

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Viabilidade da implementação de um sistema automatizado de  
redirecionamento de água fria que seria desperdiçada no banho**

**MARCELO DALMÉDICO IORIS**

**FLORIANÓPOLIS**

**2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MARCELO DALMÉDICO IORIS**

**Viabilidade da implementação de um sistema automatizado de redirecionamento de água fria que seria desperdiçada no banho**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, Ph.D.

**FLORIANÓPOLIS  
2018**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ioris, Marcelo Dalmédico

Viabilidade da implementação de um sistema automatizado de redirecionamento de água fria que seria desperdiçada no banho / Marcelo Dalmédico Ioris ; orientador, Enedir Ghisi, 2018.

110 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Redirecionamento da água. 3. Desperdício no banho. 4. Aquecedor de passagem a gás. 5. Água quente. I. Ghisi, Enedir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

**VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE  
REDIRECIONAMENTO DE ÁGUA FRIA QUE SERIA DESPERDIÇADA NO  
BANHO**

**MARCELO DALMÉDICO IORIS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido e julgado adequado como parte dos requisitos para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL

Florianópolis, 15 de junho de 2018

Banca Examinadora:



---

Prof. Enedir Ghisi, PhD

Orientador

Prof<sup>a</sup> Liseane Padilha Thives, Dr<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Matheus Soares Geraldi, M.Eng.  
Doutorando PPGEC/UFSC

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Ivan e Magali, por me proporcionarem todas as condições para que eu sempre tivesse uma educação de qualidade e por sempre me apoiarem em todas as decisões que tomei ao longo da minha formação pessoal e educacional.

Aos meus irmãos, Matheus e Lisiane, que por maior que fosse a distância entre nós, sempre se fizeram presentes em minha vida.

Aos meus familiares, tios e primas, que foram pessoas de grande importância no começo da minha graduação.

Aos Rats, amigos que a universidade me proporcionou, com os quais compartilhei momentos e histórias que merecem ser lembrados pelo resto da vida.

Ao professor Enedir Ghisi, por ter aceitado me orientar ao longo de dois semestres e, durante este tempo, ter paciência, compreensão e sempre estar disposto e apto para sanar todas as minhas dúvidas.

Aos engenheiros civis Rodrigo Burigo e Marcos Antônio Benincá, por terem me auxiliado com dicas bastante importantes para a realização deste trabalho.

A todos aqueles que me incentivaram não apenas na realização deste trabalho, mas em apostar na ideia em si proposta neste trabalho.

## RESUMO

Em residências que possuem aquecedores de passagem a gás como forma de aquecimento da água, há desperdício de água nos segundos iniciais do banho por conta dos grandes comprimentos de tubulação entre os chuveiros e o aquecedor que os alimentam. A água contida nesta tubulação, com o tempo, sofre perdas térmicas. Ao acionar o chuveiro, esta água potável, por estar fria, é desperdiçada pelos usuários. Este trabalho analisa a viabilidade econômica da implementação de um sistema automatizado que evita este desperdício no banho redirecionando a água para o reservatório inferior de água potável da edificação. Primeiramente, verificaram-se os volumes desperdiçados por meio de projetos hidrossanitários de 46 apartamentos diferentes. Com base nos comprimentos de tubulação entre os chuveiros e os aquecedores de cada apartamento foi possível quantificar que em média, 6,95 litros de água ficam em repouso nas tubulações. Em oito destes 46 apartamentos, foi possível medir os desperdícios *in loco* por meio da coleta de água nos segundos iniciais de um banho. Observou-se que 9,28 litros de água são desperdiçados até que a temperatura da água atinja 30°C. Este trabalho também sugere como deve ser o sistema automatizado para evitar este desperdício, bem como a configuração e compatibilização do sistema em escala predial. O sistema automatizado foi testado e validado por meio de um protótipo realizado na UFSC. A partir dos custos envolvidos com a elaboração do protótipo foi possível estimar os custos com o sistema para instalação em uma edificação. A partir dos desperdícios identificados na pesquisa de campo foi possível obter estimativas na economia financeira com água ao longo do tempo, caso uma edificação seja equipada com o sistema. A análise econômica foi simulada com a instalação do sistema em um ou dois chuveiros por apartamento para edifícios de 4, 6, 8, 10, 12 e 16 pavimentos tipo. Para as análises de cinco anos com a instalação de um e dois sistemas por apartamento economizando no mínimo, respectivamente, 2,6 litros e 5,0 litros de água por banho, o sistema é viável. Os resultados deste trabalho confirmam que instalar o sistema automatizado para evitar o desperdício da água fria inicial do banho é uma solução economicamente viável.

**Palavras-chave:** Aquecedor de passagem a gás. Redirecionamento da água. Desperdício no banho. Reservatório inferior de água potável. Água fria. Água quente.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fonte utilizada para aquecimento de água para banho. ....	14
Figura 1.2 - Esquema da instalação predial da ideia proposta. ....	18
Figura 2.1 - Esquema de classificação dos sistemas de aquecimento. ....	26
Figura 2.2 - Configuração típica de sistema em tronco e ramais. ....	32
Figura 2.3 - Configuração típica de sistema em núcleo. ....	33
Figura 2.4 - Configuração típica de sistema de tubulações paralelas. ....	33
Figura 2.5 - Configuração de um sistema de recirculação por demanda. ....	37
Figura 2.6 - Sistema de recirculação individual. ....	38
Figura 2.7 - Esquema hidráulico com alimentação descendente e três zonas de pressão. ....	39
Figura 2.8 - Configuração da instalação da válvula HLS-1. ....	41
Figura 2.9 - Válvula evolve ShowerStart TSV. ....	42
Figura 3.1 - Fluxograma detalhado dos métodos. ....	46
Figura 3.2 - Localização dos condomínios nos quais foram realizadas as medições de desperdício de água <i>in loco</i> . ....	49
Figura 3.3 - Aparato para coletar água do chuveiro e simultaneamente realizar as medições de temperatura da água do chuveiro. ....	51
Figura 3.4 - Estrutura onde se encontra o protótipo do sistema automatizado proposto. ....	52
Figura 3.5 - Croqui das instalações presentes e implementos na planta para funcionamento do protótipo. ....	53
Figura 3.6 - Protótipo instalado junto à estrutura no nível do solo. ....	55
Figura 3.7 - Esquema da instalação hidráulica usual. ....	57
Figura 3.8 - Esquema da instalação hidráulica da ideia proposta. ....	57
Figura 3.9 - Sugestão para a conexão da tubulação que recolhe água dos chuveiros com o reservatório inferior de água potável da edificação. ....	59
Figura 3.10 - Circuito eletrônico da ideia proposta. ....	62
Figura 4.1 - Volume de água presente na tubulação entre o chuveiro mais afastado e seu respectivo aquecedor dos apartamentos analisados. ....	68
Figura 4.2 - Correlação entre os volumes desperdiçados medidos em projeto e os volumes desperdiçados <i>in loco</i> . ....	71

Figura 4.3 - Correlação ajustada entre os volumes desperdiçados medidos em projeto e os volumes desperdiçados <i>in loco</i> .....	72
Figura 4.4 - Variação da temperatura ao longo do volume de água coletado do chuveiro da suíte do apartamento de dois quartos do condomínio Villa Vitória. ....	73
Figura 4.5 - Esquema genérico do comportamento usual de desperdício de água do banho. ....	75
Figura 4.6 - Visão do protótipo sem a câmera termográfica.....	75
Figura 4.7 - Visualização do protótipo por meio da câmera termográfica (Temperatura da água menor que 26°C).....	77
Figura 4.8 - Visualização do protótipo por meio da câmera termográfica (Temperatura da água maior que 26°C).....	77
Figura 4.9 - Relação entre o VPL e economia de água para instalação de dois sistemas automatizados por apartamento em um edifício de quatro pavimentos tipo. ....	85
Figura A.I - Planta baixa do apartamento 5 do projeto J. ....	98
Figura A.II - Isométrico da área de serviço do apartamento 5 do projeto J. ....	99
Figura A.III - Isométrico do banheiro da suíte do apartamento 5 do projeto J. ....	100
Figura A.1 - Válvula Solenóide .....	101
Figura A.2 - Módulo relé.....	102
Figura A.3 - Arduino Nano V3.0 .....	103
Figura A.4 - Sensor de temperatura DS18B20.....	104
Figura A.5 - Clip conector e bateria 9V. ....	104
Figura D.1 - Componentes hidráulicos necessários para a montagem e compatibilização com o sistema existente. ....	109
Figura D.2 - Componentes eletrônicos necessários para a montagem do protótipo. ....	110



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Custo por banho de 8 minutos (água, energia elétrica e gás).....	15
Tabela 2.1 - Consumo de água per capita de Florianópolis. ....	22
Tabela 2.2 - Uso final de água tratada para consumo doméstico na Dinamarca. ....	22
Tabela 2.3 - Uso final de água tratada para consumo doméstico nos Estados Unidos. .....	23
Tabela 2.4 - Uso final de água tratada para consumo doméstico em duas residências unifamiliares localizadas no município de Palhoça/SC. ....	24
Tabela 3.1 - Dados considerados para as análises econômicas.....	65
Tabela 4.1 - Diâmetros internos para os diferentes materiais e diâmetros nominais de tubulação.....	67
Tabela 4.2 - Comparação do volume de água desperdiçado mensurado em projeto e medido <i>in loco</i> . ....	69
Tabela 4.3 - Custos totais com instalação hidráulica e eletrônica para instalar um sistema por apartamento nas edificações. ....	79
Tabela 4.4 - Custos totais com instalação hidráulica e eletrônica para instalar dois sistemas por apartamento nas edificações. ....	80
Tabela 4.5 - Reajuste tributário aplicado pela CASAN nos últimos cinco anos.....	81
Tabela 4.6 - Análise econômica para cada edifício com instalação de um sistema por apartamento. ....	81
Tabela 4.7 - Análise econômica para cada edifício com instalação de dois sistemas por apartamento. ....	83
Tabela 4.8 - Análise econômica para cada edifício com dois sistemas automatizados e economia de 5 litros por banho. ....	86
Tabela B.1 - Menor preço verificado para cada componente eletrônico do protótipo por meio de pesquisa de preço. ....	105
Tabela C.1 - Volume de água no interior da tubulação entre aquecedor de passagem e chuveiro.....	106

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAGAS	Associação Brasileira de Aquecimento e Gás
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CIRRA	Centro Internacional de Referência em Reuso de Água
EPA	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
DAS	Departamento de Automação e Sistemas
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
PCE	Placa de Comando Eletrônico
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RPI	Revista de Propriedade Industrial
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	13
1.1. Justificativa.....	13
1.2. Objetivos .....	19
1.2.1. Objetivo Geral.....	19
1.2.2. Objetivos Específicos.....	19
1.3. Estrutura do Trabalho .....	19
<b>2. Revisão bibliográfica</b> .....	21
2.1. Uso final de água para o banho .....	21
2.2. Modalidade de instalação de aquecimento de água .....	24
2.3. Sistemas de aquecimento de água a gás .....	26
2.3.1. Aquecedores de passagem a gás.....	27
2.3.2. Aquecedor de acumulação com queimador incorporado.....	28
2.3.3. Aquecedor conjugado .....	29
2.4. Distribuição de água quente .....	29
2.4.1. Distribuição para sistema de água quente individual .....	30
2.4.2. Distribuição para sistema de aquecimento central privado.....	31
2.4.2.1. Sistema em tronco e ramais .....	31
2.4.2.2. Sistema em núcleo .....	32
2.4.2.3. Sistema de tubulações paralelas.....	33
2.4.3. Distribuição para sistema de aquecimento central coletivo .....	34
2.4.4. Isolamento das tubulações .....	35
2.5. Sistemas de recirculação .....	36
2.5.1. Recirculação em sistema central privado .....	36
2.5.2. Recirculação em sistema central coletivo .....	38
2.6. Desperdício de água no banho .....	40

2.7. Projetos e iniciativas de racionalização do uso de água e energia .....	41
2.8. Síntese da revisão de literatura.....	44
<b>3. Materiais e métodos</b> .....	<b>45</b>
3.1. Pesquisa de campo.....	47
3.2. Protótipo do sistema automatizado proposto .....	52
3.3. Conformação do sistema automatizado em uma edificação .....	56
3.4. Funcionamento do sistema automatizado.....	61
3.5. Análise econômica .....	63
<b>4. Resultados</b> .....	<b>66</b>
4.1. Desperdício de água por meio da análise dos projetos .....	66
4.2. Desperdício de água por meio de medição <i>in loco</i> .....	69
4.3. Protótipo do sistema automatizado proposto .....	75
4.4. Análise econômica .....	78
<b>5. Conclusão</b> .....	<b>87</b>
5.1. Conclusões gerais.....	87
5.2. Limitações do trabalho .....	89
5.3. Sugestões para trabalhos futuros .....	90
REFERÊNCIAS .....	91
ANEXOS .....	98
Anexo A - Projeto J .....	98
APÊNDICES.....	101
Apêndice A - Componentes eletrônicos utilizados para a confecção do protótipo .....	101
Apêndice B - Pesquisa de preço.....	105
Apêndice C - Resultados dos desperdícios de água encontrados por meio da análise dos projetos. ....	106
Apêndice D - Lista de materiais para a elaboração do protótipo.....	109

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Justificativa

O acelerado crescimento populacional nos últimos anos atraiu a preocupação de países mundialmente desenvolvidos quanto à disponibilidade de água potável no futuro próximo. Apesar de ser um bem renovável, considerando-se as premissas do ciclo hidrológico, é de suma importância a preservação e economia deste imprescindível recurso. Estima-se que atualmente mais de 70% da água doce disponível no mundo é destinada para a agricultura, e que menos de 10% utiliza-se para o uso doméstico (UNESCO, 2016). Apesar do uso residencial limitar-se a valores baixos comparados ao setor agrário, estudos que visam a economia e a utilização racional da água que tem este destino são de extrema importância.

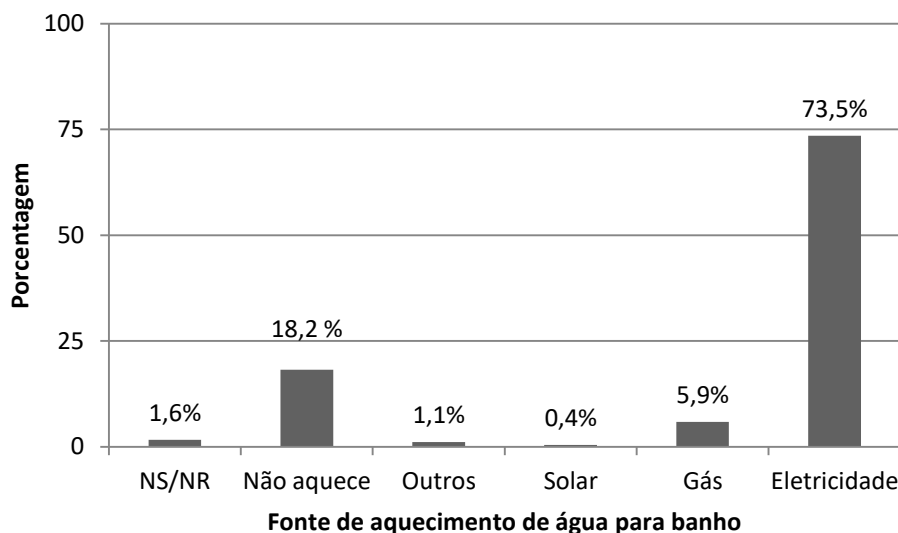
Projetos e iniciativas crescem a cada ano com o intuito de conscientizar a população quanto ao uso e destinos finais adequados dos recursos hídricos, e mesmo assim os índices de desperdício e consumo indevido são bastante expressivos. As próprias concessionárias não têm feito um bom trabalho em administrar os recursos, pois observa-se que no Brasil em média 37% da água tratada é desperdiçada nas tubulações por problemas estruturais e falta de manutenção (CASAN, 2015).

O conceito de pegada hídrica é definido como o volume total de água doce que é utilizado para produzir os bens e serviços consumidos pelo indivíduo, comunidade ou produzidos pelas empresas. A construção civil é um setor responsável por grande consumo de água em todas as suas fases. Deste modo, os profissionais e engenheiros do ramo da construção civil têm papel fundamental não apenas na gestão dos recursos hídricos durante a fase de construção de um empreendimento, mas também na inserção de novas tecnologias que minimizem desperdício e consumo desnecessário da água durante a vida útil da edificação.

Segundo Barreto (2008), que realizou um estudo sobre o perfil do consumo residencial e usos finais da água, identificou-se que na cidade de São Paulo, o chuveiro é o destino de aproximadamente 14% do consumo total de água de uma

residência. Para a região de Florianópolis, no trabalho de Ghisi e Oliveira (2007), o chuveiro correspondeu a 39,2% da demanda total. E a forma preferencial de energia para o aquecimento de água para banho, de acordo com uma pesquisa do PROCEL (ELETROBRAS, 2012), na maioria absoluta (73,5%) dos domicílios brasileiros, é a energia elétrica. Constata-se também em pesquisa mais recente de posse de equipamentos realizada pelo PROCEL (ELETROBRAS, 2007), que a utilização de aquecimento a gás durante o banho não ultrapassa 6% do número de moradias do Brasil, conforme ilustra a Figura 1.1. Palmieri (2013) cita que a geração de água quente, pelos métodos convencionais, utilizando energia elétrica, acarreta uma sobrecarga no sistema de geração, transporte e distribuição de energia elétrica. Somado a isto, o uso da eletricidade para o aquecimento da água do banho normalmente é feito nos horários de ponta, o que afeta os custos com energia elétrica.

**Figura 1.1 - Fonte utilizada para aquecimento de água para banho.**



Fonte: adaptado de ELETROBRAS (2007).

Dados preliminares de uma pesquisa publicada em 2009 pelo CIRRA (Centro Internacional de referência e reuso em água), representados na Tabela 1.1, comparam os custos de água e energia gerados no banho para as respectivas categorias de aquecimento de água. Apesar do gasto total com a utilização puramente de energia elétrica como fonte aquecedora ser o menor, deve-se considerar que este sistema também é um potencial emissor de gases de efeito

estufa, quando se tem a sua obtenção por meio de usinas hidrelétricas (FARIA et al., 2015).

**Tabela 1.1 - Custo por banho de 8 minutos (água, energia elétrica e gás).**

<b>Forma de aquecimento da água do banho</b>	<b>Chuveiro Elétrico</b>	<b>Híbrido</b>	<b>Aquecimento a gás</b>	<b>Aquecedor acumulação elétrico</b>	<b>Aquecimento solar</b>
<b>Consumo de água (litros /min)</b>	4,00	4,10	9,10	8,40	8,70
<b>Custo de água (R\$)</b>	0,13	0,14	0,28	0,25	0,31
<b>Custo de energia elétrica/ gás (R\$)</b>	0,09	0,08	0,30	0,53	0,04
<b>Gasto total (R\$)</b>	0,22	0,22	0,58	0,78	0,35

Fonte: Adaptado de CIRRA (2009).

Segundo Ferreira (2014), o percentual de residências no Brasil que dispõem de aquecedores a gás é ainda muito baixo, não alcançando 1%, ou seja, 99% das unidades brasileiras ainda usam eletricidade para aquecer a água. Entretanto, com a expansão das redes distribuidoras de gás e os históricos de crise energética do país, espera-se que o setor cresça cada vez mais. Para o dimensionamento de aquecedores é fundamental analisar o rendimento.

O rendimento do queimador é definido, em valor percentual, pela razão entre a quantidade de energia térmica efetivamente absorvida por uma massa de água para provocar uma determinada variação positiva da temperatura dessa massa, e a quantidade de energia térmica disponível

pela combustão completa do gás em função de seu poder calorífico. (INMETRO, 2007, p. 1)

Para o índice de eficiência o Inmetro (2007) estabelece que é dado pela média aritmética de três medições do rendimento de um mesmo aparelho.

Os sistemas com aquecedores de passagem possuem eficiência na transferência de calor entre a câmara de combustão e a água, da ordem de 80% (INMETRO, 2017). Segundo o PROCEL (ELETROBRÁS, 2007), entre os domicílios que usam o gás para aquecimento de água para o banho, quase 60% o faz por meio de gás canalizado.

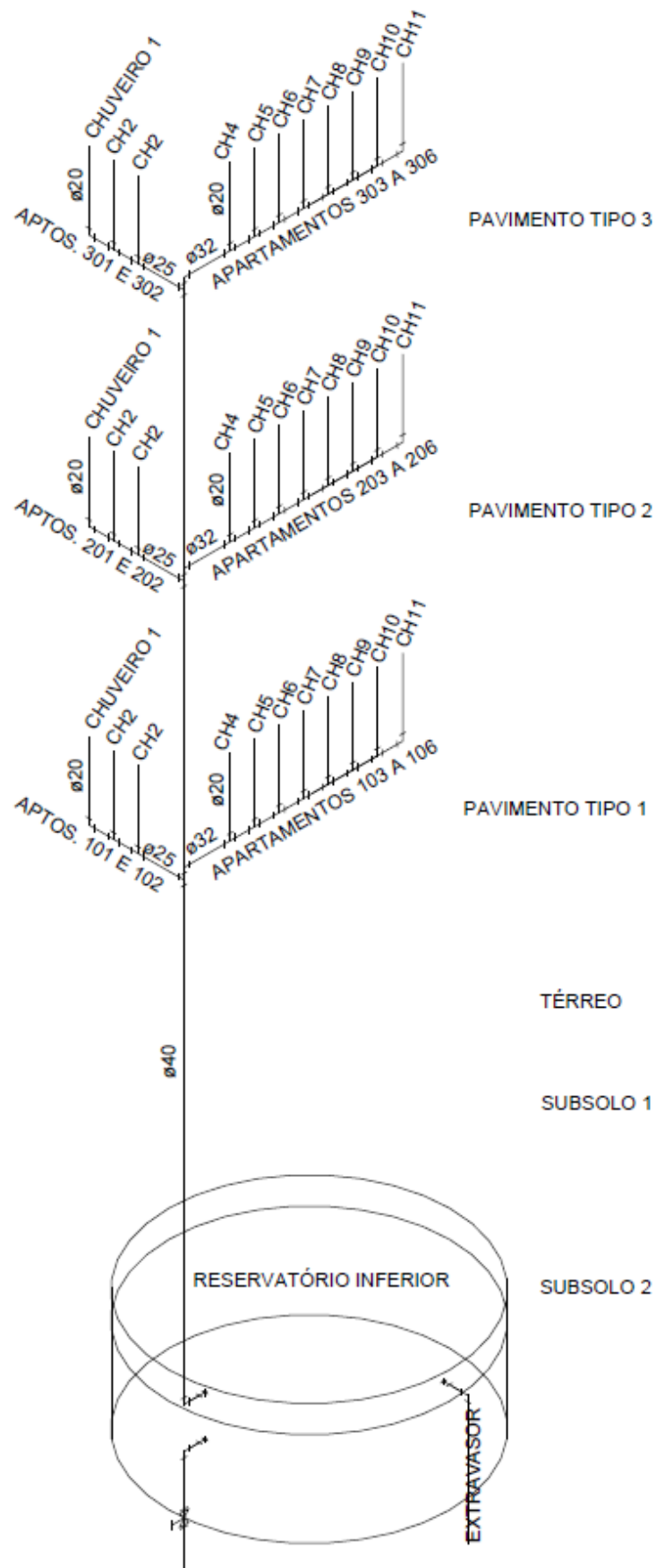
Com exceção dos aquecedores a gás do tipo fluxo balanceado, que consistem em um sistema hermeticamente fechado, a NBR 13103 (ABNT, 2000) recomenda que a instalação dos aparelhos de aquecimento a gás seja feita em lugares com boa ventilação. Esta recomendação faz com que as residências sejam projetadas de forma que os aparelhos sejam instalados nas áreas de serviço. Conseqüentemente, esta conformação estabelece geralmente que os comprimentos de tubulação de água quente da fonte aquecedora até os aparelhos sanitários sejam elevados. Esta água que fica acumulada na tubulação entre a ducha e o sistema de aquecimento, com o passar do tempo, sofre perdas térmicas e esta porção de água por não ser aquecida antes de chegar até a ducha, acaba sendo desperdiçada pelo usuário. A quantidade de água que se perde será função dos comprimentos das tubulações entre as fontes aquecedoras e o destino final, da época do ano, e da eficiência dos aquecedores. Ressalta-se que este mesmo desperdício ocorre também em sistemas auxiliares para aquecimento solar, seja ele por meio de energia elétrica ou a gás, quando este não é dotado de um sistema recirculador.

