÇÃO (CX-C-002)

Neste item é abordada a estruturação do manual de execução e operação, conforme presente na pesquisa elaborada por Ishida (2015). A fase da atividade está ilustrada na Figura 6.5.



Fonte: Autor (2021).

6.3.1 Especificações do manual de operação

Devido a requisitos presentes nas normas técnicas NBR 5626, NBR 15575-1 e NBR 15575-6 (ABNT, 2020a, ABNT, 2013b, ABNT, 2013c), os manuais de uso e operação devem seguir a NBR 14037 (ABNT, 2014), que estabelece as diretrizes para apresentação de manuais de uso e operação da edificação. A norma em questão não limita a estruturação dos manuais, porém ela apresenta os pontos que devem ser abordados. Dentre eles notam-se:

- as condições de garantia e assistência técnica;
- o memorial descritivo da edificação, inclusive de seus subsistemas;
- relação de fornecedores, projetistas e utilidades públicas;
- as instruções de operação, uso e limpeza dos sistemas hidrossanitários e de automação;
- programa de manutenção preventiva, registros e inspeções;
- informações complementares sobre meio ambiente, sustentabilidade, segurança, operação, ligação dos equipamentos e documentação legal e técnica.

Além disso, é necessário estabelecer procedimentos de verificação e atividades de gestão de manutenção específicos a edificação em questão, como a periodicidade de leitura dos componentes de medição de pressão e temperatura, a periodicidade das atividades de manutenção, os registros que devem ser mantidos e os responsáveis pelas atividades.

A gestão das atividades de manutenção deve ser feita em conformidade com a NBR 5674 (ABNT, 2012a), que exige uma sistematização das atividades a serem executadas. A periodicidade mínima das atividades de manutenção é estabelecida pela NBR 5626 (ABNT, 2020a), conforme apresentada na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Periodicidade das atividades de manutenção dos sistemas prediais de água quente (continua)

ATIVIDADE	COMPONENTES	PERIODICIDADE
Níveis de pressão	Verificação do funcionamento das válvulas redutoras de pressão	Semestral
	Verificação do funcionamento das válvulas de alívio e válvulas de segurança à pressão	Semestral
	Verificação do funcionamento dos vasos de expansão térmica	Semestral
	Verificação do funcionamento de vasos e tanques de pressão	Semestral

Fonte: ABNT (2020a).

Tabela 6.2 - Periodicidade das atividades de manutenção dos sistemas prediais de água quente (conclusão)

Níveis de pressão	Verificação do funcionamento de bombas e pressurizadores	Semestral
Preservação da qualidade da água	Limpeza dos reservatórios e do sistema de distribuição	Anual
	Verificação do funcionamento de dispositivos de proteção contra refluxo	Semestral
	Verificação da simultaneidade da operação das válvulas redutoras de pressão montadas em estações redutoras de pressão	Semestral
	Verificação da capacidade filtrante de dispositivos e elementos filtrantes	Semestral
	Verificação da deterioração e oxidação dos componentes	Semestral
Estanqueidade do sistema	Verificação da estanqueidade de reservatório	Semestral
	Verificação da estanqueidade do sistema de distribuição	Semestral
	Verificação da capacidade de bloqueio (estanqueidade) dos registros de fechamento	Semestral
	Verificação da estanqueidade das peças de utilização	Semestral
Manutenção geral de componentes	Verificação do funcionamento adequado de peças de utilização	Semestral
	Verificação do estado dos espaços destinados a tubulações não embutidas e não enterradas	Semestral
	Limpeza de crivos de chuveiros, arejadores e peças de utilização (aspectos não estéticos)	Semestral
Níveis de temperatura	Funcionamento das válvulas termostáticas	Anual
	Funcionamento das liras e juntas de expansão	Anual
	Funcionamento dos dispositivos limitadores de temperatura	Anual
	Verificação da temperatura das fontes de aquecimento	Anual
	Verificação da integridade do material isolante dos tubos e componentes do sistema	Anual

Fonte: ABNT (2020a).

As atividades executadas devem ser registradas e os serviços devem possuir rastreabilidade com os profissionais. Para isso, um plano de gestão deve ser estabelecido com os procedimentos a serem executados, grandezas a serem verificadas, periodicidade e responsáveis.