Alternativas ecológicas já foram propostas para esta problemática, como por exemplo, coletar esta água manualmente com um recipiente e destinar para irrigação ou descarga de vasos sanitários (ECODESENVOLVIMENTO, 2015). Porém, esta é uma prática que depende da boa vontade e conscientização dos usuários. Assim sendo, este trabalho propõe a instalação de um sistema automatizado que direcione a água fria presente nas tubulações e que seria desperdiçada, para outro destino, envolvendo o mínimo de interação entre o sistema



e o usuário. Esse sistema automatizado pode ser implementado em uma instalação hidrossanitária já existente ou em um novo projeto. Este trabalho trata da implementação do sistema automatizado apenas para novos projetos e apenas para instalações prediais de água quente que possuam aquecedores de passagem a gás como fonte principal de aquecimento, tendo em vista a maior abrangência deste sistema de aquecimento de água em comparação com sistemas solares e seus respectivos sistemas auxiliares. Pretende-se que o sistema seja de baixo custo, que cause pequenas intervenções no modo como as instalações usuais são projetadas e que se adapte às técnicas hidrossanitárias utilizadas no Brasil. A Figura 1.2 ilustra um esquema de como seria a instalação predial, desde a coleta da água pelo sistema automatizado dos chuveiros de todos os apartamentos até a destinação desta água, que seria o reservatório inferior de água potável da edificação.

Figura 1.2 - Esquema da instalação predial da ideia proposta.



## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômica da implementação de um sistema automatizado próximo ao chuveiro que recircule a água fria dos instantes iniciais do banho até que a temperatura preestabelecida pelo usuário seja atingida.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos na realização deste trabalho são:

- Realizar um estudo de campo para estimar a quantidade de água desperdiçada nos segundos iniciais do banho em sistemas que possuam aquecimento de água por meio de aquecedores de passagem a gás;
- Projetar um sistema automático que direcione a água fria, existente nas tubulações de água quente entre a fonte aquecedora de água e o chuveiro, para o reservatório inferior de água potável de residências multifamiliares;
- Analisar a viabilidade econômica por meio dos custos iniciais com instalação, materiais e mão de obra do sistema proposto e dos retornos gerados ao se evitar o desperdício de água ao longo da vida útil de uma edificação que possui o sistema automatizado.

## **1.3. Estrutura do Trabalho**

Este trabalho apresenta-se em cinco capítulos. O capítulo inicial traz uma breve introdução a respeito da destinação do consumo de água para o banho, utilização da energia para o aquecimento de água e apresentação do problema analisado de desperdício de água no banho. Além disso, aborda os objetivos geral e específicos e a estrutura em que o trabalho é apresentado.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica utilizada como embasamento para a realização do trabalho. Fundamentada por normas, livros e artigos científicos, apresenta desde o uso final de água para o banho, os tipos de instalação de aquecimento de água, os sistemas de aquecimento por meio de gás, até a forma de distribuição que ocorre nas edificações. São apresentados também os sistemas de recirculação de água, resultados de pesquisas que quantificam o desperdício de água no banho e projetos para racionalizar o uso de água e energia.

O capítulo três apresenta o método para estimar a quantidade de água desperdiçada no banho, os materiais utilizados para a concepção de um protótipo para automatizar o redirecionamento desta água desperdiçada, sua conformação e seu funcionamento. Também apresenta a forma como será analisada a viabilidade econômica do sistema automatizado proposto.

O quarto capítulo apresenta os dados obtidos na pesquisa de campo, levantamento dos custos com materiais e instalação do protótipo e a viabilidade econômica do sistema proposto.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões, limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo trata de uma revisão de literatura quanto ao consumo de água no setor residencial destinado ao banho, modalidades de aquecimento de água para o uso doméstico, sistema de aquecimento a gás e seus componentes auxiliares. Por fim, o capítulo faz uma abordagem das tecnologias aplicadas nas instalações prediais de água quente, assim como, iniciativas públicas que tenham como foco a economia de água potável.

### **2.1. Uso final de água para o banho**

Cada cidadão brasileiro utiliza em média 165 litros de água por dia distribuída pelas companhias de água e esgoto locais. No Rio de Janeiro o consumo de água é de aproximadamente 50% maior do que a média nacional, com 249 litros/hab.dia. Pernambuco é o estado que possui a menor média, com 107 litros/hab.dia. A região Sudeste é a que possui o maior índice de consumo per capita diário, com média de 192 litros/hab.dia (SNIS, 2017).

Para o estado de Santa Catarina o consumo médio per capita de água de acordo com diagnóstico do SNIS (2017) é de 154,5 litros/hab.dia. Esse valor corresponde à média dos anos de 2012, 2013 e 2014. Nas pesquisas de Ghisi e Oliveira (2007), encontrou-se consumo médio para edificações unifamiliares localizadas na cidade de Palhoça de aproximadamente 175,0 litros/hab.dia. Para edificações multifamiliares, nas pesquisas de Ghisi e Ferreira (2007), encontrou-se consumo médio de água de 151,3 litros/hab.dia em Florianópolis, que se assemelha bastante com os valores divulgados pelo SNIS (2017) para os anos em que os trabalhos foram elaborados. Na Tabela 2.1 encontra-se a série histórica do consumo médio de água per capita do ano de 2010 a 2016 da cidade de Florianópolis.

Dados como a população, o clima, a estação do ano, o dia da semana e a edificação são de suma importância para determinar o perfil de uso de água (ZHOU et al.,

2002). Essas variações são notadas nos diferentes países do mundo, como se pode identificar nas Tabelas 2.2 e 2.3.

**Tabela 2.1 - Consumo de água per capita de Florianópolis.**

<b>Ano</b>	<b>Consumo médio per capita (litros/hab.dia)</b>
2016	181,4
2015	173,7
2014	185,7
2013	177,0
2012	197,3
2011	205,9
2010	211,2

Fonte: SNIS (2017).

**Tabela 2.2 - Uso final de água tratada para consumo doméstico na Dinamarca.**

<b>Ponto de Consumo</b>	<b>Uso Final (%)</b>
Alimentação	5
Banhos	20
Higiene pessoal	10
Vaso sanitário	20
Lavagem de roupas	15
Lavagem de louças	20
Lavagem de carros, jardins	10
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: adaptado de TOMAZ (2001).

**Tabela 2.3 - Uso final de água tratada para consumo doméstico nos Estados Unidos.**

<b>Ponto de Consumo</b>	<b>Uso Final (%)</b>
Vaso sanitário	27
Banhos	17
Máquina de lavar roupa	22
Máquina de lavar louça	2
Vazamentos	14
Torneiras	16
Outros	2
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: adaptado de TOMAZ (2003)

Tomando-se o consumo de água total de uma região analisada e identificando-se a parcela de água destinada para cada aparelho sanitário, obtêm-se as porcentagens, por exemplo, de consumo de água no banho. Essa identificação do uso final da água é essencial para proporcionar medidas de economia de água nos pontos que possuem maior destinação (GIURCO et al., 2008; WILLIS et al., 2011). Para se determinar esses valores são realizadas entrevistas com os usuários ou monitoramentos *in loco*.

Em estudo realizado por Ghisi e Oliveira (2007) para verificar os usos finais de água, tomou-se duas residências unifamiliares localizadas no município de Palhoça, Santa Catarina. Na Tabela 2.4 verifica-se que em média 39,2% da água é destinada para o chuveiro.

**Tabela 2.4 - Uso final de água tratada para consumo doméstico em duas residências unifamiliares localizadas no município de Palhoça/SC.**

Ponto de Consumo	Uso Final (%)	
	Residência A	Residência B
Vaso sanitário	30,4	25,6
Pia da cozinha	28	13,5
Chuveiro	32,8	45,6
Lavatório	1,9	2,6
Barba	0,8	4,4
Lavagem de roupa	6,2	8,2
<b>Total</b>	100	100

Fonte: Ghisi e Oliveira (2007).

Observa-se, portanto, que uso final da água nas residências de países exteriores, assim como no Brasil, tem como o banho um dos principais destinos. É considerável, portanto, propor medidas para reduzir o consumo de água voltado para este fim.

## **2.2. Modalidade de instalação de aquecimento de água**

Segundo Ilha et al. (1994), gerar água quente se caracteriza em um processo de transmitir calor de uma fonte energética para obter água a uma temperatura desejada. Este volume de água aquecido pode ser armazenado em reservatórios ou não.

O estudo da distribuição da água quente até os pontos de consumo dentro de uma residência, e o tipo de sistema de distribuição usado para tal fim, tem fundamental importância econômico-financeira para o usuário. Procura-se não apenas reduzir a quantidade de material usado, mas também evitar longos períodos de espera na



obtenção da água aquecida, diminuindo, conseqüentemente, os desperdícios de água (CARVALHO, 2010; MACINTYRE, 2010).

Um dos pontos que a NBR 7198 (ABNT, 1993) estabelece é de que as instalações de água quente devem ser projetadas e executadas de modo que, durante a vida útil do edifício que as contém, favoreçam a racionalização do consumo de energia. O dimensionamento correto e a escolha do sistema de aquecimento adequado são parâmetros importantes para garantir o uso racional de energia. A norma ainda regulamenta que o fornecimento de água deve ocorrer de forma contínua, em quantidade suficiente e temperatura controlável, com segurança aos usuários, com as pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários e das tubulações.

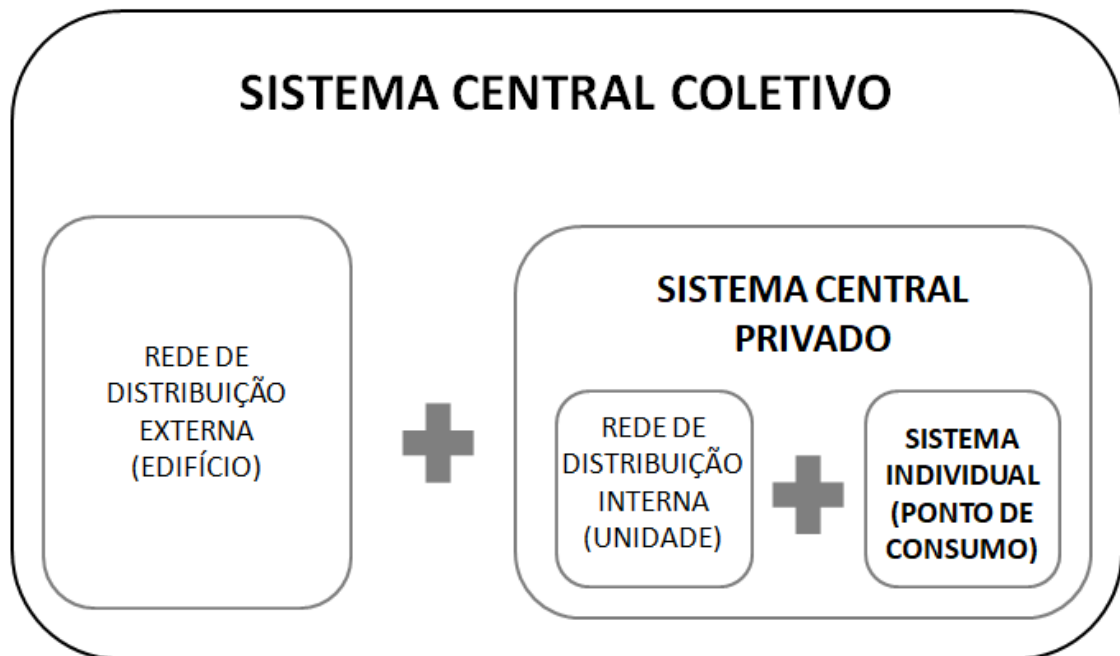
A temperatura mínima da água desejada nas edificações vai depender do uso a que se destina. Para maior controle da temperatura, as instalações são projetadas de modo que possa ocorrer a mistura entre água quente e fria, adequando-se aos níveis de conforto dos usuários. De acordo com Macintyre (1998), a temperatura relacionada ao uso pessoal e banhos varia entre 40°C e 50°C.

Não havendo fornecimento público ou natural de água quente, as edificações devem ser dotadas de um sistema de fornecimento de água quente. Macintyre (1998) cita que os seguintes sistemas são usados para o aquecimento da água:

- Individual - quando o sistema alimenta um só aparelho. É o caso do aquecedor a gás localizado no banheiro ou na cozinha, embora a rigor alimente mais de um aparelho;
- Central privado - quando o sistema alimenta vários aparelhos de uma só unidade. É o caso de uma residência unifamiliar ou multifamiliar onde existe um equipamento para produção de água quente, do qual partem os alimentadores para as instalações nos banheiros, cozinha e áreas de serviço;
- Central coletiva - quando o sistema alimenta vários aparelhos de várias unidades habitacionais.

Essa classificação pode ser melhor visualizada na Figura 2.1. O sistema pode estar unicamente empregado no ponto de consumo, caracterizando-se como sistema individual ou associado a uma rede de distribuição interna, passando a ser um sistema central privado. Este por sua vez, caso auxiliado por uma rede de distribuição externa, caracterizaria um sistema central coletivo.

**Figura 2.1 - Esquema de classificação dos sistemas de aquecimento.**



Fonte: Adaptado de Chaguri Junior (2009).

### 2.3. Sistemas de aquecimento de água a gás

A escolha do sistema é realizada conforme a disponibilidade financeira. A instalação de uma rede de aquecimento a gás demanda elevado investimento inicial. A adequação dos ambientes também deverá ser levada em consideração, pois conforme exigência das normas, os ambientes necessitam de ventilação permanente e espaço físico adequado (ABNT, 2000).

Quanto aos equipamentos utilizados, conforme a característica de funcionamento, podem ser divididos em: instantâneo (ou de passagem) e de acumulação. Havendo a junção de um reservatório auxiliado por aquecedor de passagem, o sistema de

acumulação é do tipo conjugado. Outra opção para os sistemas de acumulação é empregar o uso de um queimador incorporado, onde a transferência de calor entre a fonte de energia e o reservatório pode ser realizada por trocadores de calor por contato direto ou indireto (CHAGURI JUNIOR, 2009).

### **2.3.1. Aquecedores de passagem a gás**

Segundo a ABAGAS (2016), 300 mil aquecedores de passagem foram vendidos no Brasil no ano de 2015. Esses números são ainda maiores para países vizinhos, com 900 mil aparelhos vendidos na Argentina, e 600 mil no Chile. Em estudo de demanda publicado em 2012 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), estima-se que em 2021 a porcentagem de domicílios que utilizarão o gás como fonte aquecedora de água no Brasil será de 6,3%. A facilidade de instalação e o pouco espaço exigido, se comparado aos sistemas de acumulação, facilitou a difusão desses aparelhos nos domicílios brasileiros. Essa tecnologia também individualiza a conta de gás combustível em residências multifamiliares e permite às construtoras transferir a responsabilidade de aquisição dos aparelhos para o proprietário que está adquirindo um novo imóvel.

Os aquecedores de passagem ou instantâneos, como o próprio nome sugere, entram em funcionamento conforme a demanda no instante de solicitação pelo usuário. O acionamento dos aparelhos mais atuais no mercado se dá por meio do fluxo de água que percorre a tubulação. Esse fluxo de água é identificado por um fluxostato que envia um sinal elétrico para a Placa de Comando Eletrônico (PCE). Essa placa faz o monitoramento dos dispositivos de segurança e promove o acionamento da ventoinha e da faísca. Na sequência ocorre a liberação da passagem de gás para o acendimento da chama com posterior aquecimento da água. Caso ocorra apagamento da chama o fluxo de gás será interrompido. Cessando o fluxo de água, o fluxostato corta o sinal que estava enviando para a PCE, desligando assim as válvulas de gás (KOMEKO, 2015).

Chaguri Junior (2009) ressalta que os aquecedores de passagem necessitam de uma pressão mínima na entrada de água fria na faixa de 5 a 20 metros de coluna

d'água (0,5 a 2,0 bar). Essa pressão mínima garante o funcionamento dos dispositivos de controle de segurança e supre as perdas de carga que ocorrem no próprio aparelho. Portanto, para locais desprovidos de pressão de água, como é o caso de andares altos de edifícios, tem-se a necessidade de instalação de um sistema pressurizador. Outra limitação que os aparelhos possuem, é quanto ao consumo simultâneo em diversos pontos de aquecimento, gerando grandes vazões e impossibilitando o funcionamento adequado do aparelho em fornecer temperaturas adequadas aos pontos de consumo (WIEHAGEN; SIKORA, 2003).

### **2.3.2. Aquecedor de acumulação com queimador incorporado**

Os aquecedores de acumulação têm a característica de possuir um reservatório dimensionado conforme estudo de demanda da unidade domiciliar ou comercial, uma unidade aquecedora e acessórios complementares.

Nos sistemas de acumulação faz-se o uso nos reservatórios do fenômeno da estratificação térmica, que é a diferença de densidade da água em função de sua temperatura. A água fria é mais densa que a água quente. Portanto, configura-se a entrada da água fria na parte inferior do reservatório e a saída da água quente na parte superior do mesmo (IBRAHIM et al., 2013). Os reservatórios devem possuir isolamento térmico bastante eficiente para reduzir perdas térmicas com o ambiente. Para o isolamento pode-se utilizar lã de vidro ou poliuretano expandido (CHAGURI JUNIOR, 2009). Em estudo realizado por Gonçalves et al. (1989) tem-se que as perdas térmicas são da ordem de 1,4°C/hora.

Os aquecedores de acumulação com queimador incorporado são constituídos por: reservatório, queimador localizado na parte inferior do aquecedor, isolamento térmico, sistema de controle de temperatura para o acionamento do queimador e um duto para a eliminação dos gases queimados. Os controladores de temperatura identificam quando a água do reservatório diminui sua temperatura, seja por perdas térmicas, ou pelo consumo de água quente, com instantânea entrada de água fria no sistema, acionando o queimador para recuperar a temperatura desejada (CHAGURI JUNIOR, 2009).

Nos aquecedores de acumulação a gás também ocorrem perdas térmicas nas tubulações entre a fonte aquecedora e os pontos de consumo. Deste modo, indica-se a execução de isolamento térmico nas tubulações para aumentar a eficiência do sistema.

### **2.3.3. Aquecedor conjugado**

Os aquecedores conjugados diferenciam-se dos aquecedores de acumulação com queimador incorporado, por fazerem o uso de um sistema externo ao reservatório fechado para o aquecimento da água, como por exemplo, um aquecedor de passagem. Por meio de um termostato, controla-se a temperatura da água contida no reservatório. Identificada temperatura inferior à temperatura mínima adotada para a água reservada, uma bomba de recirculação entre o reservatório e o aquecedor de passagem é acionada. A circulação da água entre o reservatório e o aquecedor de passagem aquece a água até a temperatura desejada para o consumo. Pelo fato de o aquecedor não estar acoplado ao sistema, e dependendo da distância em que o aquecedor se encontra do reservatório, pode haver consideráveis perdas térmicas na tubulação entre esses dois elementos (CHAGURI JUNIOR, 2009).

### **2.4. Distribuição de água quente**

Conforme a característica do sistema de aquecimento empregado, entende-se por distribuição de água quente, o fornecimento de água fria para os aquecedores e a distribuição de água quente para os pontos de utilização (CHAGURI JUNIOR, 2009). Uma vez aquecida, a água quente deve ser distribuída para os pontos de consumo da residência. Vários fatores têm influência na distribuição e podem desempenhar um papel importante para a eficiência do sistema, como, por exemplo: comprimento da tubulação entre a fonte aquecedora e os equipamentos sanitários, o diâmetro e material das tubulações e se a tubulação possui ou não isolamento (EPA, 2014).

Com exceção dos sistemas individuais de aquecimento, todos os outros sistemas de aquecimento devem possuir um sistema de distribuição de água quente. A complexidade do sistema estará em função da aplicação, do número de pontos de

consumo alimentados, e da quantidade de níveis de pressão utilizada (CHAGURI JUNIOR, 2009).

Em estudo realizado por Klein (2004), nota-se a tendência no aumento da área das edificações residenciais nos Estados Unidos a partir do ano de 1970. Esse aumento da área das edificações acarreta maiores comprimentos de tubulação para a distribuição de água quente até os pontos de consumo. Estima-se que o comprimento de tubulação adotado nas residências atuais é o dobro do que era utilizado nas residências que foram construídas antes de 1970. Consequentemente houve também um aumento no número de pontos de consumo de água nas residências. Logo, necessitam-se diâmetros maiores para as tubulações para suprir maiores demandas. Essas duas modificações nas tubulações de água quente favorecem as perdas térmicas para o ambiente, comprometendo, portanto, a eficiência do sistema.

Como forma de minimizar este problema, a *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), elaborou um guia para sistema eficiente de distribuição de água quente (*Guide for Efficient Hot Water Delivery System*). A distribuição de água quente pode ser dividida conforme a característica do sistema de aquecimento, (individual, central privado e central coletivo). Na seção que trata a respeito do sistema de distribuição para o tipo central privado, serão abordadas as sugestões propostas pelo guia.

#### **2.4.1. Distribuição para sistema de água quente individual**

Para os sistemas de aquecimento de água individual os principais componentes são a rede de alimentação de água fria para o aparelho e o abastecimento da fonte de energia. Normalmente os aparelhos aquecedores estão dispostos no próprio ponto de consumo, não havendo a necessidade de um sistema de distribuição da água quente, a exemplo dos chuveiros elétricos (CHAGURI JUNIOR, 2009).

## **2.4.2. Distribuição para sistema de aquecimento central privado**

Os sistemas de aquecimento do tipo central privado podem ser de distribuição simples, caracterizada pela ausência de recirculação. É mais utilizada em ramais e sub-ramais, ou seja, na rede de distribuição de água dentro dos apartamentos e residências. É muito utilizada em instalações de água quente de pequenas residências, onde o aquecedor geralmente é um aquecedor de passagem a gás (CARVALHO, 2010).

Por não envolver a transposição de andares em edifícios, essa rede pode também ser definida como ramal horizontal de alimentação. De acordo com o comprimento deste ramal, pode haver a necessidade da instalação de um sistema de recirculação interna à unidade autônoma, com objetivo de reduzir o tempo de chegada da água quente até os pontos de consumo e conseqüentemente evitar o desperdício da água fria que seria drenada para o ralo nos instantes iniciais de uso (CHAGURI JUNIOR, 2009).

EPA (2014) sugere em seu guia quatro maneiras para a configuração da distribuição das tubulações a partir da fonte aquecedora até os pontos de consumo de água quente:

- Sistema em tronco e ramais;
- Sistema em núcleo;
- Sistema de tubulações paralelas;
- Sistema de recirculação por demanda;

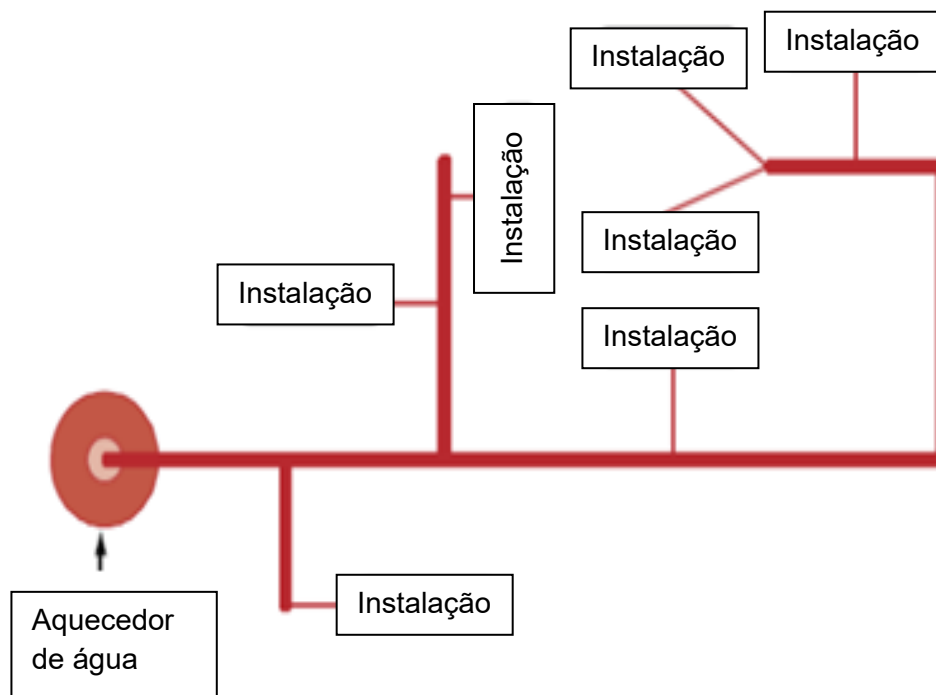
A seguir apresenta-se uma breve descrição dos sistemas, com exceção do sistema de recirculação por demanda que será tratado na seção 2.5, devido sua maior importância para este trabalho.

### **2.4.2.1. Sistema em tronco e ramais**

O sistema em tronco e ramais é o sistema mais encontrado nas residências. Consiste em uma tubulação principal de grande diâmetro que percorre do aquecedor

até a área mais afastada da residência que se faz o uso da água quente. Desta tubulação principal partem os ramais para atender as várias áreas da residência e destes ramais, originam-se os sub-ramais para prover água quente às instalações individualmente, conforme Figura 2.2. Podem ser utilizados em residências uni e multifamiliares. É o sistema com maior potencial de ineficiência se não buscar uma centralização na instalação dos pontos de consumo para minimizar os comprimentos de tubulação.

**Figura 2.2 - Configuração típica de sistema em tronco e ramais.**



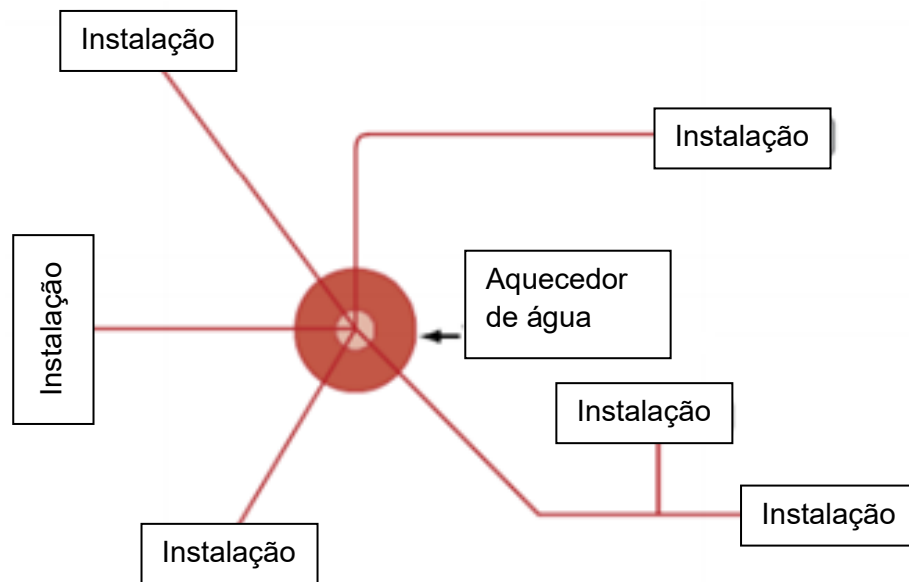
Fonte: adaptado de EPA (2014).

#### 2.4.2.2. Sistema em núcleo

É um tipo particular do sistema em tronco e ramais. Neste sistema procura-se local as áreas molhadas da residência próximas ao aquecedor de água. A tubulação de água quente é distribuída preferencialmente de forma mais linear possível para as instalações ou grupo de instalações. A Figura 2.3 exemplifica esta configuração. Como ilustrado, a proximidade das instalações e linearidade para as tubulações conectarem-se às instalações, minimiza os comprimentos de tubulação e a quantidade de tempo requerida para a água quente atingir cada instalação.



**Figura 2.3 - Configuração típica de sistema em núcleo.**

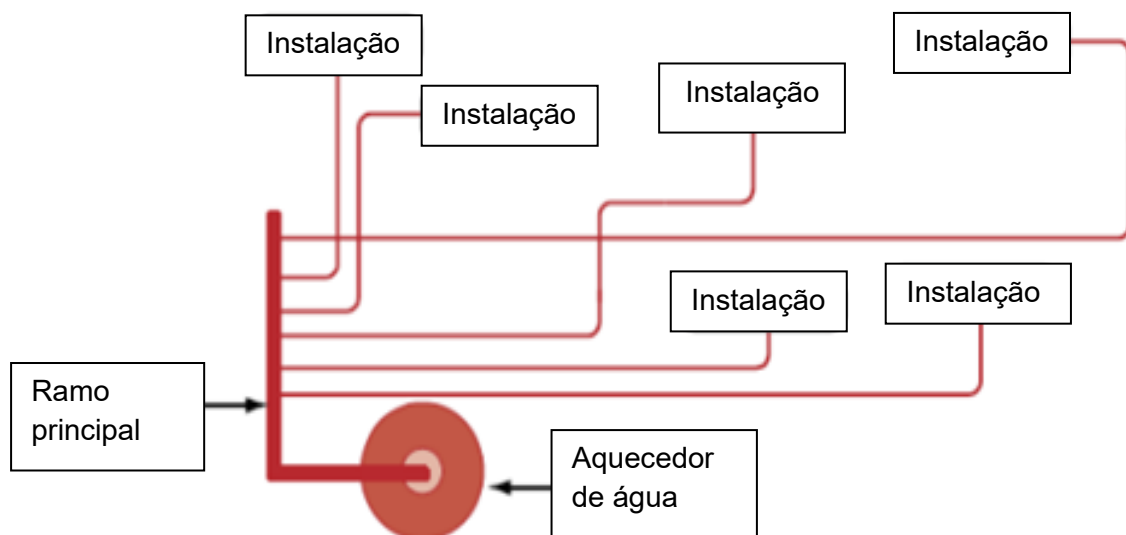


Fonte: adaptado de EPA (2014).

#### 2.4.2.3. Sistema de tubulações paralelas

Esse sistema faz o uso de pequenos diâmetros e tubulações flexíveis (PEX) que se conectam às instalações a partir de um ramo principal. Como ilustra a Figura 2.4, esse ramo principal normalmente localiza-se próximo à fonte aquecedora.

**Figura 2.4 - Configuração típica de sistema de tubulações paralelas.**



Fonte: adaptado de EPA (2014).

De acordo com Brandão (2010) em estudo de viabilidade de instalações hidrossanitárias com a utilização do PEX, os custos com material, podem exceder em 87% em comparação com PVC. Para mão de obra, o custo de instalação é o mesmo, porém, no caso do PEX a instalação pode ser feita em metade do tempo, se comparado à instalação por meio de PVC. Por se tratar de um sistema que ainda não está muito difundido no Brasil, não será levado em conta no estudo de viabilidade deste trabalho.

O guia elaborado pela EPA salienta também que em residências uni- e multifamiliares não se deve haver quantidade superior a 1,9 litros de água em repouso nas tubulações entre a fonte aquecedora e as instalações hidráulicas. A quantidade de água fria que deve ser removida das tubulações antes da chegada de água quente provinda dos aquecedores não pode ser superior a 2,3 litros. E por último, os sistemas de recirculação devem ser do tipo "iniciado por demanda", ou seja, não podem ser unicamente baseados no tempo ou temperatura.

#### **2.4.3. Distribuição para sistema de aquecimento central coletivo**

O sistema de aquecimento central coletivo é responsável por abastecer todos os pontos de consumo de uma edificação multifamiliar. Os reservatórios ou as fontes de calor localizam-se normalmente nas áreas comuns do edifício de modo a facilitar o acesso para serviços de operação e manutenção. O código de obras de Florianópolis, por exemplo, institui que as edificações com quatro ou mais andares devem possuir sistema misto. Normalmente as edificações adotam esse sistema, onde um reservatório inferior de água potável conecta-se por meio de um sistema de bombeamento com o reservatório superior. O sistema de distribuição é composto por: rede de alimentação de água fria para os aquecedores, rede de distribuição de água quente para as unidades e rede de recirculação de água quente devido às elevadas distâncias entre a fonte aquecedora e os pontos de consumo nos apartamentos. A distribuição de água quente pode ser do tipo ascendente, descendente ou mista (CHAGURI JUNIOR, 2009). Esses três tipos de distribuição serão melhor detalhados em conjunto com o sistema de recirculação na seção 2.5.

#### 2.4.4. Isolamento das tubulações

No estudo de estimativa de perdas de água e energia nos sistemas de distribuição de água quente realizado por Lutz (2005), identificam-se três tipos de perda: o desperdício de água enquanto se espera que a água quente atinja os pontos de consumo, consumo de energia para reaquecer uma água que já foi aquecida anteriormente e perdas térmicas quando a água em repouso esfria nos sistemas de distribuição, ou seja, nas tubulações.

Gu (2007) ressalta que pode haver grande economia de energia em sistemas de aquecimento quando se propõe uma otimização e aperfeiçoamento do leiaute do sistema de distribuição de água quente. Segundo o autor, a condutividade térmica do material utilizado para as tubulações, bem como o ambiente no qual a tubulação é instalada desempenham um importante papel na redução das perdas térmicas.

As perdas térmicas podem ocorrer por condução entre a água quente e o ambiente, por convecção entre a água quente e as partes internas da tubulação, ou ainda pelo ambiente e a parede externa da tubulação (ou do isolamento térmico, quando existente) (CHAGURI JUNIOR, 2009).

Em pesquisa do NAHB (2010), analisa-se que o melhor desempenho em isolamento térmico é obtido quando aplicado em tubulações de plástico. Porém, dependendo dos custos com instalação do isolamento térmico, o período de retorno do investimento pode não ser tão favorável com relação à redução no consumo de energia do sistema. Chaguri Junior (2009) também analisou as diferenças de perda térmica obtidas em tubulações de diferentes materiais com ou sem isolamento térmico. Para tubulações de cobre sem isolamento, obtém-se perdas térmicas por metro linear de tubulação de aproximadamente 584000 kcal/hm. Com isolamento de espessura de 0,10m as perdas reduzem para 0,31 kcal/hm. Para tubulações de CPVC a diferença de perdas térmicas com isolamento e sem isolamento de espessura de 0,10m é de 63,76 kcal/hm para 0,26kcal/hm. Sangoi (2015) salienta que essa diferença tão significativa obtida por Chaguri Junior é explicada pelo valor

de espessura adotado pelo autor, que é maior do que os comumente empregados no mercado.

Bøhm (2013) verificou que as perdas térmicas na circulação de água quente representam 23 a 70% do consumo de energia para o aquecimento de água. O autor ressalta a necessidade de avaliar a edificação para adotar a melhor solução para reduzir as perdas térmicas no sistema de distribuição, tais como, isolamento térmico, recirculação da água, localização dos aquecedores e distância até os pontos de consumo.

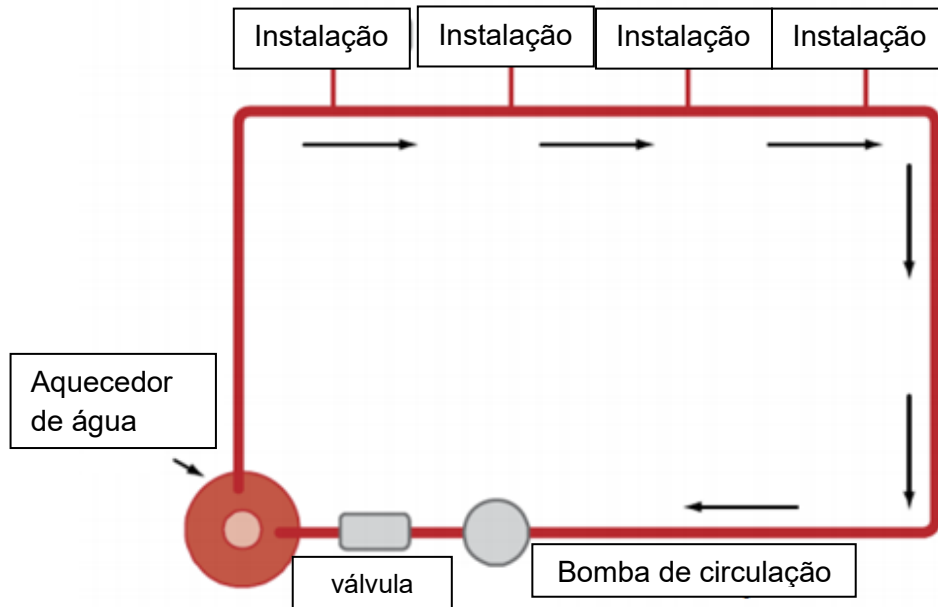
## **2.5. Sistemas de recirculação**

Como visto anteriormente, a recirculação da água tem sido uma alternativa para minimizar as perdas térmicas que ocorrem nas tubulações, evitando assim perdas térmicas do tipo estrutural. Em sistemas centrais privativos é mais raro a ocorrência de um sistema de recirculação. Os sistemas presentes hoje no mercado são de elevado custo de instalação inicial, ficando restrito aos usuários com maior poder aquisitivo. Para sistemas centrais coletivos normalmente a circulação torna-se útil devido a maior distância entre os aquecedores e os pontos de consumo (SANGOI, 2015). A seguir apresenta-se uma breve revisão dos sistemas de recirculação que podem ser utilizados em conjunto com sistemas de aquecimento a gás.

### **2.5.1. Recirculação em sistema central privado**

O guia para sistema eficiente de distribuição de água quente proposto pelo EPA (2014) explica que os sistemas de recirculação consistem em recircular constantemente a água quente através das tubulações instaladas na edificação. Essa recirculação pode ser por uma tubulação de retorno, ilustrada na Figura 2.5, ou pela tubulação de água fria quando o aquecedor for do tipo aquecedor de acumulação.

**Figura 2.5 - Configuração de um sistema de recirculação por demanda.**

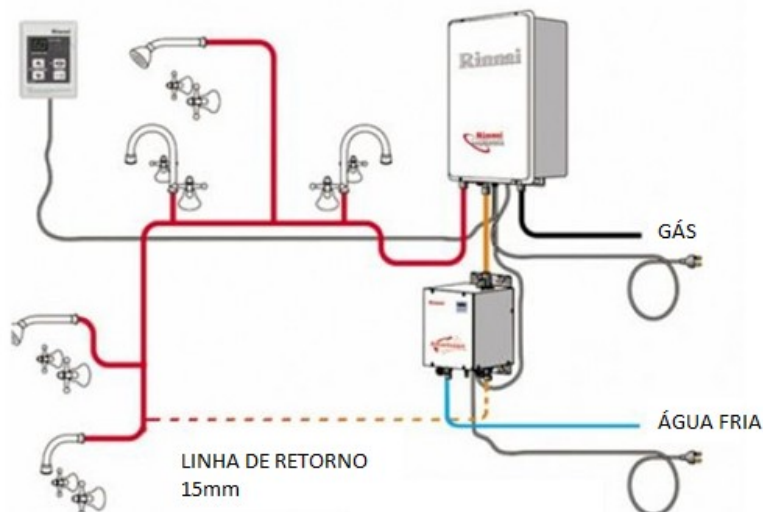


Fonte: EPA (2014).

Os sistemas de recirculação mais eficientes são por meio de demanda, pois só ocorre bombeamento da água, com conseqüente gasto de energia, quando se há a necessidade de consumo de água. Essa recirculação utiliza sensores eletrônicos próximos aos aparelhos sanitários, podendo ser manuais ou por meio de sensores de movimento. O sensor mede a mudança de temperatura durante a recirculação e ativa a bomba de circulação até que a água atinja níveis especificados de temperatura.

A outra opção de recirculação destina-se para sistemas em que o aquecimento da água se dá por aparelhos individuais, como os aquecedores de passagem. O usuário pode adquirir um aparelho que recircula a água fria em repouso na tubulação de volta ao aquecedor, de forma automática por meio de programação ou manualmente. Para a instalação deste aparelho é necessário que haja uma linha de retorno compondo a instalação hidráulica. A Figura 2.6 demonstra um exemplo de instalação de um sistema de recirculação individual.

**Figura 2.6 - Sistema de recirculação individual.**



Fonte: Atuar (2018).

### 2.5.2. Recirculação em sistema central coletivo

Na saída de água quente dos aquecedores inicia-se a rede de distribuição de água quente até os pontos de consumo. Por ser um sistema de distribuição mais complexo e que pode gerar grandes pressões, a ABNT NBR 7198 (1993), limita a pressão estática máxima nos pontos de utilização em 400 kPa. Portanto, edifícios maiores devem prever redutores de pressão, quando necessário.

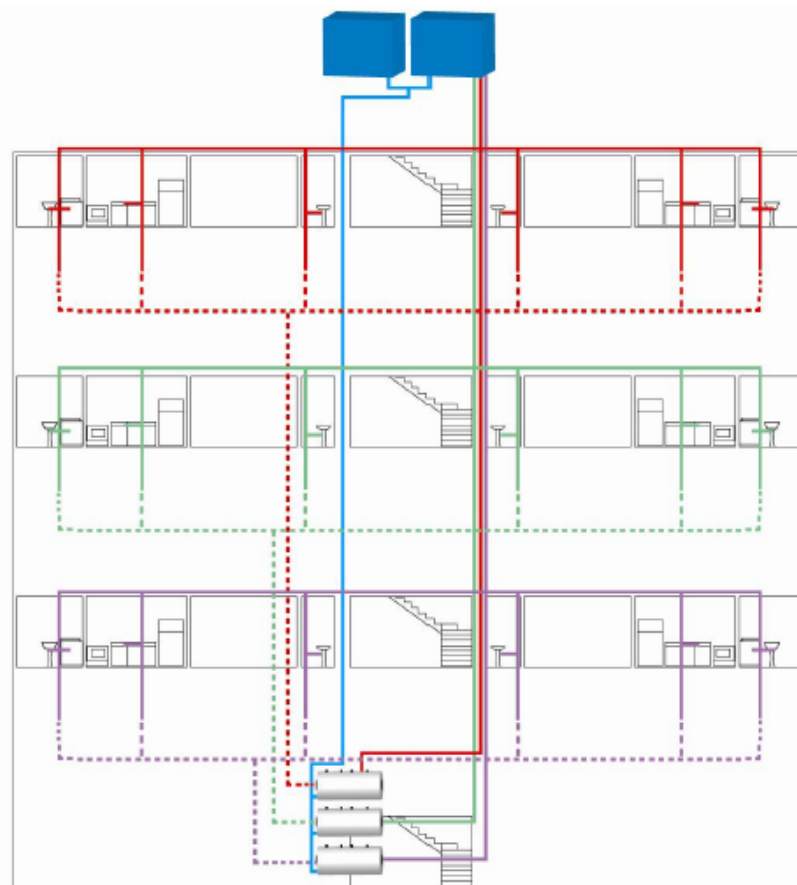
Na distribuição ascendente as tubulações partem dos aquecedores localizados na parte inferior das edificações e deriva em diversas prumadas, que sobem alimentando os pontos de consumo até os pavimentos superiores. Para a distribuição descendente as tubulações iniciam-se nos aquecedores e sobem até a cobertura da edificação, deriva em diversas prumadas e desce alimentando os pontos de utilização. E a mista, como o próprio nome sugere, alimenta alguns pontos de consumo nas subidas das prumadas e os restantes, nas descidas (CHAGURI JUNIOR, 2009).

Deste modo toda a tubulação do edifício se conecta entre si havendo necessidade de circulação da água. Na distribuição com circulação, a água quente circula constantemente na tubulação pelo princípio do termostático. Semelhante à

estratificação que ocorre nos reservatórios de acumulação, este princípio se baseia na diferença de densidade da água em função de sua temperatura. Quanto mais elevada for a temperatura da água presente nas tubulações, menor sua densidade. Esta característica ocasiona uma movimentação natural desta água pelos tubos, auxiliada quando necessário por bombas de circulação. Gasta-se de 10 a 15% mais de combustível para provocar a circulação da água quando não se faz o bombeamento, uma vez que a água neste caso deve ser aquecida a uma temperatura mais elevada (MACINTYRE, 1998).

Quando os edifícios possuem elevado número de pavimentos, o sistema de distribuição deve ser dividido em zonas de pressão, fazendo com que os sistemas fiquem independentes e com controle de pressões específicas. A Figura 2.7 ilustra um sistema de distribuição dividido por zonas de pressões.

**Figura 2.7 - Esquema hidráulico com alimentação descendente e três zonas de pressão.**



Fonte: Chaguri Junior (2009).

## 2.6. Desperdício de água no banho

Lutz (2005) define duas perdas para os casos de desperdício de água no banho. A expulsão da água fria que se localiza na tubulação de água quente entre o aquecedor e o chuveiro representa as perdas estruturais. A água que já está quente o suficiente, mas continua fluindo pelo ralo antes que o usuário comece a utilizar o chuveiro, representa as perdas comportamentais. Esta perda está relacionada às atividades executadas pelo usuário enquanto ele espera que a água quente atinja a instalação hidráulica, tais como, escovar os dentes, fazer a barba, despir-se, etc.