6.3.2 Especificações do manual de execução

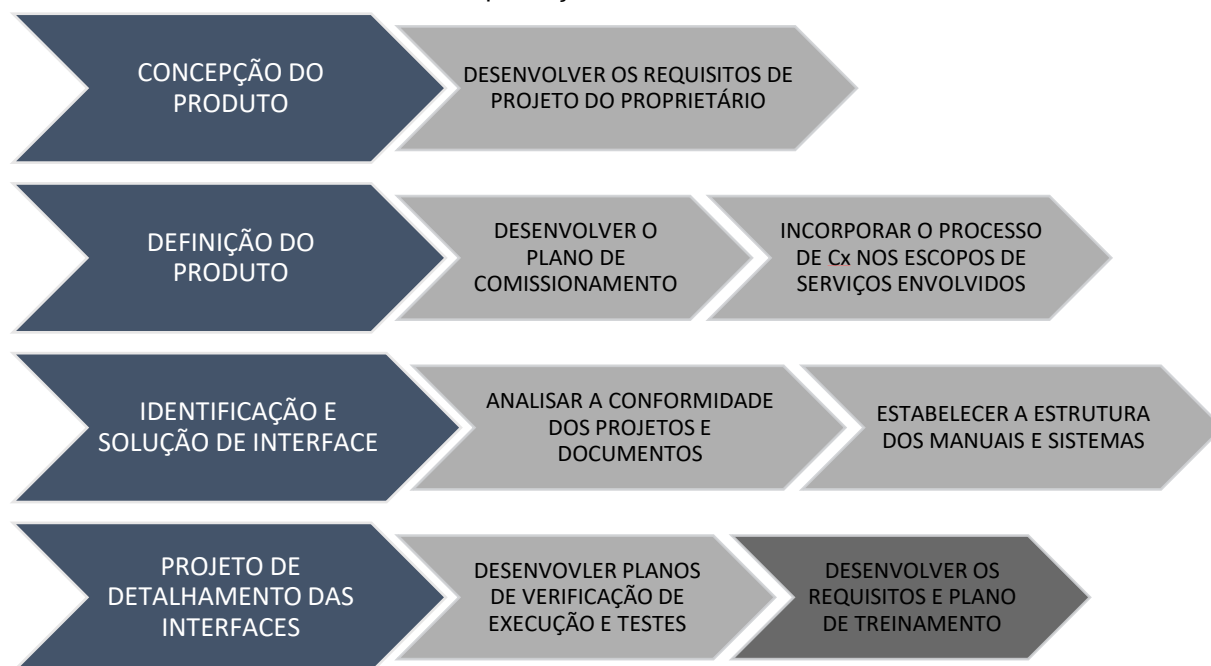
O manual de execução deve abordar, conforme sua formatação própria, os pontos necessários para a compreensão da execução do projeto. Ele deve conter os

procedimentos de ensaio e resultados esperados, verificações e inspeções a serem feitas, datas previstas para os marcos de execução, além da participação dos agentes no processo. As listas de documentos de evidência, a exemplo de lista de verificações, laudos de calibração dos equipamentos de medição empregados e relatórios de ensaio, devem ser descritas no manual.

6.4 PLANO DE CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO (CX-D-004)

Nesse item os requisitos e o plano de treinamento serão abordados, conforme o apresentado no fluxograma da Figura 6.6.

Figura 6.6 - Atividades abordadas durante o desenvolvimento das diretrizes para o plano de capacitação e treinamento



Fonte: Autor (2021).

Sobre a capacitação a nível geral para a mão de obra empregada para execução das atividades de montagem e operação do sistema, o plano de capacitação deve ser feito conforme estabelecido pela NBR 15932 (ABNT, 2013d). A norma em questão estabelece o perfil de competências desejadas para o instalador hidráulico predial e serve como referência para a capacitação geral dos profissionais.

O documento define as Unidades de Competência que são exigidas destes profissionais em função de suas atividades. Considerando o escopo da pesquisa (sistemas prediais de água quente), a capacitação dos instaladores deve ser feita com

base nos Elementos de Competência e Requisitos de Competência presentes nas Unidades de Competência 1, 2 e 5, conforme descrito na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Unidades de Competência sugeridas para capacitação de profissionais de execução

UNIDADE DE COMPETÊNCIA	DESCRIÇÃO
1	Planejar o próprio trabalho.
2	Executar instalações de água fria e quente.
5	Executar instalações de equipamentos hidráulicos e acessórios (louças e metais sanitários), bombas hidráulicas e reservatórios.

Fonte: adaptado de NBR 15932 (ABNT, 2013d).

Os profissionais podem ser classificados conforme seu nível de capacitação. De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a), a classificação dos profissionais é dada em três níveis, conforme descrito na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Classificação dos profissionais aptos a executar serviços em sistemas prediais em conformidade com a NBR 5626 (ABNT, 2020a)

TIPO	DESCRIÇÃO
Habilitado	Pessoa devidamente graduada e com registro no respectivo órgão de classe, com atribuição de elaborar e assumir responsabilidade técnica sobre projetos, instalações, ensaios e outras atividades em que são exigidas qualificação e competência técnica específicas
Qualificado	Pessoa que possui comprovação de treinamento executado por entidade pública ou privada, reconhecida por legislação vigente, para realizar montagens, manutenções e ensaios de acordo com projetos e normas.
Capacitado	Pessoa que recebeu capacitação sob orientação de profissional habilitado e trabalha sob sua responsabilidade, para realizar montagens, manutenções e ensaios de acordo com projetos e normas

Fonte: NBR 5626 (ABNT, 2020a).

A execução das atividades de manutenção pode ser feita tanto pela equipe de operação da edificação quanto por mão de obra terceirizada, especialmente no caso de serviços que requerem mão de obra especializada.

As atividades de manutenção geral, específica a edificação em questão e que envolvem a verificação do funcionamento do sistema, a exemplo de condições de falha de segurança, devem ser feitas pela equipe de manutenção local, uma vez que

esta fica presente na edificação e tem acesso facilitado e melhor entendimento do sistema e suas particularidades.