Para se quantificar a quantidade de água desse desperdício comportamental deve-se converter esse tempo de espera para litros de água, levando-se em consideração a vazão do chuveiro. Estima-se que este desperdício está entre 9,5 e 18,5 litros. Lutz (2005) encontrou que em média 20% do volume total de água utilizada no banho é desperdiçada.

Gonçalves et al. (1989) em uma análise específica em um determinado estudo de caso, obtiveram um tempo de 70 segundos para que a água percorresse a tubulação entre o aquecedor e o ponto de consumo mais distante da residência, desperdiçando aproximadamente 13 litros de água. Chaguri Junior (2009) realizou semelhante estudo de caso em apartamento situado na cidade de Ribeirão Preto (SP) e identificou um tempo de 76 segundos, desperdiçando 10 litros de água que estava em repouso na rede.

Pasetti (2014) em sua dissertação, estimou que o volume de água desperdiçada que fica acumulada na tubulação entre o boiler e o chuveiro pode ser superior a 4 mil litros de água por ano em uma família com quatro pessoas. Em protótipo desenvolvido pelo autor, identificou-se que devido à automação de um sistema solar integrado a um chuveiro elétrico, tem-se a economia de 3,1 litros de água em cada banho.

Klein (2004) relaciona o ano em que as edificações foram construídas nos Estados Unidos e as más técnicas de instalações prediais empregadas na época com o

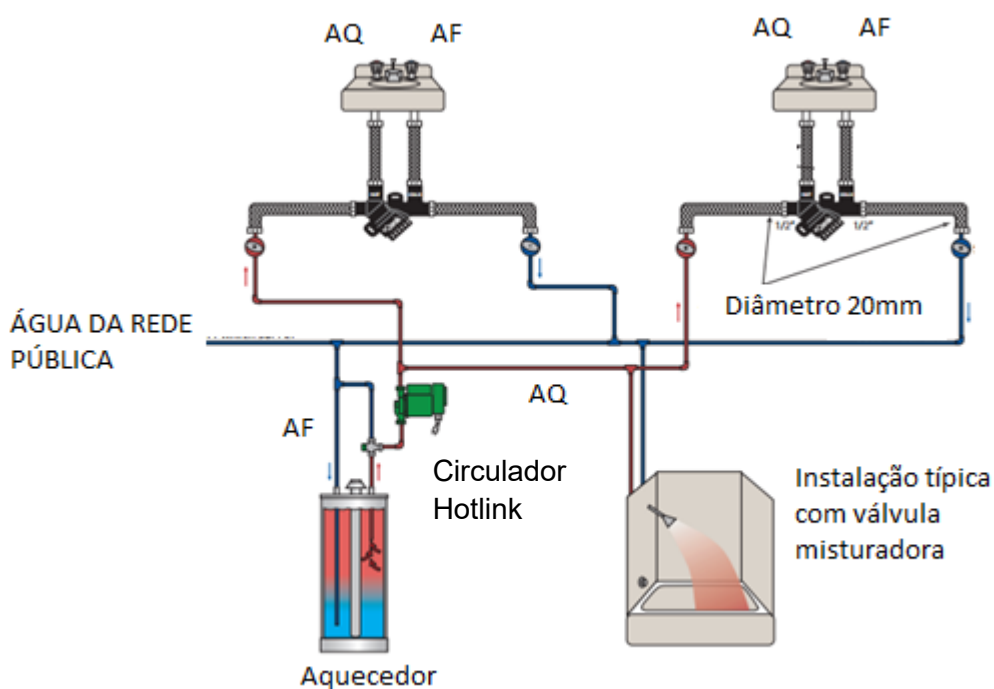


desperdício de água por perdas estruturais ocorridas durante um banho. Estima-se que em média uma residência desperdiça 38 litros de água por dia. É importante ressaltar que nesta perda devem ser considerados os instantes entre um banho e outro. Em banhos realizados sucessivamente não se tem perdas estruturais, pois a água em repouso nas tubulações ainda apresenta temperatura ideal para o conforto do usuário.

## 2.7. Projetos e iniciativas de racionalização do uso de água e energia

Como forma de minimizar ou evitar estas perdas causadas pelos usuários e pelas instalações hidráulicas, algumas empresas têm desenvolvido acessórios componentes para as instalações hidrossanitárias. A empresa Taco, com sede no Canadá, desenvolveu uma válvula (*The Taco Hot-Link System - HLS-1*) que deve ser instalada próxima às instalações hidráulicas. Esta válvula acompanhada de uma bomba, que pode ser programada para funcionar nos horários de maior consumo de água quente, permite a recirculação da água entre as tubulações de água fria e água quente, conforme observa-se na Figura 2.8.

**Figura 2.8 - Configuração da instalação da válvula HLS-1.**



Fonte: *Homedepot* (2017).

De acordo com a empresa, a válvula é de fácil instalação nos sistemas prediais já existentes e pode promover uma economia considerável de água. A bomba é instalada próxima ao aquecedor de água. Uma limitação deste equipamento é que pode ser instalado apenas nos sistemas dotados de aquecedores de acumulação.

Outro componente existente no mercado, é a válvula *ShowerStart TSV* desenvolvida pela empresa Evolve (EVOLVE, 2017). Diferentemente da válvula HLS-1, esta válvula foi concebida unicamente para a utilização em chuveiros. A instalação também é feita próxima ao equipamento sanitário e tem como função apenas evitar as perdas comportamentais. Esta válvula identifica quando a temperatura da água que passa pelo chuveiro atinge 35°C, interrompendo então o fluxo. Para reiniciar o fluxo de água, o usuário deve simplesmente puxar uma corda, ilustrada na Figura 2.9, que vem junto ao equipamento. O funcionamento para o próximo uso é reiniciado automaticamente pela válvula. Este acessório é fabricado para operar em pressões estáticas iguais ou maiores que 21mca. Portanto, antes de adquirir o produto deve-se atentar quanto à disponibilidade de pressão fornecida no ponto de instalação da residência.

**Figura 2.9 - Válvula evolve ShowerStart TSV.**



Fonte: Evolve (2017).

Quanto ao desenvolvimento de alternativas a nível nacional para evitar o desperdício de água e energia, Pasetti (2014) elaborou um protótipo para automatizar uma unidade de aquecimento solar doméstica. O autor propõe um sistema de aquecimento híbrido, que utiliza como fonte de energia a solar e a elétrica. O sistema é composto por coletores solares, um tanque de armazenamento, um chuveiro elétrico, e os equipamentos eletrônicos que possibilitam a automatização do sistema. O sistema, por meio de testes e simulações, se mostrou viável,

promovendo uma redução no consumo de energia elétrica em mais de 78% e evitando desperdício do volume de água que fica acumulado entre o boiler e o chuveiro.

Em Revista de Propriedade Industrial (RPI) identificou-se uma patente da autoria de Camila Bruch Souza (1994) que trata de uma válvula monocomando instalada próxima à entrada de água quente e fria do chuveiro. Essa válvula é responsável por identificar a temperatura da água provinda do aquecedor de passagem, redirecionando-a para uma cisterna de captação caso a temperatura seja inferior à ideal para o conforto do usuário. Para fazer com que a água circule novamente pelo chuveiro, um dispositivo sonoro emite um sinal quando a água se encontra na temperatura ótima, indicando assim ao usuário que deve ser feito o acionamento manual da válvula monocomando, fechando o desvio para a cisterna e abrindo a saída unicamente para o chuveiro (JUSBRASIL, 2015).

Diversas políticas estão incentivando a utilização de sistemas mais eficientes e fontes renováveis de energia para aquecimento de água com intuito de diminuir o consumo de eletricidade. Na cidade de São Paulo, desde o ano de 2007 é obrigatória a instalação de sistema de aquecimento de água por meio do aproveitamento da energia solar, nas novas edificações, destinadas às categorias de uso residencial e não residencial (SÃO PAULO, 2008). No ano seguinte semelhante decreto foi tomado pela cidade do Rio de Janeiro, onde de acordo com a Lei estadual Nº 5.184/2008, novos edifícios públicos ou que passem por reforma devem ter pelo menos 40% da demanda de água quente fornecida por sistema solar (RIO DE JANEIRO, 2008).

Em Florianópolis a Lei Complementar Nº 567 obriga o uso de água pluvial para postos de combustíveis e estabelecimentos comerciais que realizam lavagem de automóveis ou similares. O estabelecimento deverá instalar um sistema de aproveitamento de água da chuva, o qual será projetado de acordo com as boas práticas da engenharia com viabilidade econômica e ambiental (FLORIANÓPOLIS, 2016).

Outra iniciativa interessante voltada para a economia de água é a identificação dos produtos que atendam critérios de eficiência e performance por meio de selos, como vem sendo feito nos Estados Unidos. A válvula evolve *StartShower*, por exemplo, é um dispositivo que se enquadra nas especificações da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Os selos *WaterSense* certificam os produtos e serviços por usarem pelo menos 20% menos água, energia ou funcionarem tão bem quanto ou melhor, do que modelos regulares existentes no mercado (EPA, 2017).

## **2.8. Síntese da revisão de literatura**

Entre as formas de se reduzir o desperdício de água potável nas residências está a intervenção no modo como as instalações prediais atualmente são projetadas e concebidas.

Em estudos realizados por outros autores, analisando seus resultados obtidos, constata-se que a quantidade de água que sofre perdas térmicas e é desperdiçada no banho é bastante elevada, justificando, portanto, a elaboração de componentes e tecnologias voltadas para a redução ou eliminação destas perdas.

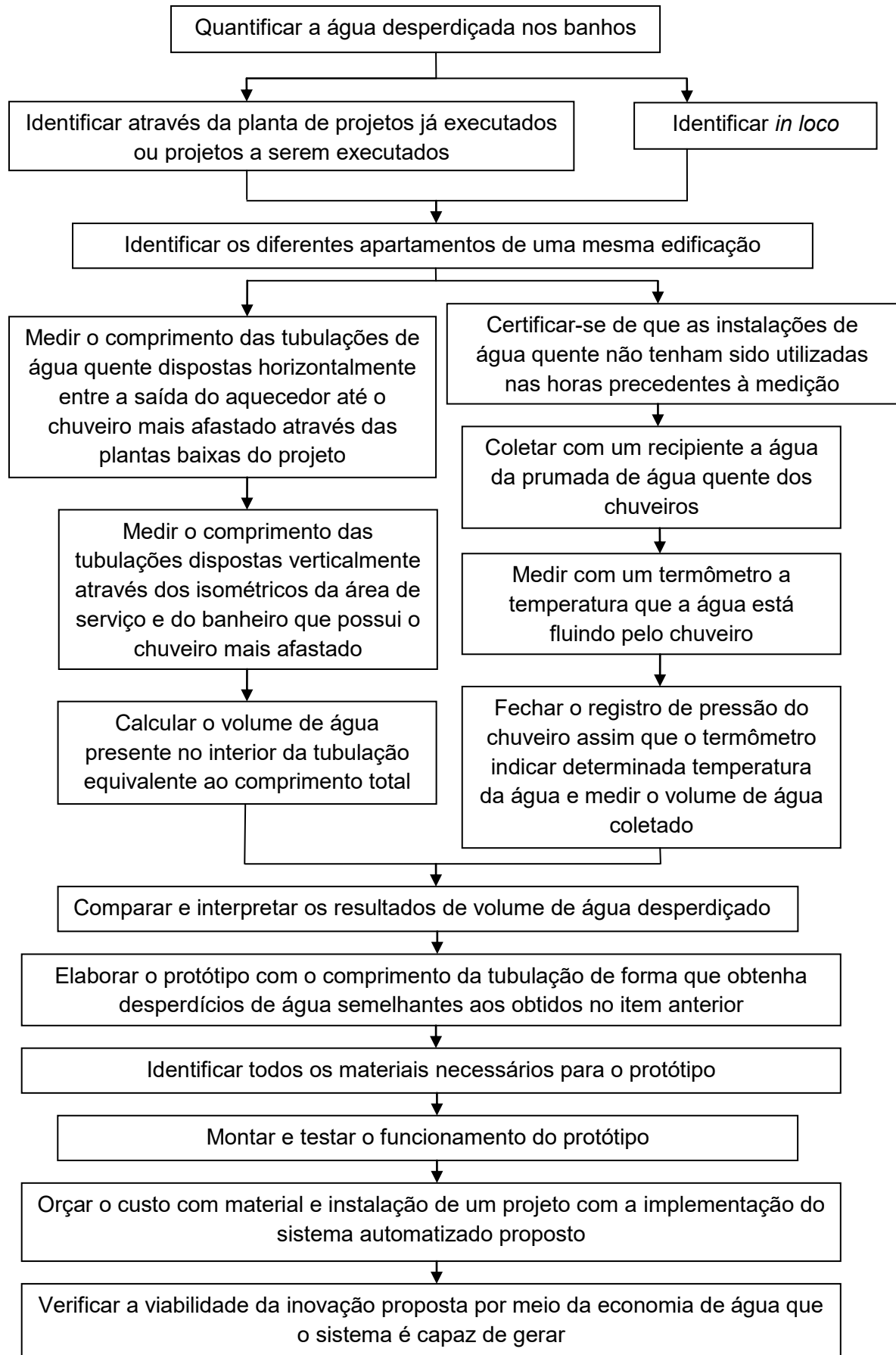
Nos países estrangeiros, como a Alemanha, por exemplo, o gás é uma das opções mais importantes para o aquecimento da água. São poucos estudos no Brasil voltados para este desperdício de água específico de sistemas de aquecimento de água por meio de aquecedores de passagem. As tecnologias desenvolvidas no exterior ou não eliminam o desperdício na sua totalidade, ou são específicas para os sistemas de aquecimento e distribuição de água existentes no próprio país.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo inicia-se com a abordagem dos dois métodos e materiais utilizados para quantificar o montante de água que é desperdiçado nos segundos iniciais de um banho em residências multifamiliares que possuam aquecedores de passagem a gás como fonte principal de aquecimento da água. Um dos métodos consistiu na análise visual dos projetos hidrossanitários de 46 apartamentos diferentes e o outro método consistiu na medição *in loco* de nove destes apartamentos.

Na sequência, o capítulo aborda informações a respeito da localização, operação e materiais necessários para a elaboração do protótipo que foi elaborado na UFSC que teve por finalidade validar e comprovar o funcionamento da tecnologia proposta. Este capítulo também explica como é proposta a instalação do sistema automatizado em uma edificação multifamiliar e as instalações e compatibilizações adicionais aos sistemas prediais usuais para o correto funcionamento da ideia. Por fim, o capítulo explica como será abordada a análise econômica da tecnologia proposta. A Figura 3.1 ilustra um fluxograma detalhado com os métodos abordados no capítulo 3.

**Figura 3.1 - Fluxograma detalhado dos métodos.**



### 3.1. Pesquisa de campo

A quantidade de água desperdiçada no banho nos sistemas usuais de edificações residenciais que usam aquecedores de passagem varia em função:

- do diâmetro da tubulação desde o aquecedor até o chuveiro;
- do comprimento desta tubulação;
- da eficiência do aquecedor de passagem;
- do material da tubulação e do isolamento, caso existente.

Para quantificar a quantidade de água que é desperdiçada nos segundos iniciais de um banho optou-se por considerar o funcionamento imediato do aquecedor de passagem assim que houvesse demanda de água quente por meio de algum aparelho sanitário.

Deste modo, simplificou-se a pesquisa de campo por meio da coleta e análise visual de projetos hidrossanitários que foram ou serão executados na região da grande Florianópolis. Com a colaboração de escritórios de engenharia da capital catarinense, foi possível mensurar, por meio das plantas baixas e desenhos isométricos de treze projetos digitais fornecidos, o comprimento de tubulação entre o aquecedor de passagem e os chuveiros das residências. As plantas baixas foram utilizadas para se obter os comprimentos horizontais da tubulação, que passam pelo contrapiso ou forro. Os desenhos isométricos foram utilizados para se obter os comprimentos verticais de tubulação que passam pelo interior das paredes ou *shafts* dos cômodos.

Por não se tratar de um evento dependente da localidade geográfica da edificação, considerou-se também projetos distintos, aqueles que se encontram na mesma edificação, porém com projetos arquitetônicos e *layouts* dos cômodos da unidade domiciliar diferentes. Os projetos selecionados encontram-se em anexo no CD-ROM e para exemplificar o procedimento adotado de cálculo de volume desperdiçado, no Anexo A encontra-se um destes projetos.

O volume de água desperdiçado no banho é determinado por meio da Equação 1.

$$V = \frac{10^{-3}\pi D^2 c}{4} \quad (1)$$

Onde:

V é o volume de água no interior da tubulação entre o aquecedor e o chuveiro (litros);

D é o diâmetro interno da tubulação (mm);

c é o comprimento de tubulação entre aquecedor e chuveiro (m).

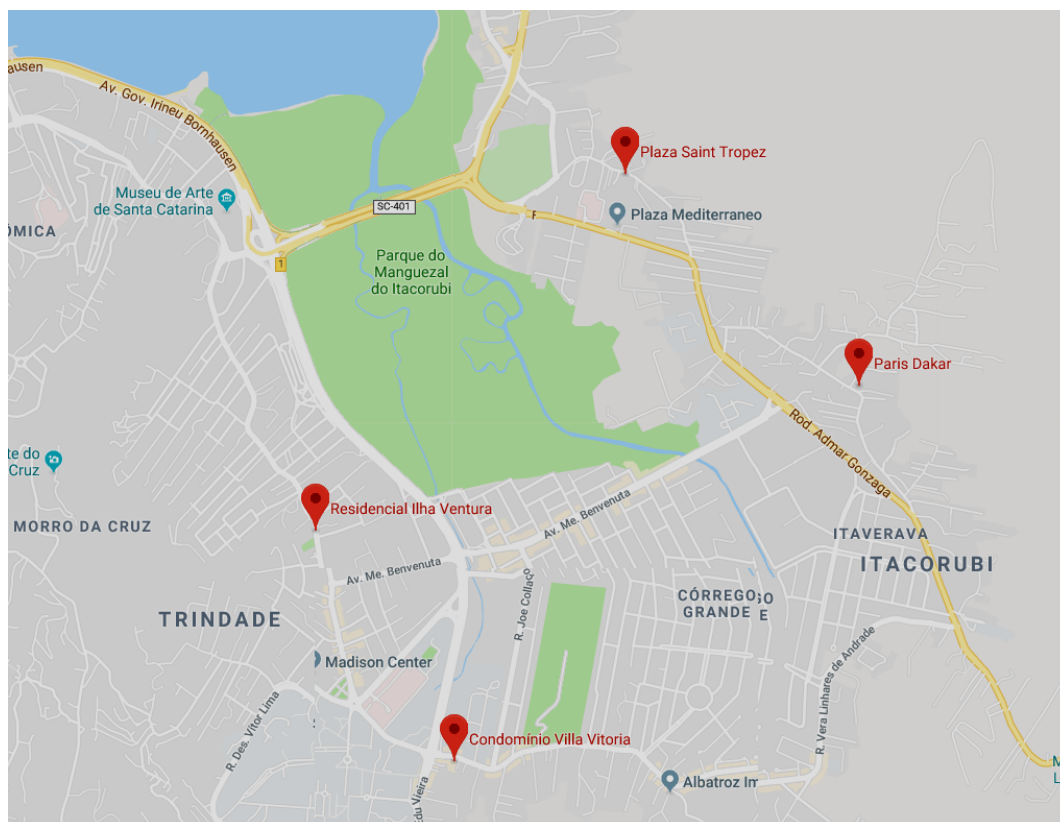
Os diâmetros das tubulações de água quente, bem como os materiais das tubulações considerados nos cálculos foram aqueles especificados nas plantas fornecidas. Logo, considera-se que o edifício tenha sido executado exatamente da maneira como especificado em projeto. Ressalta-se que o diâmetro utilizado para o cálculo de volume de água presente no interior da tubulação é o diâmetro interno.

Para traçar um comparativo e comprovar que a água desperdiçada nos segundos iniciais do banho é, em partes, a água que fica em repouso nas tubulações entre o aquecedor e o chuveiro, foram selecionados quatro condomínios situados em Florianópolis, com suas localizações ilustradas na Figura 3.2, para medições *in loco*:

- Condomínio multifamiliar Villa Vitória localizado no bairro Córrego Grande - Florianópolis;
- Condomínio multifamiliar Plaza Saint Tropez localizado no bairro Itacorubi - Florianópolis;
- Condomínio multifamiliar Ilha Ventura localizado no bairro Trindade - Florianópolis;
- Condomínio multifamiliar Paris Dakar localizado no bairro Itacorubi - Florianópolis.



**Figura 3.2 - Localização dos condomínios nos quais foram realizadas as medições de desperdício de água *in loco*.**



Fonte: Google Maps (2018).

Destes quatro condomínios, no total foram obtidos dados de nove apartamentos diferentes. O condomínio Villa Vitória é composto por dois blocos com sete pavimentos cada, incluindo o térreo. A pesquisa foi realizada no dia onze de maio e a temperatura ambiente neste dia era de 27°C. Os volumes desperdiçados foram medidos do chuveiro do banheiro principal do apartamento 406 de três quartos do pavimento tipo do bloco B, do chuveiro de uma suíte do apartamento 204 de dois quartos do pavimento tipo do bloco B e do chuveiro de um banheiro principal do apartamento 201 de quatro quartos do pavimento tipo do bloco A. Ressalta-se que não foi disponibilizada a planta do apartamento do bloco A, apenas do bloco B.

O condomínio Plaza Saint Tropez é composto por um bloco de dezesseis pavimentos, um subsolo, térreo e treze pavimentos tipos. Para o condomínio Plaza Saint Tropez foi possível avaliar os chuveiros do banheiro principal e do banheiro da suíte do apartamento 911 de dois quartos do pavimento tipo. Neste condomínio a

pesquisa foi realizada no dia seis de maio de 2018 e a temperatura ambiente no dia era de 25°C.

O condomínio Ilha Ventura é composto por um bloco de onze pavimentos, incluindo térreo. Para este condomínio, foram possíveis medições no dia sete de maio de 2018 no apartamento 506 de dois quartos do pavimento tipo, sendo o chuveiro do banheiro da suíte, e no apartamento 1101 da cobertura, sendo o chuveiro do banheiro principal. O condomínio Ilha Ventura e o Villa Vitória são os únicos condomínios em que o projeto indicava tubulações de cobre e não de PPR, como o restante. No dia da pesquisa a temperatura ambiente era de 25°C.

E por fim, no condomínio Paris Dakar é composto dois blocos de doze pavimentos, um pavimento garagem, um pavimento pilotis, nove pavimentos tipo e um pavimento cobertura. Mediu-se o desperdício do chuveiro da suíte do apartamento 827 de três quartos do pavimento tipo e de um chuveiro do banheiro principal do apartamento 825 de dois quartos do pavimento tipo. As medições ocorreram no dia cinco de maio de 2018, com temperatura ambiente em 27°C.

Primeiramente, além de perguntar aos moradores da unidade, a temperatura da água do chuveiro era previamente medida para se certificar de que ninguém havia utilizado a instalação nos minutos precedentes à medição.