A definição do tipo do profissional que irá executar e/ou supervisionar os serviços deve ser feita com base na complexidade da atividade em questão. De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020a) o nível de capacitação estabelecido para as atividades de manutenção deve ser conforme a descrição apresentada na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Atividades de manutenção e tipos de profissionais para manutenção de sistemas prediais de água quente

ATIVIDADE	COMPONENTES	PROFISSIONAL
Níveis de pressão	Verificação do funcionamento das válvulas redutoras de pressão	qualificado
	Verificação do funcionamento das válvulas de alívio e válvulas de segurança à pressão	habilitado
	Verificação do funcionamento dos vasos de expansão térmica	qualificado
	Verificação do funcionamento de vasos e tanques de pressão	capacitado
	Verificação do funcionamento de bombas e pressurizadores	qualificado
Preservação da qualidade da água	Limpeza dos reservatórios e do sistema de distribuição	capacitado
	Verificação do funcionamento de dispositivos de proteção contra refluxo	qualificado
	Verificação da simultaneidade da operação das válvulas redutoras de pressão montadas em estações redutoras de pressão	capacitado
	Verificação da capacidade filtrante de dispositivos e elementos filtrantes	qualificado
	Verificação da deterioração e oxidação dos componentes	capacitado
Estanqueidade do sistema	Verificação da estanqueidade de reservatório	capacitado
	Verificação da estanqueidade do sistema de distribuição	capacitado
	Verificação da capacidade de bloqueio (estanqueidade) dos registros de fechamento	capacitado
	Verificação da estanqueidade das peças de utilização	capacitado
Manutenção geral de componentes	Verificação do funcionamento adequado de peças de utilização	capacitado
	Verificação do estado dos espaços destinados a tubulações não embutidas e não enterradas	capacitado
	Limpeza de crivos de chuveiros, arejadores e peças de utilização (aspectos não estéticos)	capacitado
Níveis de temperatura	Funcionamento das válvulas termostáticas	qualificado
	Funcionamento das liras e juntas de expansão	capacitado
	Funcionamento dos dispositivos limitadores de temperatura	qualificado
	Verificação da temperatura das fontes de aquecimento	capacitado
	Verificação da integridade do material isolante dos tubos e componentes do sistema	capacitado

Fonte: NBR 5626 (ABNT, 2020a).

A capacitação dos profissionais de operação deve ser feita de modo com que eles sejam capazes de executar as atividades previstas nos manuais de operação do sistema para que o desempenho deste seja mantido dentro dos níveis esperados.

Sendo assim, o plano de capacitação deve levar em conta as particularidades do sistema, a exemplo dos procedimentos de leitura dos medidores de pressão e temperatura, aspectos de segurança, meios de alerta de falha e procedimentos específicos relacionados ao plano de manutenção estabelecido para a edificação.

A lista de tópicos definidos para cada requisito tem como função estabelecer os pontos básicos a serem cobertos pelo treinamento, porém é necessário considerar que cada sistema tem sua particularidade e que outros pontos devem ser incluídos em função das características próprias.

7 CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a pesquisa foi possível observar que existe uma falta de conhecimento sobre o comissionamento por parte do mercado. A maioria dos agentes consultados tinham um entendimento de que o Comissionamento tem um caráter mais voltado a verificações em campo e testes de entrega, sejam estes funcionais ou não, sem o entendimento do objetivo do processo como um todo.

A falta de pesquisas que abordam o tema, tanto em âmbito nacional quanto internacional, também foi um desafio considerável. As referências sobre comissionamento são mais voltadas ao processo do comissionamento em si, conforme abordado por Ishida (2015), e não as atividades que devem ser executadas durante o processo. As poucas referências encontradas abordam mais as prescrições, regras técnicas e normativas, bem como os procedimentos de inspeção e testes de entrega das partes constituintes do sistema, sem abordar o desempenho do sistema como um todo.

O uso de prescrições não é uma prática incorreta, porém devido ao seu caráter de solução universal para um determinado problema, ela tende a ser superdimensionada para obter os resultados desejados. Assim, seu uso deveria ser restrito a aspectos de saúde, segurança e ambiental, ou a falhas cujas consequências não são facilmente notadas e podem incorrer em danos e perdas severas.

Além disso, devido ao caráter sistêmico do sistema predial de água quente, as prescrições também dependem de um alinhamento técnico entre diversas partes. Um exemplo é o caso do uso de vazões reduzidas e misturadores autocompensadores no mercado americano, onde os testes são realizados em laboratórios de terceiros e independentes. Nesse caso, os testes são realizados dentro de condições unificadas entre os componentes e pré-estabelecidas por normas técnicas para garantir que o desempenho esperado seja atingido. Essas regras e condições podem diferir das regras e condições locais, de modo que elas não garantem o desempenho esperado, caso aplicadas no Brasil.

As inspeções durante a execução e os procedimentos de partida dos diversos subsistemas e componentes do sistema predial de água quente são parte integrante

do processo e devem ser executados nos pontos críticos de controle, como pressurizadores, estações redutoras entre outros. Essas atividades são fundamentais para auxiliar a reduzir o retrabalho e identificar erros prévios a entrega do sistema. Ao mesmo tempo, elas não garantem o desempenho do sistema em si, apenas do subsistema em questão. Essa abordagem, que possui caráter fundamentalmente analítico, tende a não observar erros de caráter sistêmico. Por essa razão não foi adotada como ponto principal nesta pesquisa.

Como exemplo, é possível citar o caso verificado em campo que foi apresentado no item 5.2.3.10.1, onde todos os componentes do sistema foram verificados e todos apresentavam funcionamento adequado quando avaliados individualmente. Mesmo assim, o sistema não apresentava o desempenho esperado tanto pelos usuários, quanto pelo incorporador da edificação. É possível observar que essa condição é passível de ocorrência em outros requisitos e critérios estabelecidos, de modo que o entendimento do processo dessa maneira não permite atingir o objetivo do comissionamento.

Assim, os resultados dessa pesquisa são voltados para o comissionamento do sistema predial de água quente como um todo, em que o desempenho esperado do sistema é definido, verificado e documentado dentro do processo proposto por Ishida (2015). Essa abordagem, em detrimento a uma abordagem mais voltada ao uso de prescrições, inspeções em campo e execução de procedimentos de partida das partes integrantes do sistema, difere dos modelos empregados em outros países, a exemplo dos Estados Unidos e do Reino Unido, onde a prática do comissionamento é mais comum.

Durante a pesquisa também foi possível observar que a etapa de estabelecimento dos Requisitos de Projeto do Proprietário (OPR's) foi trabalhosa devido a diferença entre a estrutura dos requisitos presentes nas normas técnicas aplicáveis ao sistema de água quente e do modelo conceitual empregado para definição do desempenho, que foi baseado na ISO 19208 (ISO, 2016).

O principal motivo dessa dificuldade é o fato que as medidas empregadas para atendimento aos OPR's necessitam ser passíveis de verificação durante e após a execução do sistema, o que não é uma prática comum no mercado na data da pesquisa. A NBR 5626 (ABNT, 2020a) não apresenta métodos de verificação para diversos requisitos e critérios estabelecidos. Isso era esperado, uma vez que a norma

não foi desenvolvida considerando a execução do comissionamento. A NBR 15575 (ABNT, 2013b, ABNT, 2013c) apresenta uma estrutura compatível com o comissionamento, porém ela possui relação direta com a norma de sistemas prediais de água fria e quente, fazendo com que o problema ainda persista, especialmente nos requisitos de habitabilidade.

Assim, observa-se que para facilitar a execução do comissionamento dos sistemas prediais de água quente as normas técnicas necessitam de uma atualização, de modo a abordar o desempenho do sistema e incluir métodos de verificação dos requisitos e critérios, bem como uma reestruturação dos requisitos já estabelecidos. Essa ação é fundamental para o processo, uma vez que com critérios e métodos não normalizados é possível estabelecer exigências iguais e obter resultados diferentes para um mesmo sistema.

Em suma, a normalização com um foco no modelo proposta pela ISO 19208 (ISO, 2016) tenderia a harmonizar o processo e os resultados obtidos, bem como facilitar o processo como um todo. Essa abordagem também ajudaria a padronizar a identificação de falhas em edificações existentes, além de classificá-las de modo a formar um banco de dados de falhas, o que permitiria o desenvolvimento de um sistema de hierarquização de requisitos e, conseqüentemente, melhor alocação de custos de controle de qualidade e de falhas, o que otimizaria o processo.

Também é necessário ressaltar que os resultados a serem obtidos pelo atendimento a alguns dos critérios não são passíveis de verificação apenas com uma medição ou teste durante a execução e entrega do sistema. Essa observação se aplica especialmente a eficiência energética e a eficiência no uso da água, uma vez que os resultados reais só são passíveis de verificação durante a operação do sistema.

Esses resultados não podem ser verificados apenas com uma única medição, uma vez que a avaliação da eficiência com um resultado único tende a incorrer em erros graves. Para verificar se os resultados esperados foram obtidos, é necessário monitorar o desempenho durante a fase de uso e operação, bem como adotar as atividades operacionais para fazer com que os resultados sejam ótimos.

Considerando que as edificações tendem a ter uma ocupação variável durante os primeiros anos após a sua entrega, essa fase tende a ser longa devido a necessidade de estabilização do perfil de uso e ocupação. Assim, ressalta-se a necessidade de um

sistema de gestão permanente de insumos para obter os resultados esperados, bem como a necessidade de recomissionamento do sistema para obter resultados ótimos.

7.2 CONCLUSÕES

O comissionamento é um processo trabalhoso, principalmente porque, no momento da pesquisa, ele ainda possui um caráter inovador uma vez que é pouco praticado pelas empresas de construção, bem como pelos proprietários da edificação. A mudança no processo construtivo em todas as suas fases, que é necessária para a execução do comissionamento, é trabalhosa por não ser habitual ao mercado.

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver as atividades necessárias para execução do comissionamento dos sistemas prediais de água quente, segundo o modelo conceitual proposto por Ishida (2015).

Os Requisitos de Projeto do Proprietário (OPR's) estabelecidos para os sistemas prediais de água quente foram desenvolvidos com base nos critérios e requisitos das normas técnicas vigentes, adaptados para o modelo proposto pela norma ISO 19208 (ISO, 2016). Foram desenvolvidos dezesseis OPR's para o sistema predial de água quente, que foram classificados em acordo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b), ou seja, em requisitos de Segurança, Habitabilidade e Sustentabilidade.

Para cada um dos OPR's foram desenvolvidos ou propostos meios ou métodos de verificação da conformidade com os critérios e requisitos, tanto na fase de projeto, ou seja, pela análise da Base de Projeto (BoD) ou por testes funcionais e inspeções em campo.

É necessário destacar que na fase de pesquisa exploratória não foi possível encontrar métodos de verificação para alguns critérios e requisitos de desempenho do sistema predial de água quente. Assim, alguns destes foram desenvolvidos ou propostos, a exemplo da verificação da capacidade de geração e armazenamento de água quente e a verificação das vazões nos pontos de uso. Tais métodos deveriam ser executados em mais locais para obter uma amostragem maior de resultados, bem como passar por um monitoramento durante a fase de operação dos sistemas, para garantir que as propostas possuem adesão a realidade e garantem o desempenho esperado do sistema.