O procedimento consistiu em regular o aquecedor de passagem para a mais otimizada e acelerada situação de aquecimento, ou seja, aumentando o regulador de temperatura para a temperatura máxima, no caso de aquecedores do tipo manual e para 50°C, para aquecedores digitais. Na sequência, abria-se o registro de pressão de água quente do chuveiro a ser analisado do banheiro do apartamento, e procedia-se com a coleta da água com um aparato, mostrado na Figura 3.3. Enquanto isso, media-se a temperatura da água logo na saída do chuveiro com um termômetro a prova de água. O termômetro conectado a um notebook estava programado para receber e registrar medições de temperaturas a cada segundo. As medições de temperaturas eram monitoradas simultaneamente à coleta de água e quando o termômetro marcasse a temperatura de 30°C, procedia-se com o fechamento do registro de pressão. O volume de água coletado era então medido

para posterior comparação com os dados constatados em projeto. O tempo em segundos que a água levou para atingir temperatura de 30°C foi também utilizado para se obter a vazão do chuveiro por meio da Equação 2.

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad (2)$$

Onde:

Q é a vazão do chuveiro (litros/segundo);

Vol é o volume de água coletado no recipiente até a temperatura atingir 30°C (litros);

t é o tempo decorrido para a água atingir a temperatura de 30°C (segundos).

**Figura 3.3 - Aparato para coletar água do chuveiro e simultaneamente realizar as medições de temperatura da água do chuveiro.**



Sempre que possível, eram realizadas mais de uma coleta e medição para o mesmo chuveiro. Para proceder com nova coleta de água com medição de temperatura, o registro de gás do aquecedor de passagem era fechado, de modo que ao se realizar a abertura do registro de pressão de água quente do chuveiro, fluía-se água fria. Este procedimento fazia com que a tubulação e todo o sistema resfriassem de forma que assim fosse possível simular novamente uma situação usual de banho.

Em sistemas prediais com hidrômetros individualizados e com aquecimento por meio de aquecedores de passagem junto aos reservatórios inferiores da edificação, como por exemplo no condomínio Plaza Saint Tropez, também ocorrem semelhante desperdício de água no início do banho por conta do volume de água em repouso na tubulação entre o hidrômetro e os chuveiros. Neste caso o desperdício identificado por meio de projeto deve ser medido do hidrômetro até o chuveiro mais afastado do hidrômetro. Os poucos condomínios onde se identificou o modo de aquecimento e distribuição citado acima, apresentam, portanto, dados pertinentes para a análise deste trabalho.

### **3.2. Protótipo do sistema automatizado proposto**

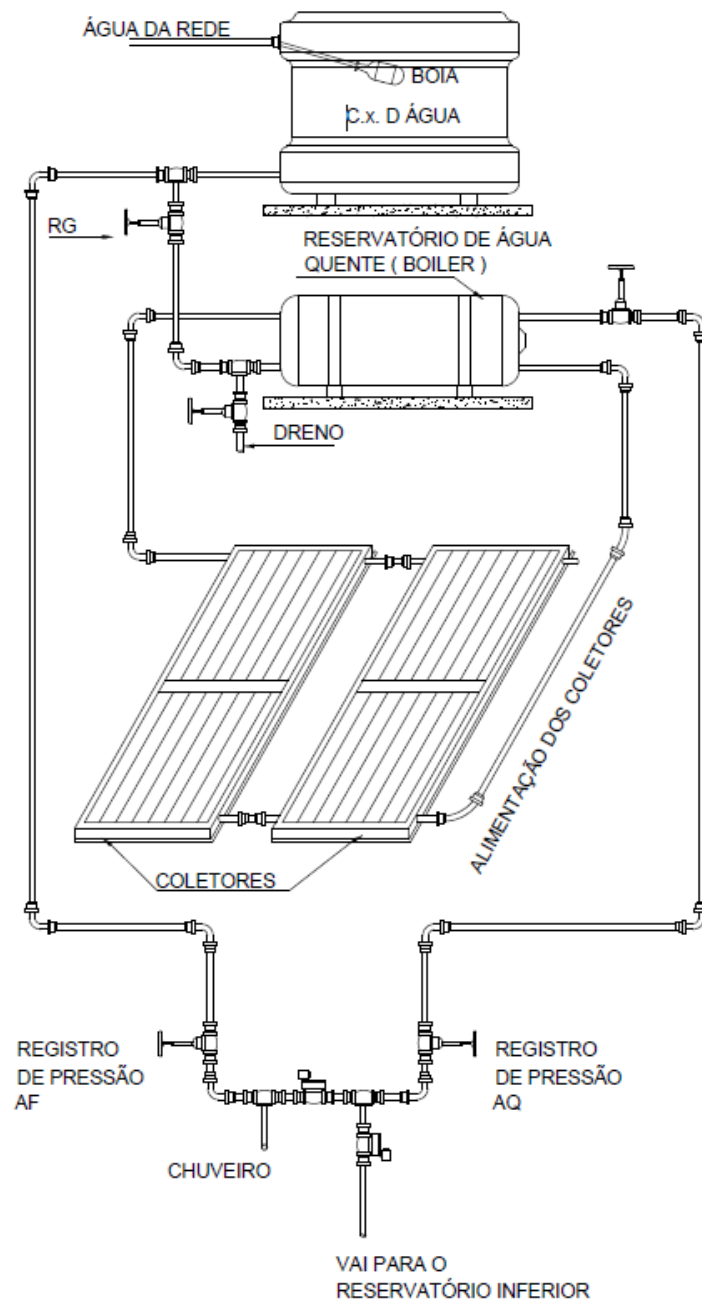
Com a finalidade de validar e testar a ideia proposta, elaborou-se um protótipo da instalação hidráulica e eletrônica. Com o auxílio e cooperação do departamento de automação e sistemas (DAS) da UFSC, foi cedida para a construção do protótipo uma planta que fora utilizada em trabalhos anteriores. A planta disponibilizada já constava com uma tubulação em PVC de água fria e com uma tubulação de água quente em PPR de diâmetro de 25mm, que é alimentada por placas solares juntamente com o auxílio de um boiler. Estas duas tubulações são responsáveis por abastecer o chuveiro do protótipo.

**Figura 3.4 - Estrutura onde se encontra o protótipo do sistema automatizado proposto.**



A estrutura onde se encontrou o protótipo é visualizada na Figura 3.4. Possui um pé direito de aproximadamente 5m, do qual é possível conduzir as prumadas de diâmetro de 20mm até o nível do solo para satisfazer as pressões mínimas necessárias para o funcionamento do sistema. A Figura 3.5 ilustra um croqui das instalações hidráulicas na estrutura fornecida.

**Figura 3.5 - Croqui das instalações presentes e implementos na planta para funcionamento do protótipo.**



A água da tubulação de água fria é oriunda da rede pública, enquanto que a água quente, com o propósito de viabilizar economicamente o protótipo, ao invés de utilizar o aquecimento de água através de um aquecedor de passagem a gás, aproveitou-se a planta solar existente.

Novamente por motivos econômicos, optou-se por ignorar as recomendações da NBR 15813-1 (ABNT, 2010) e adaptar tubulação de PVC, ao invés de PPR ou cobre para a prumada de água quente, uma vez que a instalação será apenas utilizada para teste e não necessita de integridade e vida útil que as instalações corriqueiras normalmente exigem.

Segundo Maehara (2008), a temperatura de amolecimento Vicat do PVC é de 80°C. Esta temperatura é obtida por meio de ensaio que consiste na penetração de uma agulha de ponta chata de área 1mm<sup>2</sup> em um corpo de prova, a uma taxa de aquecimento constante padronizada de 50°C/h, sob ação de uma carga de 5 kg. A temperatura máxima da água do boiler não supera valor de 80°C, portanto não há comprometimento da integridade física da tubulação de PVC causado pela água quente que será utilizada para testar o protótipo.

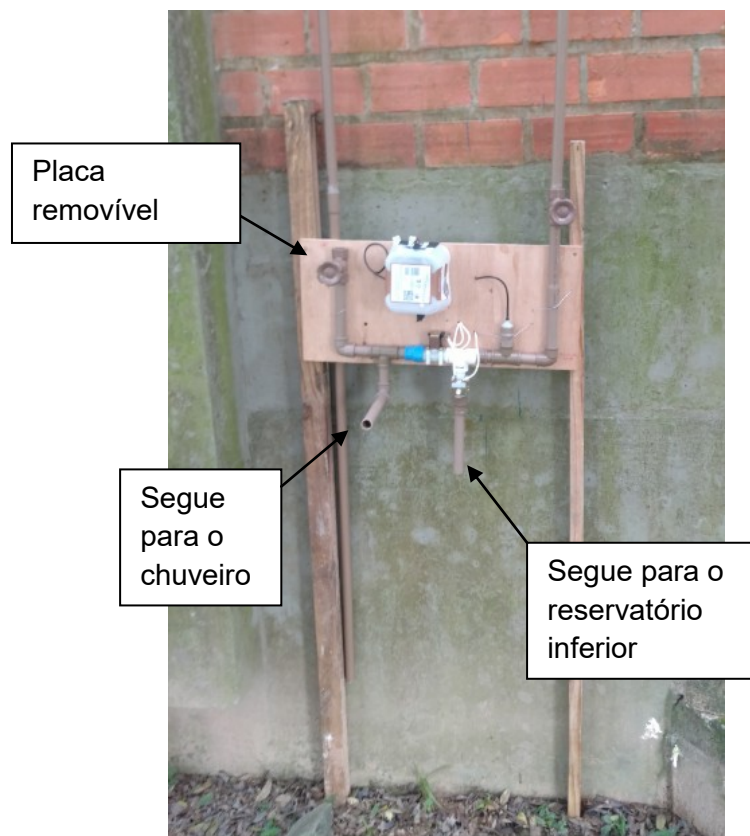
Os componentes eletrônicos que devem ser instalados para o funcionamento do sistema automatizado foram conectados numa placa de madeira, de forma que fosse possível conectar e desconectar das prumadas apenas quando fosse necessário fazer os testes. Esta placa removível é composta também pela saída da tubulação para o chuveiro e da saída da tubulação que destinará a água que é desperdiçada no banho para o reservatório inferior de água potável da edificação, conforme ilustra a Figura 3.6.

Para simular o que acontece nas tubulações de água quente entre o aquecedor de passagem e o chuveiro existente nas residências, foi disposta uma tubulação de PVC de 20mm de diâmetro e comprimento suficiente para armazenar uma certa quantidade de água no interior da tubulação. Esse volume de água deve ter um valor suficiente para verificar o escoamento da água inicialmente para a tubulação que destina a água para o reservatório inferior de água potável. Esta tubulação,

portanto, inicia-se no boiler existente na cobertura da estrutura e termina no ponto do chuveiro que se encontra no nível do solo, ilustrado na Figura 3.6.

Para testar o protótipo, primeiramente, necessita-se verificar a temperatura da água do boiler. A programação do algoritmo do sistema deve ser modificada de modo que possa ocorrer um diferencial de temperatura para acompanhar a simulação do destino para o qual a água deve ser direcionada.

**Figura 3.6 - Protótipo instalado junto à estrutura no nível do solo.**



A instalação existente na planta permitia alternar a abertura de dois registros de gaveta próximos ao boiler, de modo que era possível deixar fluir água fria também pela tubulação que foi conectada para receber água quente. Com isso era possível preencher a tubulação com água na temperatura ambiente, fechar o registro de água fria, e abrir o registro que liberava água quente do boiler. Deste modo, foi possível realizar novos testes em um intervalo menor de tempo sem ter de esperar que a água quente que fica na tubulação esfriasse.

Para comprovar o funcionamento do protótipo foi posicionada uma câmera termográfica em frente ao protótipo para capturar as imagens das faixas de temperatura na qual a água estava fluindo pela tubulação de água quente. Nos segundos iniciais a água que está armazenada na tubulação, flui com a temperatura ambiente, com direção ao reservatório inferior de água potável e na sequência flui a água oriunda do boiler com temperatura superior à temperatura ambiente, direcionada para o chuveiro.

Para melhor compreender o funcionamento eletrônico do sistema proposto, recomenda-se a leitura do Apêndice A, que explica o funcionamento de todos os equipamentos eletrônicos utilizados para confeccionar o protótipo que seria embutido na parede junto ao chuveiro.

### **3.3. Conformação do sistema automatizado em uma edificação**

O funcionamento do sistema automatizado resume-se na associação de válvulas solenóides para direcionar a água para o seu devido fim conforme a temperatura na qual ela se encontra.

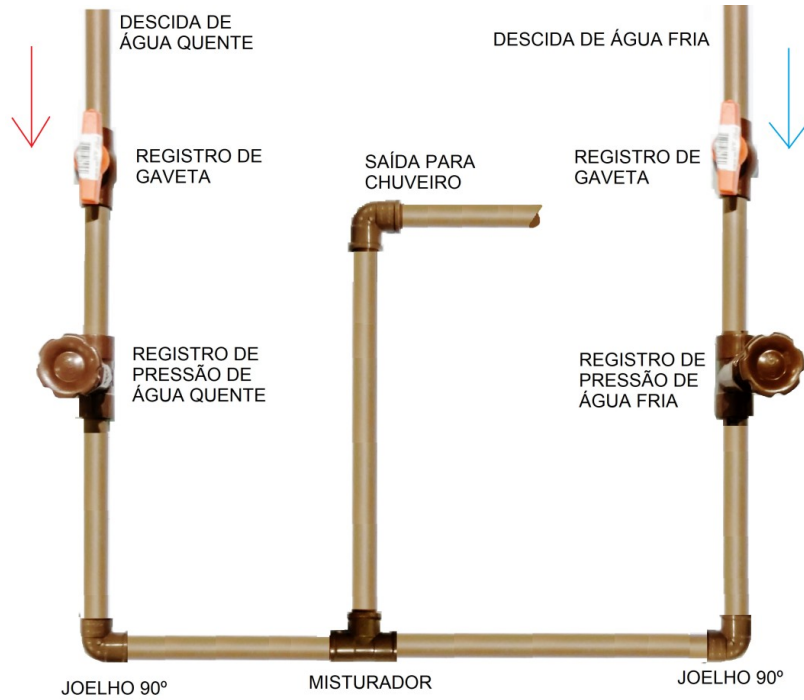
A Figura 3.7 ilustra um sistema usual de instalação de um chuveiro. Em edificações multifamiliares com aquecimento da água por meio de aquecedores de passagem a gás, normalmente o chuveiro é abastecido por um sub-ramal de água fria que vem do reservatório da edificação, e outro sub-ramal de água quente oriundo do aquecedor de passagem.

São necessários registros de gaveta nos sub-ramais para interromper o fluxo de água no caso de eventuais reparos e também registros de pressão para o ajuste fino da vazão da água fria e água quente. Por fim, a água circula pelo misturador, onde a água fria e a água quente se misturam, e seguem para o chuveiro.

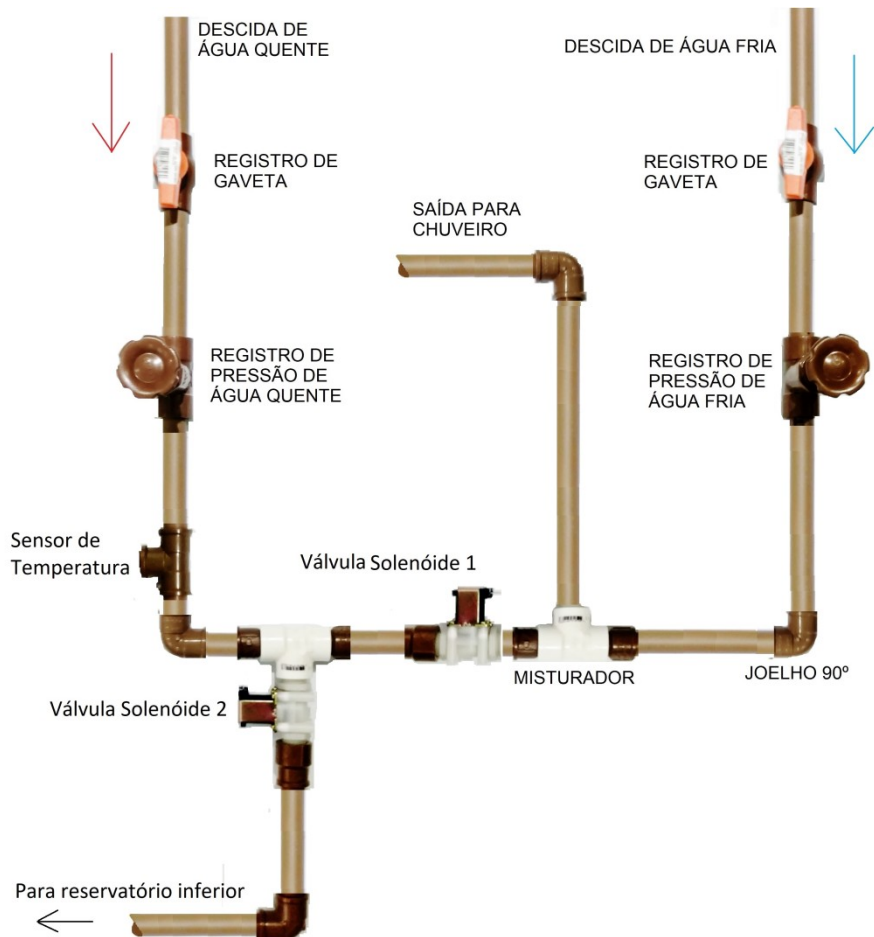
Para o sistema automatizado proposto são necessárias algumas modificações na conformação das tubulações do sub-ramal de água quente e logo após o misturador, conforme sugerido na Figura 3.8.



**Figura 3.7 - Esquema da instalação hidráulica usual.**



**Figura 3.8 - Esquema da instalação hidráulica da ideia proposta.**



O sensor de temperatura que identifica a temperatura na qual a água quente está passando pela tubulação deve ser instalado em um ponto próximo ao registro de pressão de água quente. Além disso, o sistema deve possuir duas válvulas solenóides nas posições sugeridas na Figura 3.8. Por último, deve haver o sistema de coleta de água do chuveiro, que será análogo aos componentes de um sistema predial de esgoto sanitário. Primeiro deve haver uma tubulação análoga aos ramais de descarga, que coleta a água que passa pela válvula solenóide 2. Esta tubulação será de mesmo diâmetro da tubulação do sub-ramal. Em seguida esta tubulação será conectada a uma tubulação vertical, responsável por coletar a água de todos os chuveiros das unidades habitacionais e direcioná-la ao reservatório inferior de água potável da edificação com o auxílio de tubulações de maiores diâmetros, quando necessário.

Os diâmetros destas tubulações que direcionam a água para o reservatório inferior de água potável dependerão da quantidade de chuveiros da edificação e serão determinados por meio do método da soma dos pesos que é abordado na NBR 5626 (ABNT, 1998). Todas as demais recomendações feitas pela NBR 5626 para o funcionamento correto do sistema predial de distribuição devem ser seguidas para a instalação do sistema de coleta de água do sistema automatizado proposto.

Para facilitar as instalações, portanto, é possível haver mais de uma tubulação vertical que colete a água das diferentes regiões dos pavimentos tipo da edificação que possuírem banheiros com chuveiros. Estas tubulações verticais podem ser instaladas juntamente nos *shafts* com as tubulações de água quente, água fria e esgoto. Por fim, estas tubulações verticais, conectam-se às tubulações de maiores diâmetros no subsolo, que destinam a água para o reservatório inferior de água potável da edificação.

A conexão destas tubulações com o reservatório inferior de água potável deve ocorrer a uma altura  $h$  acima da entrada de água da concessionária. Esta altura varia conforme o volume de água estimado que será coletado na pior situação, ou seja, no uso simultâneo de todos os chuveiros que estão mais afastados dos seus respectivos aquecedores de passagem de cada apartamento da edificação. Este volume é calculado por meio da Equação 3. Portanto, o reservatório deve ser

adaptado para captar este volume de água correspondente a esta altura  $h$ , conforme ilustra a Figura 3.9.

$$Vr = \sum_1^n u_n V_n \quad (3)$$

Onde:

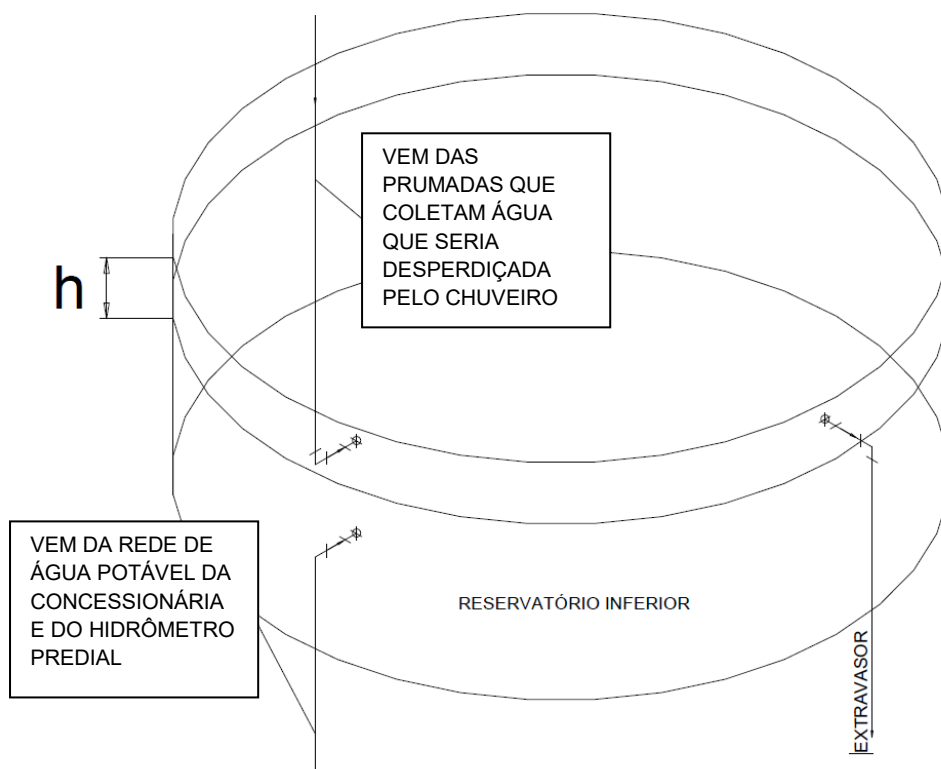
$Vr$  é o volume de água coletado dos chuveiros mais afastados de seus respectivos aquecedores de passagem de todos os apartamentos da edificação (litros);

$n$  são as diferentes unidades habitacionais que se repetem nos diferentes pavimentos tipo da edificação;

$u$  é a quantidade de unidades habitacionais  $n$  semelhantes na edificação;

$V$  é o volume de água no interior da tubulação entre o aquecedor e o chuveiro mais afastado da unidade habitacional  $n$  (litros);

**Figura 3.9 - Sugestão para a conexão da tubulação que recolhe água dos chuveiros com o reservatório inferior de água potável da edificação.**



A Equação 3 poderia considerar a quantidade de pessoas por apartamento, ou seja, a quantidade teoricamente que haveria de banhos por dia. Porém, a estimativa do volume de água coletado de todos os chuveiros de toda a edificação proposta neste trabalho considera a possibilidade dos banhos de todos os apartamentos serem tomados em sequência por seus moradores. Com isso, haveria desperdício de água apenas no primeiro banho de uma unidade habitacional.

A estimativa também considera apenas o chuveiro mais afastado do seu respectivo aquecedor de passagem da unidade habitacional. Na situação de mais de um chuveiro da unidade estar em utilização, normalmente a maior quantidade de água que é desperdiçada é relativa à porção de tubulação do aquecedor de passagem até o banheiro mais próximo. Na possibilidade de ocorrer o funcionamento simultâneo de todos os chuveiros da edificação, haveria provavelmente demanda de água para preencher o reservatório superior de água potável, esvaziando então o volume  $V_r$  do reservatório inferior de água potável. Por este motivo o cálculo do volume do reservatório inferior de água potável reservado para armazenar a água oriunda dos chuveiros não considera também a quantidade total de moradores do edifício.

O volume de água no interior da tubulação entre o chuveiro mais afastado do seu respectivo aquecedor de passagem de uma unidade habitacional é calculado por meio da Equação 1 mostrada na seção 3.1. Ressalta-se que a variável comprimento de tubulação deve ser medida entre o aquecedor e o chuveiro mais afastado que é alimentado por este aquecedor.

O valor da altura do reservatório que deve ser reservado para o volume de água coletado dos chuveiros da edificação será obtido por meio da Equação 4.

$$h = \frac{V_r}{10Ab} \quad (4)$$

Onde:

$h$  é a altura do reservatório inferior de água potável que deve ser reservada para o volume de água coletado dos chuveiros (cm);

Vr é o volume de água do reservatório inferior de água potável destinado para armazenar a água dos banhos (litros);

Ab é a área da base do reservatório inferior de água potável (m<sup>2</sup>).

Para situações em que o volume coletado de água do chuveiro for muito grande, por exemplo em edifícios altos, a ponto de inviabilizar a compatibilização proposta na Figura 3.7 deve ser previsto um reservatório inferior de água potável extra conectado com o reservatório inferior de água potável usual.

### **3.4. Funcionamento do sistema automatizado**

O funcionamento do sistema automatizado resume-se em direcionar a água para o seu devido fim conforme a temperatura na qual ela fluirá pelo sensor de temperatura. Caso a temperatura da água seja inferior a uma temperatura pré definida em programação, como por exemplo, 40°C, as válvulas solenóides permanecem no seu estado inicial, ou seja, a válvula solenóide 1 fechada e a válvula solenóide 2 aberta, conforme a Figura 3.6, direcionando a água para o reservatório inferior de água potável da edificação. Na aquisição das válvulas solenóides deve se atentar às pressões mínimas de funcionamento.

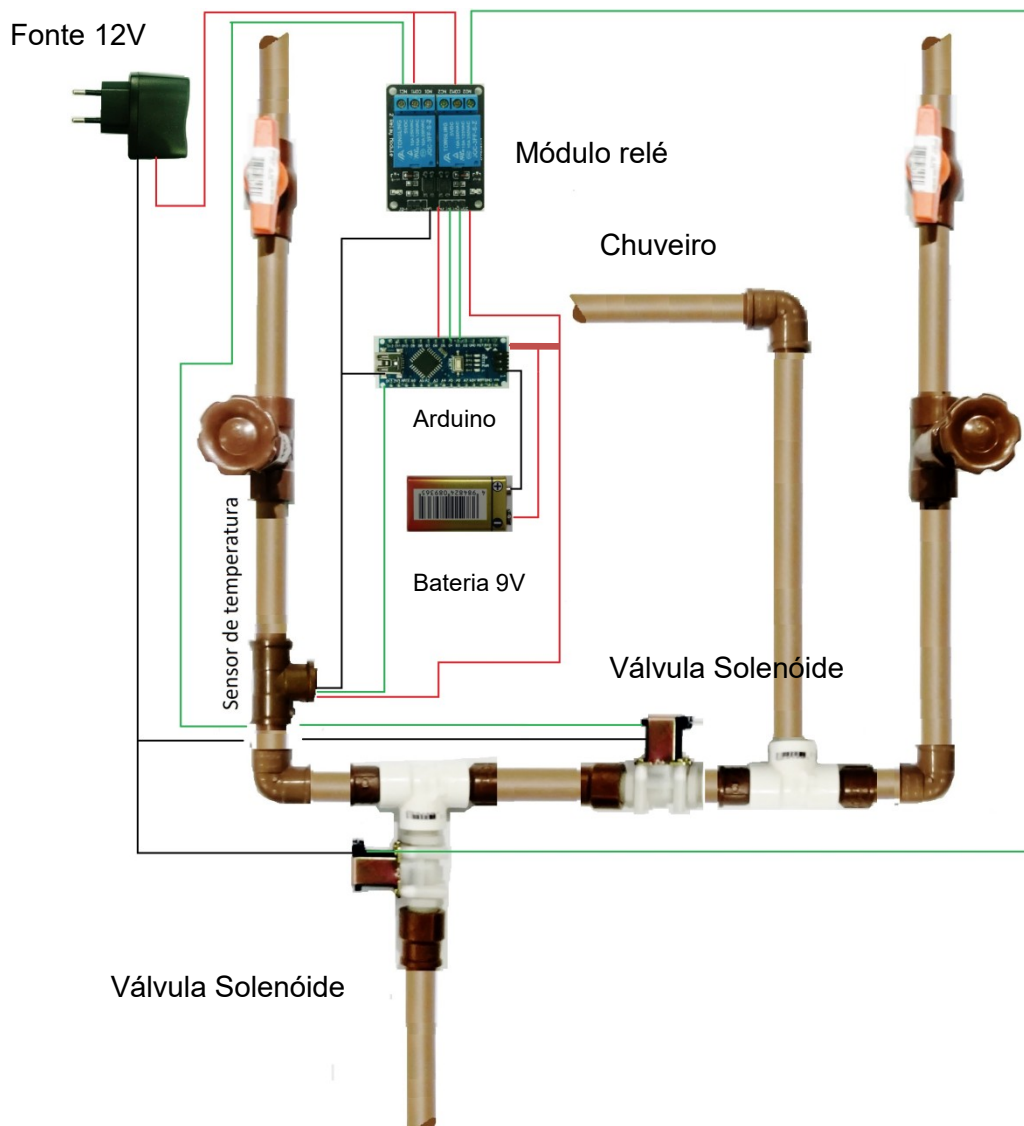
Quando toda a água fria que estava em repouso na tubulação de água quente for direcionada para o reservatório inferior de água potável, começará a fluir a água quente provinda do aquecedor de passagem. Com isso o sensor identifica temperatura maior que 40°C e envia um sinal para que o microcontrolador mande a informação para o módulo relé acionar as válvulas e fazer a troca simultânea dos estados delas, ou seja, liberando o fluxo da água quente para o chuveiro e interrompendo o fluxo de água para o reservatório inferior de água potável.

A Figura 3.10 ilustra um esquema do circuito eletrônico que ficará embutido na alvenaria. O sensor de temperatura mede constantemente a temperatura da água e manda estes dados para o microcontrolador presente na placa Arduino Nano. No algoritmo da programação está definida a temperatura que irá ditar o destino para o

qual a água será direcionada. No *void loop* da programação os valores de temperatura são constantemente medidos.

Para sinalizar ao usuário que se deve iniciar a mistura da água quente com a água fria através da abertura do registro de pressão de água fria, a programação define que se a temperatura estiver entre 30°C e 35°C, o Arduino acionará um *buzzer* que é responsável por emitir um sinal sonoro, indicando que o usuário deve abrir o registro de água fria para regular o ajuste fino da temperatura da maneira que melhor o satisfaça. Este componente não foi instalado no protótipo, porém está integrado na programação para otimizar o funcionamento da ideia proposta.

**Figura 3.10 - Circuito eletrônico da ideia proposta.**



### 3.5. Análise econômica

Por fim, necessita-se avaliar a viabilidade do sistema automatizado proposto para as instalações prediais. Portanto, foi realizada uma análise econômica dos custos de implantação do sistema e do período de retorno do investimento gerado pela economia de água ao longo do tempo.

Na fase de projeto de uma edificação deve ser verificado se os pré-requisitos para a instalação da ideia proposta são atendidos. A forma principal de aquecimento de água para os apartamentos deve ser por meio de aquecedores de passagem a gás e a edificação deve apresentar um reservatório inferior de água potável onde é possível prever a conexão das tubulações que vêm dos chuveiros.

Todos os fluxos de caixa são simulados com os custos iniciais, como materiais e mão de obra. A economia que será proporcionada por uma estimativa de economia de água que o sistema automatizado proposto fornece ocasiona menores custos nos gastos mensais de água de um edifício e, portanto, serão as entradas mensais do fluxo de caixa. Com os fluxos de caixa é possível de se obter o valor presente líquido, o *payback* descontado e a taxa interna de retorno para avaliar se o investimento é viável.

Para prever os custos iniciais com instalações hidráulicas para todo o sistema em uma edificação, utilizou-se como base o orçamento de um dos projetos hidrossanitários que foram citados na seção 3.1. Foram verificadas, por meio do projeto, todas as modificações e compatibilizações necessárias para a implementação de um sistema. O comprimento das tubulações que coletam a água dos chuveiros conectando-se a tubulação vertical foi estimado medindo-se a distância entre o ponto de coleta e o *shaft* onde a tubulação vertical estará instalada. E o comprimento da tubulação vertical será o valor do pé direito do pavimento tipo multiplicado pelo número de pavimentos tipo da edificação, somado ao comprimento necessário para a tubulação atingir o nível do reservatório inferior de água potável. Por meio do orçamento deste mesmo projeto verificou-se o custo de conexões por metro de tubulação e a porcentagem do custo total da instalação hidráulica que é

relativa às conexões, para assim estimar os custos com conexão para o sistema automatizado com base no comprimento total de tubulação utilizado. Foi realizado orçamento em três lojas de materiais da região de Florianópolis e para cada material foi utilizado o menor valor orçado para obter o custo total com as instalações hidráulicas necessárias.

Considerou-se a instalação do sistema automatizado para todos os chuveiros de uma edificação e também para apenas um sistema automatizado por apartamento. Foi realizado um orçamento em duas lojas de componentes eletrônicos da região de Florianópolis e mais duas lojas do estado que realizam entrega para todo Brasil. Para cada componente eletrônico, utilizou-se o de menor custo para compor o custo total com componentes eletrônicos para a edificação. O orçamento se encontra no Apêndice B. Os custos de mão de obra para instalação dos componentes hidráulicos e eletrônicos foram estimados por meio dos custos de execução de chumbamento de pontos hidráulicos retirados do orçamento de um dos projetos citados na seção 3.1, em 56% do custo total dos equipamentos para um sistema automatizado.

A análise financeira foi realizada para edifícios de alturas diferentes com todos os apartamentos iguais em planta, todos com um térreo e um pavimento subsolo onde se encontra o reservatório inferior de água potável. Para as análises destes edifícios consideraram-se cenários favoráveis e desfavoráveis. Para os cenários favoráveis consideraram-se maior economia proposta pelo sistema levando em conta os dados encontrados em medição *in loco* e para os cenários desfavoráveis, menor economia de água do sistema levando em conta os valores de desperdícios encontrados por meio dos projetos. Ressalta-se que a análise financeira não considera que os condomínios tenham hidrômetros individualizados, portanto, a economia total de água será em relação ao custo com água que todo o edifício teve ao longo do mês. Para os dados de consumo diário de água por morador foi utilizada a média dos últimos cinco levantamentos feitos pelo SNIS para a cidade de Florianópolis e também valores menores que a média para simular mais cenários de viabilidade.

O valor da taxa de água para estimar a economia financeira de água foi obtido através dos valores de tarifa aplicados pela CASAN para o mês de maio de 2017, categoria residencial "B". Também foram considerados os valores de impostos como



PIS e COFINS aplicados nas tarifas de água, assim como a taxa de esgoto, que é de 100% do total consumido em água. É importante ressaltar que a CASAN aplica um reajuste tributário na tarifa de água a cada doze meses. Portanto, na projeção do fluxo de caixa para os anos futuros será considerada a mediana obtida dos últimos cinco reajustes praticados pela CASAN. Os custos com energia para o funcionamento do sistema foram desconsiderados por causa dos baixos consumos que os equipamentos eletrônicos utilizados exigem. A vida útil das instalações hidráulicas e eletrônicas do sistema automatizado costumam ser maiores que dez anos, portanto, o período de análise do projeto adotado foi de cinco anos, e a taxa mínima de atratividade adotada foi de 0,53% ao mês, valor encontrado para a taxa Selic do mês de maio de 2018. A Tabela 3.1 mostra um resumo dos dados que foram considerados, totalizando 36 análises econômicas diferentes. E abaixo estão listados os dados comuns a todas as análises:

- Lucro, custo com instalação e componentes eletrônicos na automatização do sub-ramal de um chuveiro;
- Tempo de análise do fluxo de caixa;
- Taxa mínima de atratividade;
- Tarifas e ajustes tributários da CASAN;
- Número de prumadas verticais por edifício;
- Número de apartamentos por pavimento;
- Número de moradores por apartamento;
- Pé-direito dos pavimentos;
- Consumo de água por habitante por dia;
- Número de pavimentos térreo e subsolo.

**Tabela 3.1 - Dados considerados para as análises econômicas.**

<b>Número de sistemas por apartamento</b>	<b>Economia de água por sistema (litros)</b>	<b>Número de pavimentos tipo da edificação</b>
1	4, 7 e 10	4, 6, 8, 10, 12 e 16
2	4, 7 e 10	4, 6, 8, 10, 12 e 16

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo, primeiramente, foram abordados os resultados de desperdício de água do banho encontrados por meio das análises dos projetos fornecidos por escritórios.

Na sequência serão apresentados os resultados encontrados de desperdício de água do banho mensurados *in loco*. Foi feita uma comparação com os desperdícios encontrados por meio de projeto e foram interpretadas as diferenças existentes.

Em seguida serão demonstrados os resultados obtidos na confecção do protótipo construído na UFSC e sugestões para um melhor funcionamento. E, por fim, serão detalhados os resultados da análise econômica da instalação sugerida, comparando com uma instalação usual que não possui um sistema de economia de água do banho e verificando a viabilidade da proposta de instalação do sistema automatizado.

### 4.1. Desperdício de água por meio da análise dos projetos

Para exemplificar o método descrito na seção 3.1 deste trabalho, será utilizado o projeto que se encontra no Anexo A. É um apartamento composto por duas suítes e o aquecedor de passagem localizado na área de serviço, como é possível analisar nas Figuras A.I e A.II do Anexo A. Consultando o projeto identifica-se que o chuveiro mais afastado do aquecedor de passagem da unidade habitacional é o chuveiro da suíte 2. Os detalhes isométricos da área de serviço H1 e da suíte H2 encontram-se, respectivamente, nas Figuras A.II e A.III do Anexo A e possibilitam obter os comprimentos de tubulação dispostos na vertical.

Sabe-se por meio do projeto que a tubulação é de PPR PN 20 de diâmetro de 25mm. De acordo com a Tabela 4.1 o diâmetro interno para esta tubulação é de 18mm. Substituindo-se as variáveis diâmetro interno da tubulação e comprimento de tubulação entre aquecedor e chuveiro mais afastado na Equação 1 obtêm-se o

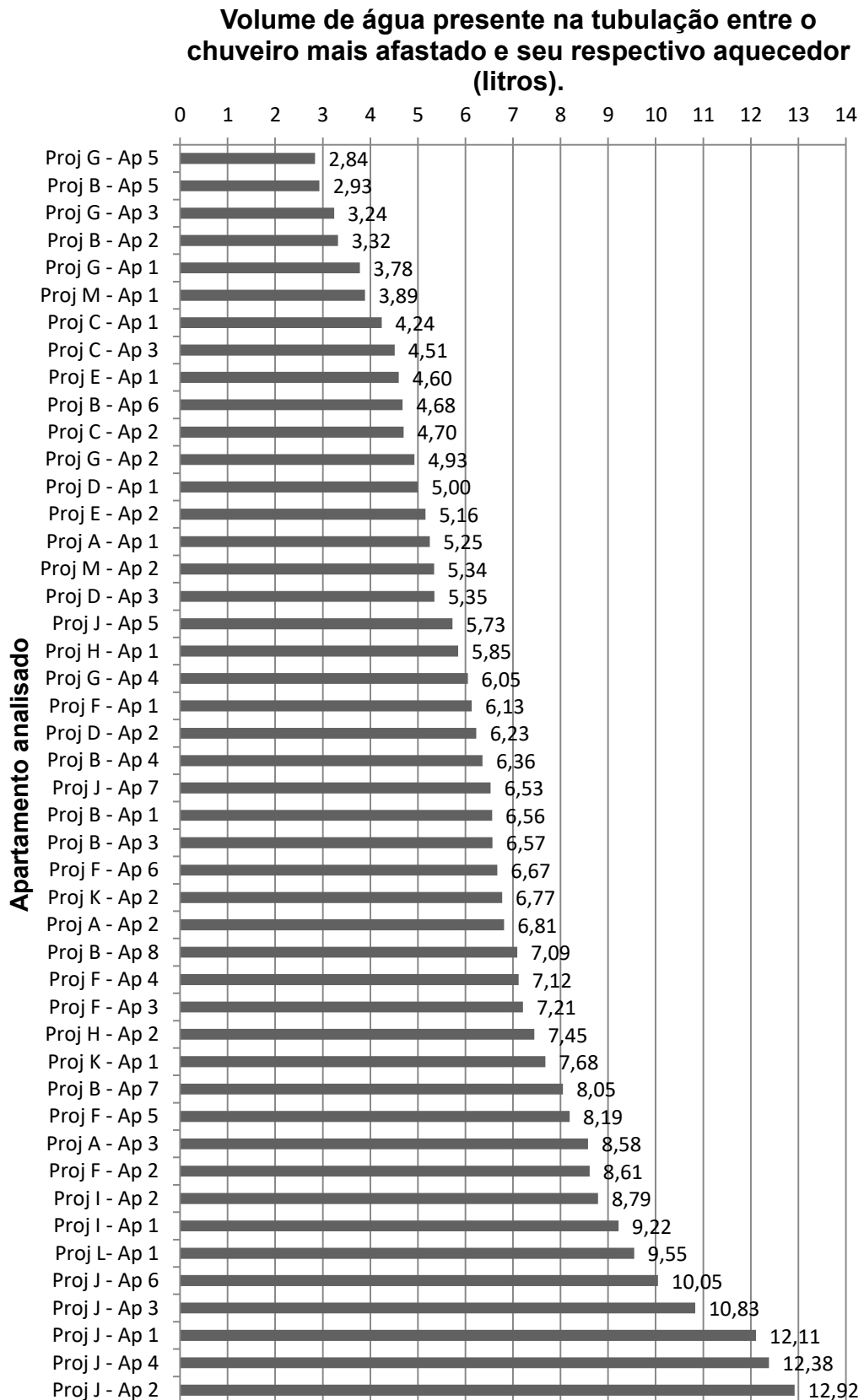
volume de água que fica em repouso na tubulação após um banho e que seria desperdiçado no início do banho seguinte.

**Tabela 4.1 - Diâmetros internos para os diferentes materiais e diâmetros nominais de tubulação.**

<b>Material</b>	<b>Tipo/ Classe</b>	<b>Diâmetro nominal da tubulação (mm)</b>	<b>Espessura da parede da tubulação (mm)</b>	<b>Diâmetro interno (mm)</b>
<b>Polipropileno (PPR)</b>	PN 20	20	2,8	14,4
<b>Polipropileno (PPR)</b>	PN 20	25	3,5	18
<b>Polipropileno (PPR)</b>	PN 20	32	4,5	23
<b>Polipropileno (PPR)</b>	PN 25	20	3,4	13,2
<b>Polipropileno (PPR)</b>	PN 25	25	4,2	16,6
<b>Polipropileno (PPR)</b>	PN 25	32	5,4	21,2
<b>Cobre</b>	E	22	0,6	20,8
<b>Cobre</b>	E	28	0,6	26,8

De modo análogo foram obtidos os valores de volume desperdiçado para os demais projetos analisados. Na Tabela B.1 do Apêndice C estão listados os comprimentos entre o aquecedor de passagem e o chuveiro mais afastado presentes nos projetos que encontram-se no CD-ROM. A Figura 4.1 apresenta o volume de água presente no interior da tubulação entre o chuveiros mais afastado e seu respectivo aquecedor de passagem de todos os apartamentos dos projetos analisados.

**Figura 4.1 - Volume de água presente na tubulação entre o chuveiro mais afastado e seu respectivo aquecedor dos apartamentos analisados.**



Observa-se que em média o volume de água presente nas tubulações entre os chuveiros mais afastados de seus respectivos aquecedores de passagem é de 6,95 litros, enquanto que a mediana destes valores é de 6,45 litros e os extremos são de 12,92 litros e 2,84 litros.

#### 4.2. Desperdício de água por meio de medição *in loco*

Os quatro condomínios onde foi possível medir o desperdício *in loco* apresentaram valores que diferem dos desperdícios analisados por meio dos projetos. Nas medições de desperdício *in loco*, a partir dos dados de temperatura da água durante cada segundo da coleta, de vazão do chuveiro, e o total de água coletado, foi possível construir gráficos do crescimento da temperatura ao longo do desperdício de água coletado. Portanto, é possível saber o volume de água que foi desperdiçado para a água sair do chuveiro com determinada temperatura. A Tabela 4.2 mostra os volumes de desperdícios encontrados nas duas formas de medição (em projeto e *in loco*). Na primeira coluna de resultados encontram-se os valores medidos por meio dos projetos que representam apenas o desperdício da água que fica armazenada na tubulação entre o aquecedor de passagem e o chuveiro mais afastado. A segunda coluna de resultados da Tabela 4.2 mostra a média do desperdício de água encontrado assim que o medidor de temperatura do coletor de água indicasse variação na temperatura. E a terceira coluna de resultados da Tabela 4.2 mostra a média dos volumes desperdiçados até o instante em que a água do chuveiro atingisse uma temperatura de 30°C.