As atividades de estruturação dos manuais e de treinamento da equipe de operação contam com referências pré-estabelecidas pelo mercado. As normas NBR 14037 (ABNT, 2014), NBR 5674 (ABNT, 2012a) e NBR 15932 (ABNT, 2013d) estabelecem as diretrizes para a execução do Manual de uso e operação da edificação e do plano de gestão de manutenção, bem como do perfil profissional dos instaladores hidráulicos. A existência desses documentos, que têm caráter estruturante para o comissionamento, são de grande valia para facilitar o processo.

Com o desenvolvimento dessas atividades, aplicadas ao modelo conceitual para o comissionamento desenvolvido por Ishida (2015), é esperado que o desempenho dos sistemas prediais de água quente seja estabelecido formalmente e atingido, de modo a melhorar a qualidade, produtividade e a eficiência das edificações que contam com sistemas prediais de água quente.

Tendo as conclusões e considerações finais expostas, como sugestão para trabalhos futuros, recomendam-se:

- a atualização das normas técnicas com base na ISO 19208 (ISO, 2016), com a intenção de desenvolver regras técnicas que sejam passíveis de verificação, o que permitiria tanto um comissionamento do sistema de maneira mais simplificada e com processos e resultados padronizados; a aplicação do procedimento proposto e suas atividades em forma de estudos de caso, de maneira a avaliar os resultados, medindo tanto o desempenho obtido quanto os custos necessários para atingi-lo. A aplicação poderia ser feita tanto em casos complexos quanto em casos mais simples de sistemas de aquecimento, edificações residenciais multifamiliares e unifamiliares, não se atendo a projetos de alta complexidade;
- o desenvolvimento de um banco de dados de falhas e patologias, de maneira a retroalimentar o processo e estabelecer prioridades das medidas a serem tomadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2016**. Agência Nacional das Águas. Brasília. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Evolução Da Indústria Brasileira de Gás Natural: Aspectos Técnico-Econômicos e Jurídicos**. Novembro de 2009. Acesso Digital. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?Dw=32427>. Acesso em 19 dez. 2018.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). **ASME A112.18.1: Plumbing Supply Fittings**. New York. 2018

AMERICAN SOCIETY OF SANITARY ENGINEERS (ASSE). **Scald Hazards Associated with Low-Flow Showerheads**. 2012. Acesso online. Disponível em https://www.asse-plumbing.org/media/5214/asse_low_flow_showerheads.pdf. Acesso em 13 ago. 2019.

AMERICAN SOCIETY OF SANITARY ENGINEERS (ASSE). **Guidelines for Temperature Control Devices in Domestic Hot Water Systems**. 2016. Disponível em https://www.asse-plumbing.org/media/5216/asse_guidelines_for_temp_control_devices.pdf. Acesso em 10 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação Predial de Água Fria. Rio de Janeiro. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8130**: Aquecedor de água a gás tipo instantâneo - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15345**: Instalação predial de tubos e conexões de cobre e ligas de cobre - Procedimento. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569**: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Requisitos de projeto e instalação. Rio de Janeiro. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-6**: Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 6: Sistemas Hidrossanitários. Rio de Janeiro. 2013.

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 E PP-RCT - Requisitos. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15813-3**: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria - Parte 3: Tubos de polipropileno copolímero *random* PP-R E PP-RCT - Montagem, instalação, armazenamento e manuseio. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15884-1**: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria - Policloreto de vinila clorado (CPVC) - Parte 1: Tubos - Requisitos. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15884-1**: Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria - Policloreto de vinila clorado (CPVC) - Parte 3: Tubos - Montagem, instalação, armazenamento e manuseio. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15932**: Qualificação de pessoas no processo construtivo de edificações - Perfil profissional do instalador hidráulico predial. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16032**. Acústica - Medição de nível de pressão sonora de equipamentos prediais de edificações - Método de Engenharia. Rio de Janeiro. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16782**: Conservação de água em edificações - Requisitos, procedimentos e diretrizes. Rio de Janeiro. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16824**: Sistemas de distribuição de água em edificações - Prevenção de Legionelose - Princípios gerais e orientações. Rio de Janeiro. 2020.

ARRUDA, L. B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ATHANAZIO, A. G.; TRAJANO, I. **Análise da origem de defeitos em edifícios habitacionais: uma metodologia baseada em estudo de caso no Rio de Janeiro**.

Congresso latino-americano de tecnologia e gestão na produção de edifícios: Soluções para o terceiro milênio. Pág. 417-424. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SUSTENTÁVEL. **Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil**. Acesso Digital. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2424/1/BS%2024%20Evolu%C3%A7%C3%A3o%20da%20oferta%20e%20da%20demanda_P.pdf. Acesso em 19 dez. 2018.

BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis**. Kluwer academic Publishers. 2002.

BENEDICTO, S. M. O. **Desempenho de sistema predial de águas quente**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

BERNARDES, C. et al; ARKIE, A.; FALCÃO, C. M.; KNUDSEN, F; VANOSSI, G; BERARDES, M.; YAOKITI, T.U. **Qualidade e o custo das não-conformidades em obras de construção civil**. PINI, SECOVI. São Paulo. 1998.

BESTERFIELD, Dale H. **Quality control**. 3a Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. 440p.

BISTAFA. S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo. Edgar Blucher. 2006. 368p.

BOSCH. **RES: Aquecedores de Passagem - Temperatura de Operação de Água Quente** (Mensagem pessoal). Recebida por marco.yamada@axiomengenharia.com.br em 16 jan. 2019.