**Tabela 4.2 - Comparação do volume de água desperdiçado mensurado em projeto e medido *in loco*.**

Projeto	Desperdício em Projeto (litros)	Desperdício <i>In loco</i> (litros)	
		Na variação de temperatura da água	Ao atingir 30 °C
Condomínio Ilha Ventura (2 Quartos)	9,55	7,80	11,11

**Tabela 4.2 - Comparação do volume de água desperdiçado mensurado em projeto e medido in loco (continuação).**

Projeto	Desperdício em Projeto (litros)	Desperdício <i>In loco</i> (litros)	
		Na variação de temperatura da água	Ao atingir 30 °C
Condomínio Ilha Ventura (3 Quartos)	-	7,87	10,34
Condomínio Villa Vitória (2 Quartos)	7,68	5,62	10,33
Condomínio Villa Vitória (3 Quartos)	6,77	5,04	8,55
Condomínio Villa Vitória (4 Quartos)	-	5,63	8,25
Condomínio Plaza Saint Tropez (WC)	3,89	4,66	7,48
Condomínio Plaza Saint Tropez (WC Suíte)	5,34	7,69	8,94

Em teoria os valores de desperdício encontrados em projeto deveriam se aproximar dos valores de desperdício encontrados *in loco* quando a temperatura da água começa a sofrer variações positivas. A seguir são listadas algumas sugestões que justificam esta discrepância nos valores:

- O projeto executado pode ter sofrido modificações nas compatibilizações das tubulações, portanto, aumentando ou diminuindo os comprimentos de tubulação;
- Não estão sendo considerados os efeitos de transferência de calor da água por condução, portanto, a água ao sair do aquecedor a uma temperatura de aproximadamente 50°C, transfere calor para a água fria que está na

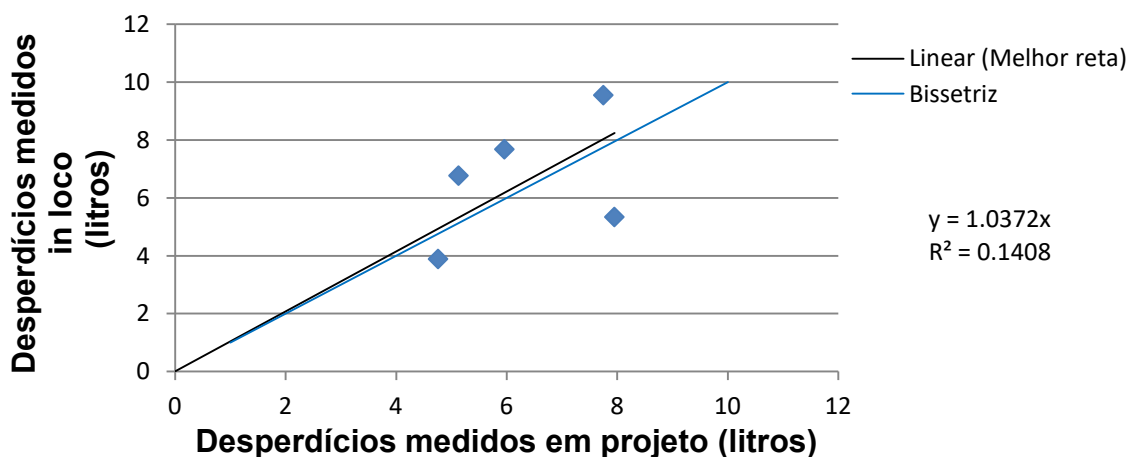
tubulação, acelerando a variação da temperatura da água na saída do chuveiro;

- Dependendo do *layout* da tubulação do aquecedor até o chuveiro mais afastado, é possível haver ramificações desta tubulação para atender aos demais aparelhos hidráulicos do apartamento. A água presente nestas ramificações contribui para retardar o aquecimento da água da tubulação que vai até o chuveiro mais afastado do aquecedor;
- Conforme a temperatura ambiente em que os testes são realizados, serão obtidos resultados diferentes;
- Uma análise mais completa deve levar em conta as condições de isolamento térmico da tubulação.

Para os apartamentos analisados, a média encontrada para desperdício de água até que a água que sai do chuveiro sofresse alguma variação na temperatura é de 6,33 litros. E para a água sair do chuveiro a uma temperatura de 30°C, ocorre em média desperdício de 9,28 litros de água.

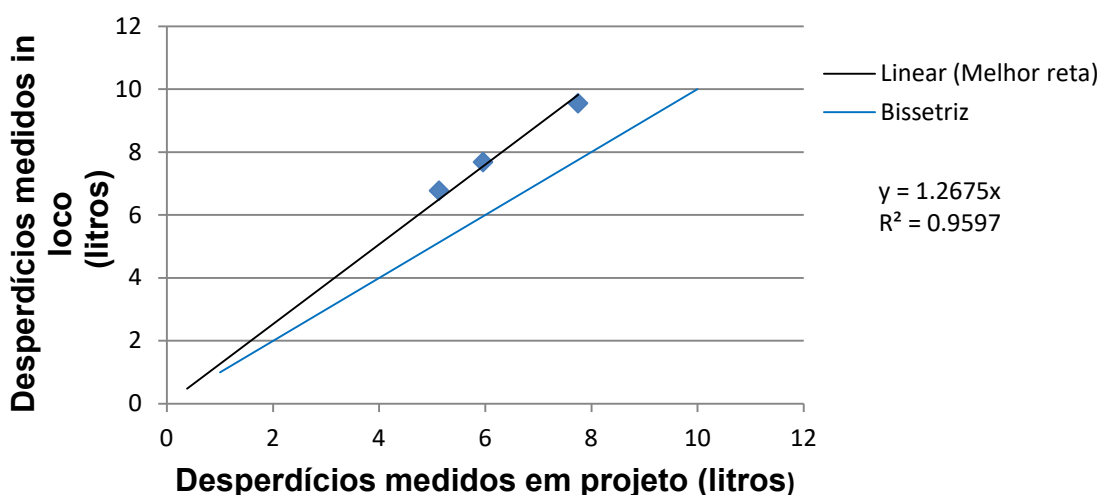
Na Figura 4.2 é mostrada a correlação entre os valores de desperdícios medidos em projeto e medidos *in loco* para os três condomínios analisados com exceção do apartamento de quatro quartos do condomínio Villa Vitória e do apartamento de três quartos do condomínio Ilha Ventura. Os projetos destes apartamentos não foram encontrados.

**Figura 4.2 - Correlação entre os volumes desperdiçados medidos em projeto e os volumes desperdiçados *in loco*.**



Observa-se que não há forte correlação entre os volumes de desperdício medidos *in loco* e os volumes de desperdício medidos em projeto, apesar da melhor reta estar bastante próxima da bissetriz. Porém, ressalta-se que excluindo os valores obtidos por meio de medição no condomínio Plaza Saint Tropez, que não tinha aquecimento por meio de aquecedores de passagem a gás, mas que também apresentava desperdício de água no banho, obtém-se melhor correlação, conforme ilustrado na Figura 4.3.

**Figura 4.3 - Correlação ajustada entre os volumes desperdiçados medidos em projeto e os volumes desperdiçados *in loco*.**



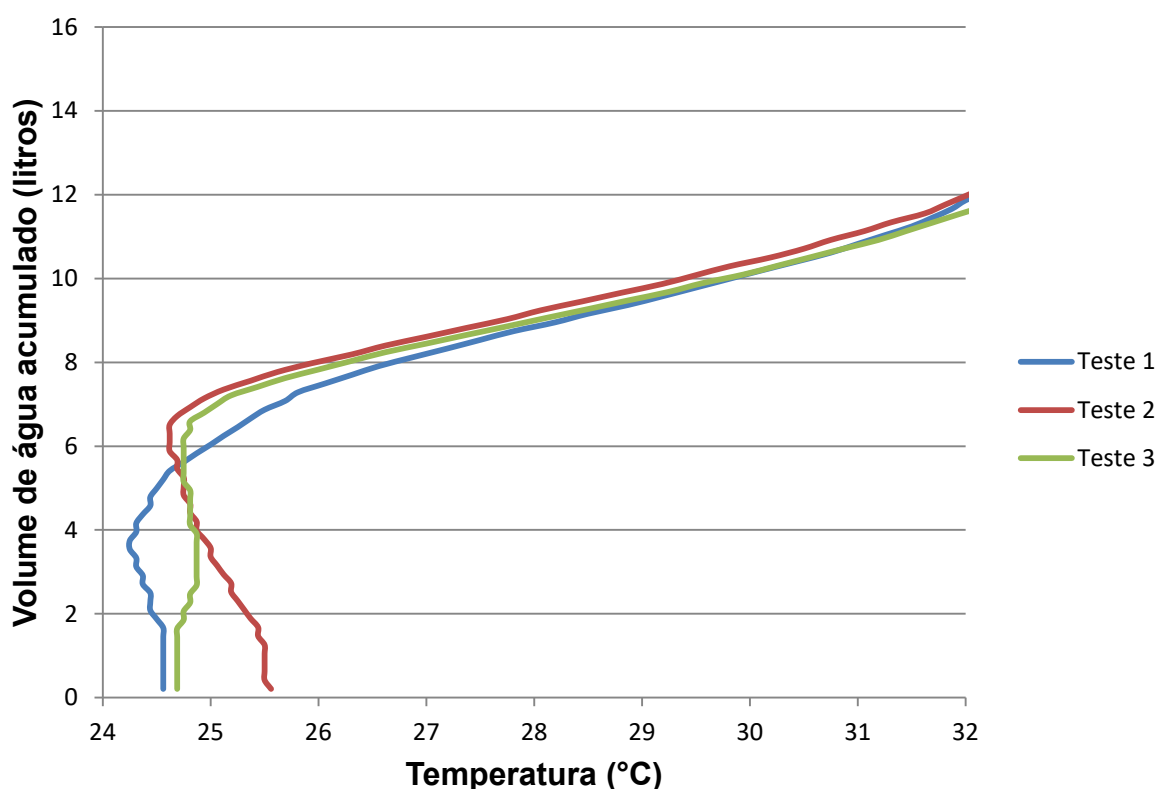
Analisando a Figura 4.3, conclui-se que a melhor reta está um pouco mais distante da bissetriz, porém há forte correlação entre os desperdícios analisados *in loco* e por meio de projeto. Por meio da equação da reta, conclui-se que o desperdício em projeto é de 26,75% a mais do que o desperdício analisado *in loco*. Ressalta-se que com mais dados de medição de desperdício *in loco* seria possível refinar este valor e obter fatores mais confiáveis para ser usado no ajuste do desperdício encontrado ainda na fase de projeto.

Para analisar a forma como o desperdício de água acontece, a Figura 4.4 mostra três medições *in loco* realizadas para o chuveiro da suíte do apartamento de dois quartos do condomínio Villa Vitória. Para o teste 1 foi verificado com o morador do apartamento qual era o registro de pressão de água quente deste chuveiro e confirmado que o chuveiro não tinha sido usado nas horas precedentes ao teste. Na



sequência realizou-se a coleta da água do chuveiro enquanto a temperatura era medida constantemente. Após a obtenção dos valores de volume de água coletado e do crescimento da temperatura da água da saída do chuveiro, desligou-se o aquecedor de passagem para fazer com que a água fria circulasse pela tubulação de água quente. Deste modo foi possível realizar os testes 2 e 3 para simular o início de novos banhos e comparar os dados obtidos com os dados do teste 1.

**Figura 4.4 - Variação da temperatura ao longo do volume de água coletado do chuveiro da suíte do apartamento de dois quartos do condomínio Villa Vitória.**



Com a análise da Figura 4.4 pode-se obter o volume de água desperdiçado até a temperatura da água atingir um determinado valor. No teste 1, identifica-se que a temperatura começa a aumentar após a coleta de 3,54 litros de água. Ressalta-se que o teste 1 é o que melhor representa a realidade, tendo em vista que para as medições 2 e 3 o resfriamento da tubulação foi forçado, podendo não representar a temperatura ambiente em que a água da tubulação se encontra normalmente nas suas condições de isolamento. Para os testes 2 e 3 o volume de água coletado do chuveiro até a temperatura da água começar a variar foi de, respectivamente, 6,72 e 6,59 litros, resultando na média de 5,62 litros apresentada na Tabela 4.2.

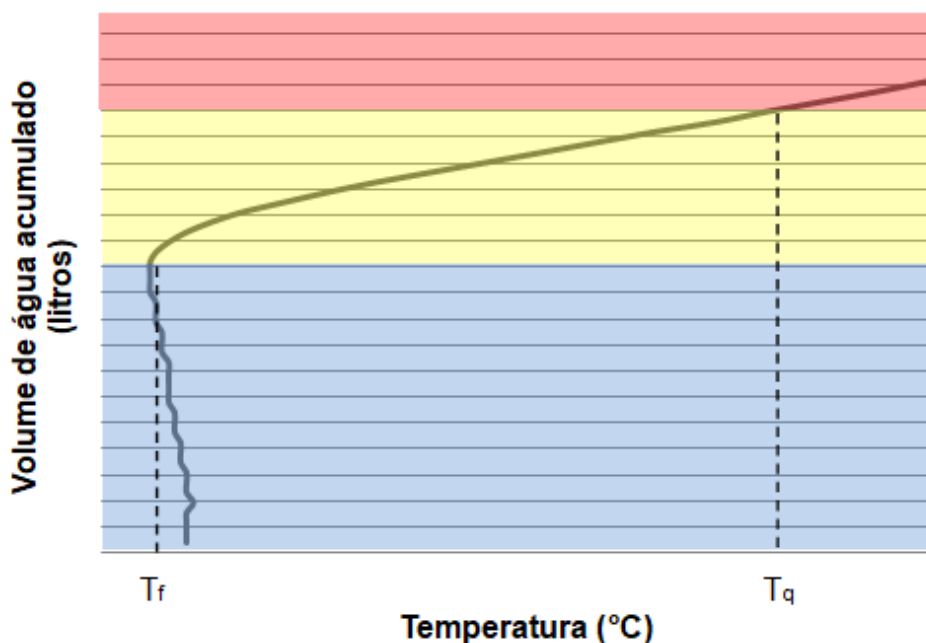
Como abordado na seção 2.2, a temperatura relacionada ao uso pessoal e banhos varia entre 40°C e 50°C. Portanto, espera-se que o usuário comece a realizar o ajuste fino da temperatura que a água flui pelo chuveiro quando a temperatura da água encontra-se próxima destes valores, acarretando desperdícios ainda maiores.

Para a água que sai deste chuveiro atingir 30°C, no teste 1 encontrou-se um desperdício de 10,2 litros, e nos testes 2 e 3, encontraram-se desperdícios de 10,5 litros e 10,3 litros, respectivamente, resultando em uma média de desperdício de 10,33 litros. Portanto, para se obter o valor que realmente será desperdiçado deve-se considerar o tempo que a água necessita para atingir temperaturas confortáveis ao usuário. Neste caso, este desperdício decorrente deste tempo de espera para que a água aqueça representou um volume de aproximadamente 45% do total desperdiçado.

Para o apartamento de quatro quartos do condomínio Villa Vitória não foi possível obter o projeto com as plantas para a análise. Porém, é considerado um dado importante para a análise de desperdício de água médio que ocorre no condomínio. Na medição *in loco* do condomínio Paris Dakar foram obtidos apenas os valores desperdiçados quando a água atingia a temperatura de 30°C. Estes valores serão utilizados apenas nas considerações da análise econômica a ser discutida no final deste capítulo.

A Figura 4.5 ilustra um esquema genérico de como se distribui o desperdício de água potável que ocorre no banho. O intervalo azul corresponde a faixa de desperdício da água de temperatura fria ( $T_f$ ) que se encontra na tubulação de água quente que sofreu perdas térmicas dentro do intervalo de tempo de um banho e outro. O intervalo na cor amarela corresponde ao volume de água desperdiçado que está mais quente, porém ainda não atingiu temperaturas ( $T_q$ ) adequadas para o banho. Estes dois intervalos serão diferentes de um projeto para o outro conforme o material da tubulação e isolamento utilizados. Por último, o intervalo de desperdício na cor vermelha é uma faixa de desperdício que dependerá das condições climáticas da região, da temperatura do ambiente e da diferença de aceitabilidade térmica de um usuário para outro.

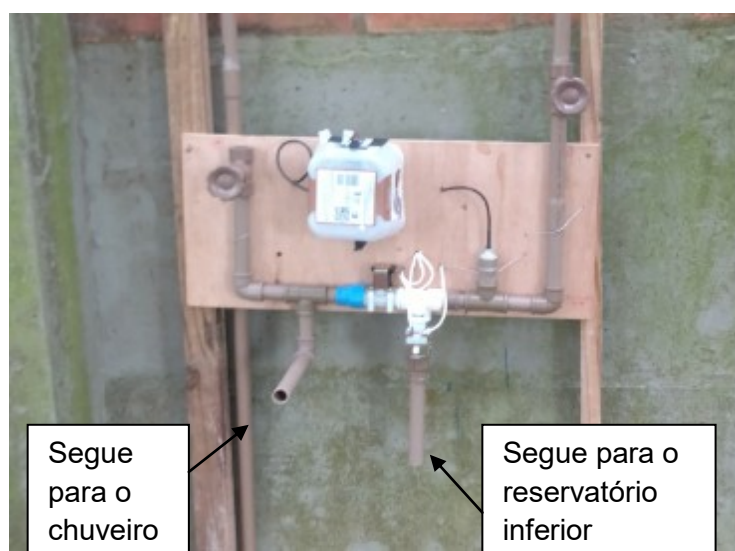
**Figura 4.5 - Esquema genérico do comportamento usual de desperdício de água do banho.**



### 4.3. Protótipo do sistema automatizado proposto

O protótipo do sistema que visa evitar desperdício de água do banho, ilustrado na Figura 4.6, foi instalado e testado nos meses de abril e maio de 2018 em horários em que a água presente no boiler já estivesse quente o suficiente para poder causar alguma variação no sensor de temperatura. Os custos com materiais para a elaboração do protótipo se encontram no Apêndice D.

**Figura 4.6 - Visão do protótipo sem a câmera termográfica.**



Para satisfazer as pressões de funcionamento das válvulas solenóides, que é de no mínimo 0,02 MPa (aproximadamente 2,00 metros de coluna d'água), a tubulação de saída do chuveiro do protótipo foi posicionada na cota de 1,30m a partir do nível do solo. No dia do teste verificou-se que a temperatura da água do boiler encontrava-se em aproximadamente 27°C. Com isso alterou-se a programação para ocorrer a troca dos estados das válvulas quando a temperatura da água identificada pelo sensor de temperatura atingisse 26°C. Para poder acompanhar esta mudança na temperatura foi utilizada uma câmera termográfica (FLIR B400). Ao identificar que a água iria variar de uma temperatura ambiente de 23°C para aproximadamente 27°C foi possível ajustar a escala da câmera, conforme ilustrado nas Figuras 4.7 e 4.8, entre os valores de 22,5 e 28,7°C.

Portanto, enquanto a água flui através do sensor de temperatura em uma temperatura inferior a 26°C, o sistema irá direcionar a água para o reservatório inferior de água potável. Após toda esta água inicial flui pelo sistema e a água com temperaturas maiores oriunda do boiler entrar em contato com o sensor de temperatura, a troca simultânea dos estados das válvulas solenóides irá ocorrer e a água será direcionada então para o chuveiro.

Na Figura 4.7 é possível visualizar o instante em que toda a água fria que estava em repouso na tubulação já escoou e a água que circula pela prumada de água quente está ainda a uma temperatura inferior a 26°C, portanto, sendo direcionada para tubulação que destina a água para o reservatório inferior de água potável.

A Figura 4.8 ilustra o momento em que água superou a temperatura de 26°C, de modo que ocorreu a troca simultânea dos estados das válvulas solenóides passando assim a destinar a água para o chuveiro. Ressalta-se que para aplicações reais em um sistema predial, o algoritmo da programação seria ajustado para realizar a trocados estados das válvulas solenóides do sistema automatizado em uma temperatura entre 40°C e 50°C, deixando esta temperatura à escolha do usuário do sistema automatizado.

Figura 4.7 - Visualização do protótipo por meio da câmera termográfica (Temperatura da água menor que 26°C).

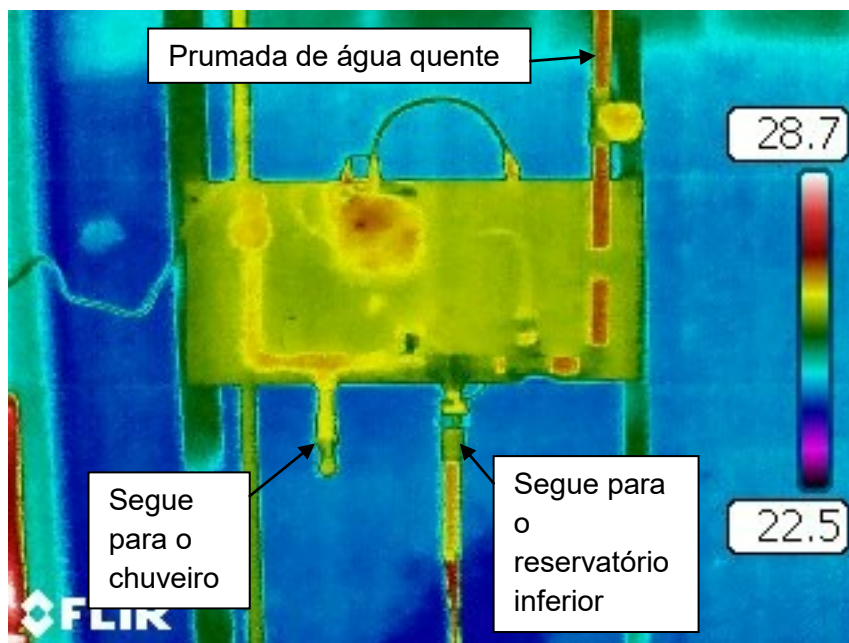
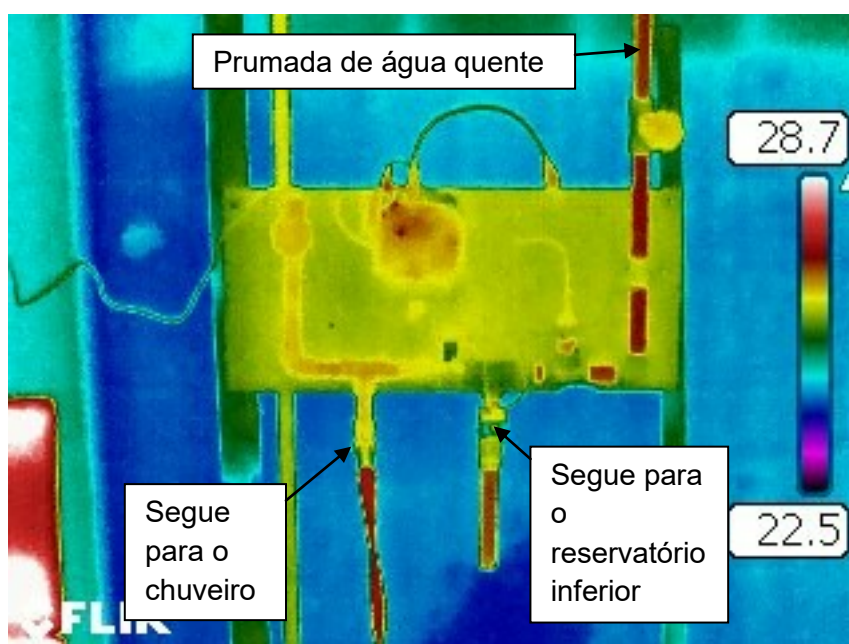


Figura 4.8 - Visualização do protótipo por meio da câmera termográfica (Temperatura da água maior que 26°C).



#### 4.4. Análise econômica

Após comprovado o funcionamento do sistema automatizado e identificados todos os componentes e modificações necessárias em um projeto para a implantação do sistema automatizado, foi realizada a análise econômica da instalação da inovação tecnológica em edifícios.