BUILDING COMMISSIONING ASSOCIATION (BCXA). **History of Commissioning**. Acesso Digital. Disponível em: <https://www.bcxa.org/conference/history/>. Acesso em 12 dez. 2018.

CALEFFI. **Catálogo Técnico Antishock - Amortecedor de Golpe de Aríete**. Disponível em: https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/01020_08en.pdf. Acesso em: 30 out. 2019.

CALEFFI. **Manual Técnico Conteca heat energy meter**. Disponível em: https://www.caleffi.com/sites/default/files/file/01306_20_na.pdf. Acesso em: 10 jan. 2020.

CARDAL. **Manual de Instrução do Aquecedor Individual 3TBL, 4T, Flex e Plus**. Acesso Digital. Disponível em http://www.cardal.com.br/manuais/Manual_Novo_Aquecedor_Individual_IM586_R00.pdf. Acesso em 27 dez. 2018.

CARVALHO, G. C. Usina solar de aquecimento de água. **Téchne**. Maio 2009. Acesso digital. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/146/como-construir-usina-solar-de-aquecimento-de-agua-285764-1.aspx>. Acesso em 17 fev. 2019.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO (COMGÁS); ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PELA CONFORMIDADE E EFICIÊNCIA DE INSTALAÇÕES (ABRINSTAL). **Sistemas de aquecimento de água para edifícios através da associação energia solar e gás natural. Manual técnico para projeto e construção de sistemas de aquecimento solar & gás natural**. 2011. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_de_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural.pdf. Acesso em: 21 jan. 2017.

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA. Water Ratings. Acesso online. Disponível em <https://www.waterrating.gov.au>. Acesso em 15 jan. 2020. Canberra. Australia. 2020.

CONPET. **Dicas de economia e segurança no uso de seu aquecedor a gás**. Acesso online. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A9D2AB137BE52E70137CCFED6017393>. Acesso em 20 jul.2019.

DECA. **Catálogo Metais 2019**. Acesso online. Disponível em: https://files.deca.com.br/static-files/catalogo/pt/deca_metais_2019_v2.pdf. Acesso em: 7 jun. 2019

DIEHL METERING. **Catálogo de produtos online**. Disponível em: <https://www.diehl.com/metering/en/portfolio/water-metering/>. Acesso em 01 nov. 2019.

ELETROBRÁS PROCEL. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005 - Classe residencial - Relatório Brasil**. Rio de Janeiro. 2007.

ELETROBRAS PROCEL. **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros** / Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos; Marcos Alexandre Couto Limberger (Organizadores). - Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.

ELUMA. **Propriedades Físicas Tubos Hidrolar**. Disponível em: <https://www.paranapanema.com.br/showconsenso.aspx?idCanal=3R3cX0gAnWWkhcMY9PfLVw==&idMateria=nixOoQCglHqobqjvEjuHWA==>. Acesso em: 4 fev. 2020.

FARINA, H.; ILHA, M. S. O.; OLIVEIRA, L. H. Alternativas para sistemas prediais de abastecimento de água quente. **Hydro** (São Paulo), v. 28, p.54-58, São Paulo, SP, Brasil, fev. 2009.

FEIGENBAUM, A. V. Total Quality Control. **Harvard Business Review**, v. 34, n. 6, p. 93-101, Nov./Dec. 1956.

FERREIRA, T. V. G. **Modelo de simulação estocástica da demanda de água em edifícios residenciais**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

FOSSA, A. J. **Contribuições para a Modelagem do Sistema de Avaliação de Conformidade na Construção da Infraestrutura Predial para Distribuição e Uso Residencial de Gases Combustíveis**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FREIJE, M; **Legionella Control in Healthcare Facilities - A Guide to Minimize Risk**. Indianapolis, In. 1996.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. 600p. 1992.

GIGLIO, T. G. F. **Influência do usuário na economia de energia obtida por meio do uso de sistema de aquecimento solar de água em habitações de interesse social**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

GIGLIO, T.; LAMBERTS, R.; BARBOSA, M.; URBANO, M. A procedure for analyzing energy savings in multiple small solar water heaters installed in low-income housing in Brazil. **Energy Policy**, v. 72, p. 43-55, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.036>. Acesso em: 06 jan. 2015.

GNIPPER, S. F. **Diretrizes para formulação de método hierarquizado para investigação de patologias em sistemas prediais hidráulicos e sanitários**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2010.

GONÇALVES, O. M., OLIVEIRA, L.H. **Sistemas Prediais de Águas Pluviais**. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

GONÇALVES, O. M., JOHN, V. M., PICCHI, F. A., NEIDE M. N. S. Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações. *In: Normalização e Certificação na Construção Habitacional*. ANTAC, 2003 - (Coletânea Habitare vol. 3), p. 42-53. Porto Alegre. 2003.

GONÇALVES, O. M. **Desempenho e Inovação de Sistemas Prediais Hidráulicos**. Notas de Aula, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2018.

GRAÇA, M. E. A. **Formulação de modelo para avaliação das condições determinantes da necessidade de ventilação secundária em sistemas prediais de coleta de esgotos sanitários**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

GROHE. **GROHE CoolTouch**. Disponível em: <https://pro.grohe.com/19697/about-company/technology/grohe-cooltouch/>. Acesso em: 19 jun 2019.

GUARIENTE, L. J. **Estudo comparativo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar com circulação natural e com circulação forçada**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

HAN, Y. M.; WANG, R. Z.; DAI, Y. J. Thermal stratification within the water tank. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 5, p. 1014-1026, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.001>. Acesso em: 18 set. 2018.

HOLDRITE. Catálogo técnico Holdrite Silencer. Acesso online. Disponível em: <https://www.holdrite.com/download/application-drawing-257-p/?wpdmdl=458&ind=0>. Acesso em 15 ago. 2020.

HYDRA CORONA. **Linha de Produtos**. Acesso Digital. Disponível em <https://www.hydra-corona.com.br/produto-downloads>. Acesso em 27 dez. 2018.

ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, O. B. de. Avaliação do Desempenho de Bacias Sanitárias de Volume de Descarga Reduzido Quanto à Remoção e Transporte de Sólidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 47-61, out./dez. 2002.

INITIATIVE COPPER. **Pressure Testing of Piping Systems**. Mar. 2003. Acesso online. Disponível em: https://copperplumbing.org.uk/sites/default/files/content_attachments/pressure-testing-piping-systems_1.pdf. Acesso em 17 jul. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Censo 2010**. Acesso digital. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/4967#resultado>. Acesso em 5 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria nº 18**: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

INMETRO - PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **Tabela de consumo de energia elétrica - chuveiros elétricos - edição 03/2016**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/chuveiro.pdf>. Acesso em 15 set. 2017.

International Organization for Standards. **ISO 6240**: Performance standards in building - Contents and presentation. 1980.

International Organization for Standards. **ISO 6241**: Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered. 1984.

International Organization for Standards. **ISO 7162**: Performance standards in building - Contents and format of standards for evaluation of performance. 1992.

International Organization for Standards. **ISO 15686**: Buildings and constructed assets - Service life planning. 2011.

International Organization for Standards. **ISO 19208**: Framework for specifying performance in buildings. 2016.

ISHIDA, C. S. F. **Modelo conceitual para comissionamento de sistemas prediais**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

JOHN, V.M.; SATO, N.M.N. Durabilidade de componentes da construção. *In*: **Construção e Meio Ambiente**. ANTAC, 2006 - (Coletânea HABITARE, vol. 7), p. 20-54. Porto Alegre. 2006.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da qualidade - Handbook: conceitos, políticas e filosofia da qualidade**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991. v.1. 377p.

KEMPER, GEBERIT. **Drinking Water Hygiene: Water Supply Circulation Systems Manual**. Acesso online. Disponível em: https://produktkatalog.kemper-olpe.de/media/de/DOK_PRS_Armaturenhandbuch_SEN_AIN_V1.pdf. Acesso em 20 jun 2019.

KLEIN, G. Efficient hot water piping. **Journal of Light Construction**. March, 2013. Acesso online. Disponível em: <https://www.garykleinassociates.com/PDFs/15%20-%20Efficient%20Hot-Water%20Piping-JLC.pdf>. Acesso em 8 out. 2018.

LATERZA, L. B. M. **Estudo teórico e experimental de falhas em conexões de pvc para sistemas prediais de água fria**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LOBATO, M. B. **Sistema de hierarquização de ações de conservação de água em edificações com aplicação do método ELECTRE III**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LORENZETTI. **Manual Aquecedor Versátil 220V**. Acesso online. Disponível em: http://www.lorenzetti.com.br/storage/upload/pdf/-8587918346935472846_aquecedorversatil.jpg. Acesso em 3 out. 2017

MAGUIRE, J.; FANG, X.; WILSON, E. **Comparison of advanced residential water heating technologies in the United States**. National Renewable Energy Laboratory: Technical report, Golden (CO), 2013. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/comparison_water_heating_tech.pdf. Acesso em: 18 set. 2018.

MARTIN, R. L.; RICHARDSON, J. **The Anti-Scald Issue**, 1993 ASSE Zimmer Refresher Course, p. 36-38.

MATEUS, D. **Acústica de edifícios e controlo de ruído**. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008. Acesso online. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/ARE/Apontamentosdadisciplina.pdf>. Acesso em 20 de setembro de 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Plano Nacional de Eficiência Energética - Premissas e Diretrizes Básicas, versão 18-10-2011**. Brasília. 2011.

MITIDIERI FILHO. C. **Avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores destinados a habitações térreas unifamiliares - desempenho estrutural**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MURGEL. E. **Fundamentos da Acústica Ambiental**. São Paulo. Senac, 2007.

NASPOLINI, H. F.; MILITÃO, H. S. G.; RÜTHER, R. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. **Energy Conversion and Management**, [S.l.], v. 51, n. 12, p. 2835-2845, 2010.

NATIONAL WATER COUNCIL. **Leakage control policy and practice**. London. **Department of Environment**, 1980. Standing Technical Committee Report #26.

OLIVEIRA, L. H. O. **Metodologia para a implantação de programa de uso racional de água em edifícios**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

OLIVEIRA, L. H. O. O que influencia as vazões de projeto em sistemas de medição individualizada de água. **Hydro**. Set. 2007. São Paulo. Editora Aranda.

OKAMOTO. P. S. **Os impactos da norma de desempenho sobre o processo de projeto de edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

PASSETO, W. **Problemas de sobrepressão em instalações prediais de água fria**. In: SEMINÁRIO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS, São Paulo: ABES, 1977. 45 p.

PAVANELLO, L. R. **Investigação do ruído gerado por instalações hidrossanitárias em uma edificação multifamiliar**. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

PEDROSO, L. P. **Subsídios para a implementação de sistema de manutenção em campus universitário, com ênfase em conservação de água**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

PETRUCCI, A. L. **Modelo para previsão do comportamento de aquecedores de acumulação em sistemas prediais de água quente**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

PETRUCCI, A. L. **Metodologia para seleção de configuração de sistemas prediais de água em edificações que abriguem múltiplas economias**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PROCEL. **Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)**. 2019. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?View={683221F1-1596-41CF-B239-8BB8B43A355C}>. Acesso em: 20 jul. 2019.

REBOLLO, B. P. **Aislamiento a ruído aéreo entre locales. Estimación de la incertidumbre de medida**. Trabalho de conclusão de curso. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid. Madrid. Espanha. 2011.

RINNAI. **Manual de Instruções Smart Start**. Acesso online. Disponível em: <https://www.rinnai.com.br/uploads/manual/187.pdf>. Acesso em 01 de ago. 2020.

ROCHA, R.R. **Análise e caracterização de soluções acústicas para mitigar os ruídos oriundos de instalações prediais**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SANTOS, A. H. C. **Eficiência Energética e a Contribuição dos Gases Combustíveis: Análise de caso das políticas de avaliação de edificações**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANGOI, J. M. **Análise Comparativa do Desempenho de Sistemas de Aquecimento de Água em Edificações Residenciais**. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências da Educação. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2015.

SANTOS, S.; BEBER, A. J. **Durabilidade e vida útil das estruturas**. In: CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANUTENÇÃO PREDIAL. Itajaí. Universidade do Vale de Itajaí, 2006. 25p.

SÃO PAULO (município). **Lei nº 16.642**, de 9 de maio de 2017. Aprova o Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo; introduz alterações nas Leis nº 15.150, de 6 de maio de 2010, e nº 15.764, de 27 de maio de 2013. Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo, São Paulo: Câmara Municipal, 9 maio 2017. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-sao-paulo-sp>. Acesso em: 5 dez. 2018.

SÃO PAULO (município). Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento - SMUL. Código de obras e edificações: lei nº 16.642, de 9 de maio de 2017; decreto nº 57.776 de 7 de julho de 2017; **COE ilustrado**. Acesso online. Disponível em: https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/codigo_de_obras_ilustrado.pdf. Acesso em: 5 dez. 2018. São Paulo. 2017.

SOWMY, D. S. **Eficiência Energética: Metodologia para Avaliação de Aquecedores de Água Residenciais de Acumulação Elétricos**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

STANDARDS AUSTRALIA. **AS/NZS 3662**: Performance of showers for bathing. Sydney. Australia. 2013.

STANDARDS AUSTRALIA. **AS/NZS 6400**: Water efficient products - Rating and labelling. Sydney. Australia. 2016.

TAMAKI, H. O. **A medição setorizada como instrumento da gestão da demanda de água em sistemas prediais - estudo de caso: Programa de Uso Racional de Água da Universidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

TIGRE. **Catálogo Técnico Aquatherm**. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-aquatherm.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2020.

TIGRE. **Catálogo Técnico PPR Termofusão**. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-ppr-termofusao.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2020.

TIGRE. **Catálogo Técnico ClickPEX**. Disponível em: <https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/default/files/catalogos-tecnicos/2020-02/Cata%CC%81logo%20Clicpex.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2020.

TOMÉ, M. C. **Análise do impacto do chuveiro elétrico em redes de distribuição no contexto da tarifa horossazonal**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

TREIS, F. L. **Simulação de sistemas de aquecimento de água por energia solar com circulação natural**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) - **WaterSense: New Home Specification. Version 1.2** (2014). Acesso online. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/ws-homes-spec.pdf>. Acesso em: jul. 2018. Washington, DC. Estados Unidos.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **LEED v4 for Homes Design and Construction**. Acesso online. Disponível em: https://storage.pardot.com/413862/152996/LEED_v4_ballot_version__Homes_.pdf. Acesso em: jul. 2018. Washington, DC. Estados Unidos.

VIBRASTOP. Catálogo de produtos. Acesso online. Disponível em: <https://www.vibra-stop.com.br/download/Catalogo.pdf>. Acesso em 20 ago. 2020.

WATER INDUSTRY, ENGLAND AND WALES. **Statutory Instrument No. 1148, 1st of April 1999. The Water Supply (Water Fittings) Regulations 1999**. Reino Unido. 1999. Disponível em: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/1999/1148/made>. Acesso em: 18 jul. 2019.

WATER SUPPLIES DEPARTMENT - THE GOVERNMENT OF THE HONG KONG SPECIAL ADMINISTRATIVE REGION. Voluntary Water Efficiency Labelling Scheme

on Showers for Bathing. December 2018 update. Acesso online. Disponível em https://www.wsd.gov.hk/filemanager/en/content_1505/Showers.pdf. Acesso em 15 jan. 2020.

WOLER - INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Catálogo técnico manômetro com ponteiro de arraste**. 2019. Acesso online. Disponível em: <https://www.woler.com.br/manometro-ponteiro-arraste>. Acesso em: 15 out. 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for community noise**. Geneva. 1999.

YAMADA. E. S. **Comparação de custos de sistemas prediais de distribuição de água fria convencionais de medição individualizada**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

YAMADA, M. A. F.; OLIVEIRA, L. H. Avaliação do impacto do uso de chuveiros de vazão restrita no desempenho dos sistemas prediais de água quente. *In*: XIII SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS: DESEMPENHO E INOVAÇÕES DOS SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS, 2019, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2019. p. 45-53. Disponível em: <http://sispred13.pcc.usp.br/Auxiliar/Programa%20XIII%20Sispred%20Final.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.