A análise financeira foi feita para seis edifícios de alturas diferentes (quatro, seis, oito, dez, doze e dezesseis pavimentos tipo). Os dados de entrada comuns a todos estes edifícios são:

- Todos os pavimentos das edificações possuem pé-direito de 2,70 metros;
- Um pavimento térreo sem apartamentos;
- Um pavimento subsolo com reservatório inferior de água potável;
- Quatro apartamentos de dois quartos por pavimento tipo;
- Quatro moradores por apartamento;
- Duas prumadas verticais para coleta de água dos chuveiros da edificação.
- Consumo de água de 100 litros/hab.dia;
- Custo de R\$211,04 por sistema automatizado já considerando a mão de obra;
- TMA de 0,53% ao mês e análise para 5 anos;

E os dados de entrada que variam para as análises dos cenários favoráveis e desfavoráveis são:

- Número de duchas por apartamento: uma e duas;
- Economia de água por banho com o sistema automatizado (litros): 4, 7, 10.

Conforme a NBR 5626 (ABNT, 1998), no procedimento para dimensionar as tubulações da rede predial de distribuição, na estimativa da vazão de uma seção de tubulação considerada, utiliza-se o método dos pesos relativos para estabelecer como provável uma demanda simultânea de água menor do que a máxima possível. Em função do aparelho sanitário e da peça de utilização são determinados empiricamente os pesos relativos. O peso relativo para chuveiros e duchas é de 0,4.

Este peso é utilizado para saber o diâmetro adotado para as tubulações verticais que direcionam a água para o reservatório inferior de água potável.

A partir da análise de um orçamento de instalações hidráulicas de um edifício, para os ramais de distribuição, prumadas e barrilete das tubulações de água fria, os custos com conexões obtidos foram de 48% do total gasto com materiais. Deste mesmo orçamento verificou-se que para a instalação de 1955 metros de tubulação, seriam gastos R\$7720,00 em conexões. Portanto, para a análise financeira deste trabalho utilizou-se o custo de R\$3,95 em conexão por metro de tubulação utilizado para instalar todo o sistema em uma edificação. Os custos totais com instalação hidráulica e eletrônica com um e dois sistemas automatizados por apartamento para os seis edifícios encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 4.3 e 4.4.

**Tabela 4.3 - Custos totais com instalação hidráulica e eletrônica para instalar um sistema por apartamento nas edificações.**

Custos (R\$)	Número de pavimentos tipo do edifício					
	4	6	8	10	12	16
<b>Custo com tubulações verticais</b>	55,73	76,46	95,58	114,70	133,81	172,40
<b>Custo com tubulações coletoras</b>	27,52	41,28	55,04	68,80	82,56	110,08
<b>Custo total com conexões</b>	233,84	350,76	467,68	584,60	701,52	935,36
<b>Custo com o sistema automatizado</b>	3376,59	5064,88	6753,18	8441,47	10129,77	13506,36
<b>Custo total</b>	3693,68	5533,39	7371,48	9209,57	11047,66	14723,84

**Tabela 4.4 - Custos totais com instalação hidráulica e eletrônica para instalar dois sistemas por apartamento nas edificações.**

Custos (R\$)	Número de pavimentos tipo do edifício					
	4	6	8	10	12	16
<b>Custo com tubulações verticais</b>	57,35	76,46	95,58	358,34	418,07	537,52
<b>Custo com tubulações coletoras</b>	55,04	82,56	110,08	137,60	165,12	220,16
<b>Custo total com conexões</b>	297,04	445,56	594,08	742,60	891,12	1188,16
<b>Custo com o sistema automatizado</b>	6753,18	10129,77	13506,36	16882,94	20259,53	27012,71
<b>Custo total</b>	7162,61	10734,35	14306,10	18121,49	21733,84	28958,55

Para contabilizar a economia de água com o sistema estimou-se a população dos edifícios em quatro pessoas por apartamento, consumindo em média 100 litros de água por dia. Valor bastante abaixo da média de 183,0 litros conforme os últimos cinco dados do levantamento elaborado pelo SNIS para Florianópolis (SNIS, 2018).

Para o cenário favorável foi considerada uma economia de 10,0 litros por pessoa por dia proporcionada pelo sistema. Este valor foi estimado conforme os dados que se encontraram nas medições *in loco* considerando que a temperatura para realmente iniciar o banho seria maior do que 30°C, que foi a temperatura analisada nas medições. E para cenários desfavoráveis uma economia de 4,0 e 7,0 litros por pessoa por dia. Para a tarifa de água dos meses do primeiro ano de análise considerou-se a tarifa de água do mês de maio de 2018. Para os meses dos anos seguintes do fluxo de caixa, foi utilizada a tarifa de água atual com reajuste de 7% ao



ano, que é o valor da mediana, arredondando-se as casas decimais, encontrada para os últimos cinco reajustes tributários aplicados pela CASAN. A Tabela 4.5 ilustra os últimos cinco reajustes tributários feitos pela CASAN.

**Tabela 4.5 - Reajuste tributário aplicado pela CASAN nos últimos cinco anos.**

<b>Ano</b>	<b>Reajuste (%)</b>
<b>2017</b>	6,08
<b>2016</b>	10,81
<b>2015</b>	11,94
<b>2014</b>	7,15
<b>2013</b>	6,82

A taxa mínima de atratividade adotada foi de 0,53% ao mês. Através de um fluxo de caixa de cinco anos obtiveram-se os valores de valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback* descontado ilustrados nas Tabelas 4.6 e 4.7.

**Tabela 4.6 - Análise econômica para cada edifício com instalação de um sistema por apartamento.**

<b>Análise econômica</b>	<b>Número de pavimentos tipo do edifício</b>					
	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>16</b>
	<b>Economia de 10 litros de água (cenário favorável)</b>					
<b>VPL (R\$)</b>	10900,01	16357,14	21815,89	27274,65	32733,40	43650,90
<b>TIR (% por mês)</b>	6,98	6,99	7,00	7,00	7,00	7,01
<b>Payback descontado (meses)</b>	15,23	15,21	15,19	15,19	15,18	15,17

**Tabela 4.6 - Análise econômica para cada edifício com instalação de um sistema por apartamento (continuação).**

Análise econômica	Número de pavimentos tipo do edifício					
	4	6	8	10	12	16
	Economia de 7 litros de água (cenário desfavorável)					
<b>VPL (R\$)</b>	6521,90	9789,98	13059,68	16329,38	19599,08	26138,48
<b>TIR (% por mês)</b>	4,77	4,78	4,78	4,78	4,79	4,79
<b>Payback descontado (meses)</b>	21,78	21,75	21,73	21,72	21,71	21,70
	Economia de 4 litros de água (cenário desfavorável)					
<b>VPL (R\$)</b>	2143,80	3222,82	4303,47	5384,12	6464,76	8626,06
<b>TIR (% por mês)</b>	2,18	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
<b>Payback descontado (meses)</b>	38,05	38,01	37,97	37,96	37,94	37,93

**Tabela 4.7 - Análise econômica para cada edifício com instalação de dois sistemas por apartamento.**

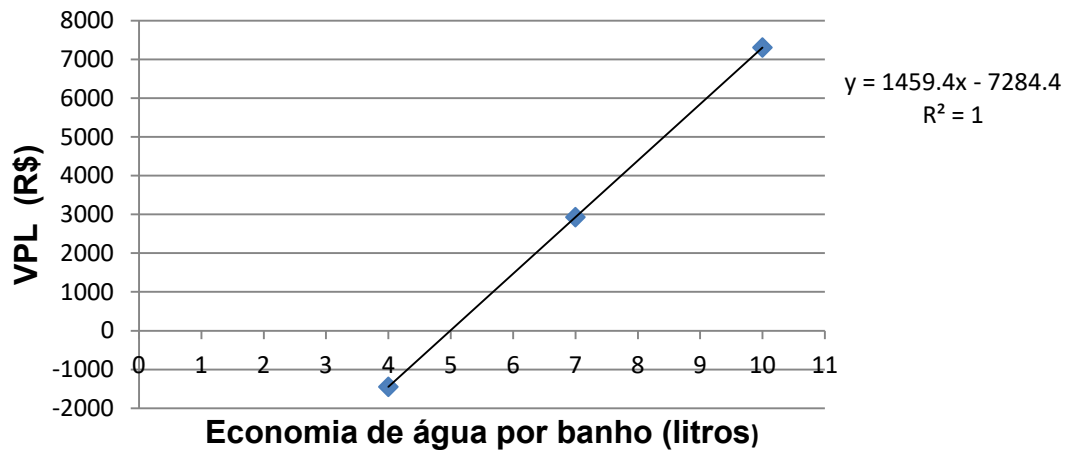
Análise econômica	Número de pavimentos tipo do edifício					
	4	6	8	10	12	16
	Economia de 10 litros de água (cenário favorável)					
<b>VPL (R\$)</b>	7431,08	11156,18	14881,28	18362,73	22047,22	29416,20
<b>TIR (% por mês)</b>	3,26	3,26	3,26	3,20	3,20	3,21
<b>Payback descontado (meses)</b>	29,51	29,48	29,47	29,86	29,84	29,82
	Economia de 7 litros de água (cenário desfavorável)					
<b>VPL (R\$)</b>	3052,97	4589,02	6125,06	7417,46	8912,90	11903,77
<b>TIR (% por mês)</b>	1,78	1,78	1,78	1,73	1,73	1,74
<b>Payback descontado (meses)</b>	42,10	42,06	42,04	42,60	42,58	42,55
	Economia de 4 litros de água (cenário desfavorável)					
<b>VPL (R\$)</b>	-1325,13	-1978,14	-2631,15	-3527,80	-4221,42	-5608,65
<b>TIR (% por mês)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Payback descontado (meses)</b>	73,40	73,34	73,31	74,25	74,21	74,16

A partir da análise dos resultados das Tabelas 4.6 e 4.7 é possível concluir que:

- A instalação de apenas um sistema por apartamento se torna viável até para economias baixas de água, como 4 litros por banho;
- O custo do sistema em si em relação a toda a instalação é muito alto, ou seja, dobrando o número de sistemas, dobra-se o tempo de retorno do investimento;
- A aplicação da tecnologia em edifícios mais altos não resulta em viabilidades mais expressivas.

A análise ficou restrita a edifícios com quatro a dezesseis pavimentos, pois, edifícios com menos de quatro andares não necessariamente contam com o reservatório inferior de água potável, ou seja, seria um custo adicional às instalações hidráulicas. E edifícios mais altos terão maiores custos com equipamentos adicionais, como válvulas de retenção, maiores diâmetros de tubulação vertical e possivelmente necessidade de reservatório inferior de água potável extra para coletar a água dos banhos. A análise financeira considerando consumos diários por habitante maiores que 100 litros resulta nos mesmos valores de VPL, TIR e *Payback* pois a diferença total de consumo de água de um edifício com o sistema automatizado e de um edifício sem o sistema é sempre a mesma. Para valores menores que 100 litros de consumo por habitante por dia, poderia haver mudança na faixa de cobrança da CASAN, porém conforme o SNIS a menor média de consumo de água verificada no Brasil é no estado de Pernambuco com 107 litros/hab.dia.

**Figura 4.9 - Relação entre o VPL e economia de água para instalação de dois sistemas automatizados por apartamento em um edifício de quatro pavimentos tipo.**



Ainda com os dados das Tabelas 4.6 e 4.7 é possível verificar o mínimo de água que o sistema deve economizar para que seja viável no caso da aplicação de dois sistemas por apartamento, que foi o único caso que não se mostrou viável para os três cenários de desperdício. A Figura 4.9 ilustra que para apartamentos em que o sistema economizará mais de 5,0 litros, é viável aplicar até mesmo dois sistemas automatizados por apartamento.

A Tabela 4.8 mostra os resultados encontrados para uma economia de 5,0 litros aplicando dois sistemas automatizados por apartamento e considerando consumo de 100 litros por habitante por dia.

**Tabela 4.8 - Análise econômica para cada edifício com dois sistemas automatizados e economia de 5 litros por banho.**

Análise econômica	Número de pavimentos tipo do edifício					
	4	6	8	10	12	16
	Economia de 5 litros de água (cenário desfavorável)					
<b>VPL (R\$)</b>	135,86	210,91	287,59	120,62	156,69	228,83
<b>TIR (%)</b>	0,59	0,59	0,59	0,55	0,55	0,55
<b>Payback descontado (meses)</b>	58,86	58,82	58,79	59,59	59,56	59,52

Logo, com VPL maior que zero para todos os edifícios analisados, tempo de retorno menor que cinco anos e TIR maior que a TMA, este seria o pior cenário possível para a análise nas condições abordadas. Fazendo ainda mais simulações é possível concluir que com a instalação de apenas um sistema automatizado por apartamento, o investimento é viável se evitar um desperdício no chuveiro de no mínimo 2,60 litros por banho.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1. Conclusões gerais

Por meio deste trabalho foi possível validar o funcionamento de um sistema automatizado que evita o desperdício de água do banho e verificar a viabilidade econômica de sua implementação em edifícios.

Mediante a medição do desperdício de água do banho por meio dos projetos, verificou-se que nos apartamentos onde os aquecedores de passagem a gás encontravam-se próximos aos banheiros, o desperdício pode ser bastante reduzido, como por exemplo, de 2,84 litros por banho. Para casos em que a edificação foi projetada sem levar em consideração este inconveniente, verificou-se que é possível ocorrer desperdícios de aproximadamente 13,00 litros por banho. Em média, o desperdício de água encontrado por meio de projeto é de 6,95 litros. Concluiu-se, porém, por meio das medições *in loco*, que o desperdício que realmente ocorre na unidade habitacional é maior do que o desperdício ocasionado pela água quente que fica em repouso na tubulação e que se esfria com o tempo, pois há também o tempo de demora para a água atingir temperaturas aceitáveis para o usuário.

Nas medições *in loco* foi possível identificar para os chuveiros analisados que em média, para a água sair do chuveiro a uma temperatura de 30°C, são desperdiçados 9,28 litros de água. Conclui-se também que dependendo da aceitação térmica do usuário, bem como da temperatura ambiente do banheiro na hora do banho, é possível ocorrer desperdícios de água ainda maiores nos segundos iniciais do banho. Com um número maior de dados de apartamentos de diferentes condomínios, seria possível obter correlações melhores entre o desperdício verificado em projeto e o desperdício verificado *in loco*. Estas correlações permitiriam obter equações para estimar o desperdício de água que realmente iria ocorrer no edifício todo. Deste modo, seria possível dimensionar com maior precisão a quantidade de água que seria direcionada para o reservatório inferior de água potável e por consequência, o valor da altura do reservatório reservada para armazenar esta água ou se for o caso, a necessidade de um reservatório extra.

Na fase de construção do protótipo foi possível validar o funcionamento do sistema proposto para assim estimar os custos com equipamentos eletrônicos e prever os custos com tubulações e conexões hidráulicas. Estes custos identificados são dados bastante relevantes para se ter uma análise econômica confiável. Ressalta-se ainda que o custo com estes equipamentos eletrônicos pode ser bastante reduzido se optar-se por importá-los. O objetivo deste trabalho não foi construir um produto final, portanto, na relação dos custos com equipamentos hidráulicos e eletrônicos do sistema automatizado foram levantados os preços das peças necessárias apenas para o funcionamento do protótipo.

Por meio da análise econômica foi possível concluir que a instalação do sistema em edificações é viável. Deve-se considerar que o maior custo do sistema proposto, que é com os componentes eletrônicos, pode ser bastante reduzido viabilizando ainda mais o investimento. A maioria das hipóteses e estimativas consideradas para as análises foram bastante conservadoras. Ou seja, em todas as análises se procurou estimar valores no sentido de inviabilizar a instalação do sistema. Mesmo assim, quase a totalidade dos resultados se demonstrou viável. Pode-se concluir que para os edifícios propostos para a análise, se em cada banho tomado ocorrer um desperdício de no mínimo cinco litros de água, é conveniente instalar o sistema automatizado em até dois chuveiros por apartamento. Porém, para que o investimento seja recuperado mais rapidamente é aconselhável que seja instalado apenas um sistema automatizado por apartamento, tendo em vista que até mesmo para economias de 2,6 litros de água por banho é possível o investimento ter retorno em até cinco anos e apresentar valor presente líquido maior que zero e taxa interna de retorno maior que a taxa mínima de atratividade.

Tendo em vista que o sistema automatizado elimina o desperdício de água fria que haveria por meio das tubulações de água quente, não faz sentido prever isolamento térmico das tubulações para ter de conservar a temperatura da água por um maior período de tempo no interior destas tubulações. Caso a análise econômica tivesse ainda considerado a redução que haveria nos custos totais com isolamento das tubulações, a implementação do sistema se tornaria ainda mais viável economicamente.



## 5.2. Limitações do trabalho

Durante a realização deste trabalho foram identificadas algumas dificuldades para sua elaboração:

- Dificuldade na obtenção dos projetos hidrossanitários de edificações que já estivessem executadas;
- Nas medições *in loco*, há a dificuldade em conseguir identificar o diâmetro da tubulação que realmente foi instalada e as condições de isolamento desta tubulação;
- Foi difícil adquirir os materiais para a elaboração do protótipo. Na região de Florianópolis foi encontrado apenas um local em que se vendem válvulas solenóides do tipo normalmente fechada. A válvula solenóide do tipo normalmente aberta foi obtida por encomenda de uma loja virtual de São Paulo;
- Curto período de tempo e dificuldade para obter permissão para realizar as medidas *in loco* nos apartamentos que possuem aquecedores de passagem a gás;
- As medições *in loco* deveriam ser tomadas em um período de um ano para avaliar como as variações da temperatura ambiente ao longo do ano interferem na temperatura da água que está em repouso nas tubulações;
- Não foi possível avaliar a eficiência do funcionamento dos aquecedores de passagem dos apartamentos e se estavam operando com melhor rendimento possível, garantindo a saída de água assim que um aparelho sanitário fosse acionado. Optou-se por regular os aquecedores na condição máxima de temperatura de funcionamento;
- Altos custos com materiais para compatibilizar as tubulações presentes na planta existente na UFSC com o protótipo elaborado. Havia também dificuldade em ter permissão e acesso na cobertura da planta onde estavam posicionados os registros de gaveta de água fria e água quente que compunham o protótipo.

### 5.3. Sugestões para trabalhos futuros

Por fim, seguem sugestões para continuidade deste trabalho e para trabalhos futuros que envolvem economia de água do banho:

- Realizar um estudo mais detalhado a respeito das válvulas solenóides. É necessário verificar as perdas de carga destas válvulas, que foram impossíveis de se encontrar nos dados de fabricante;
- Implementar as mesmas condições de instalação proposta neste trabalho, porém, para sistemas que utilizem aquecimento solar;
- Destinar a água economizada com o sistema automatizado para o vaso sanitário dos banheiros. Deve-se prever, portanto, tamanhos maiores de caixa acoplada ou caixas embutidas;
- Trabalhar na proposta de um produto mínimo viável. A instalação automatizada deve ser instalada junto aos registros de pressão do chuveiro, portanto, deve-se prever a compatibilização desta instalação de forma que possam ser realizadas futuras manutenções na instalação;
- Nas imagens com a câmera termográfica verifica-se que os componentes eletrônicos estão em temperaturas superiores a 30°C. A sugestão é fazer uma análise do consumo de energia, vida útil e os efeitos térmicos destes componentes;
- Verificar a viabilidade do sistema automatizado em sistemas prediais que possuem hidrômetros individualizados.

## REFERÊNCIAS

- ABAGAS. Associação Brasileira de Aquecimento a Gás. **Dados do setor**. 2016. Disponível em: < <http://www.abagas.com.br/#mercadoDados>>. Acesso em: novembro de 2017.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198 - Projeto e execução de instalações prediais de água quente**, Rio de Janeiro, 1993.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5626 - Instalação predial de água fria**, Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13103 - Adequação de ambientes residenciais para instalação de aparelhos que utilizam gás combustível**. Rio de Janeiro, 2000.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15813-1 - Sistemas de tubulações plásticas para instalações prediais de água quente e fria - Parte 1: Tubos de polipropileno copolímero random (PP-R) tipo 3 - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2010.
- ATUAR. **Sistema de recirculação de água smartstart rinnai RCS-9 BR sem vaso de expansão**. 2018. Disponível em: < <https://www.atuar.com.br/image/cache/data/demo/Aquecedores/rsc-600x600.jpg>> Acesso em: maio de 2018.
- BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre v. 8, n. 2, p. 23–40, Antac, abr./jun. 2008.
- BRANDÃO, R. G. **Estudo de viabilidade da utilização de PVC, PEX e PPR em empreendimentos multifamiliares**. 2010. 78 f. Monografia – Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://pantheon.ufrj.br/>>. Acesso em: novembro de 2017.
- BØHM, B. Production and distribution of domestic hot water in selected Danish apartment buildings and institutions: analysis of consumption, energy efficiency and the significance for energy design requirements of buildings. **Energy Conversion and Management**, [S.l.], v. 67, p. 152–159, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.002>>.
- CARVALHO, W. F. **Medição individualizada de água em apartamentos**. 2010. 95 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

- CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. **Casan reafirma em reportagem ações para reduzir perdas de água**, Santa Catarina, 01 set. 2015. Disponível em: <<http://www.casan.com.br/noticia/index/url/casan-reafirma-em-reportagem-acoes-para-reduzir-perdas-de-agua#0>>. Acesso em: Agosto de 2017.
- CHAGURI JUNIOR, J. J. **Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CIRRA - Centro Internacional de Referência em reuso de água. **Avaliação do consumo de insumos (água, energia elétrica e gás) em chuveiro elétrico, aquecedor a gás, chuveiro híbrido, aquecedor solar e aquecedor de acumulação elétrico**. 2009. Disponível em: <[http://www.piniweb.com/bancomaterias/images/dados\\_preliminares\\_cirra.pdf](http://www.piniweb.com/bancomaterias/images/dados_preliminares_cirra.pdf)>. Acesso em: novembro de 2017.
- ECODESENVOLVIMENTO. **Novo Produto Coleta Água Limpa Desperdiçada Pelo Chuveiro a Gás ou Solar**. 2015. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2015/agosto/novo-produto-coleta-agua-limpa-desperdicada-pelo>>. Acesso em: novembro de 2017.
- ELETROBRAS. **Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de Uso**, Ano base 2005. Casse Residencial. Relatório Brasil. Rio de Janeiro: PROCEL, 2007.
- ELETROBRAS. **Eficiência Energética e Geração Distribuída: para os próximos 10 anos (2014-2023)**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, PROCEL, dez. 2014. p 33.
- EPA. U.S. Environmental Protection Agency. **Guide for Efficient Hot Water Delivery Systems**. 2014. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-01/documents/ws-homes-hot-water-distribution-guide.pdf>>. Acesso em: novembro de 2017.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021)**. Nota técnica DEA 16/12. Rio de Janeiro, dez. 2012. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20121221\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20121221_1.pdf)>. Acesso em: outubro de 2017.

- EVOLVE. Evolve technologies. Products. **Showerstart TSV**. 2017. Disponível em: <<http://thinkevolve.com/products/showerstart-tsv/>>. Acesso em: novembro de 2017.
- FARIA F. A. M. de; Jaramillo P.; Sawakuchi H. O.; Richey J.E.; Barros N. **Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs**. Environmental Research Letters 10 124019. 2015. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/124019/pdf>>. Acesso em: novembro de 2017.
- FERREIRA, A. K. Y. Expansão da rede de gás fomenta instalação de aquecedores de passagem. **Revista do Frio**, ano XXIV, n.288, maio 2014. Disponível em: <<http://revistadofrio.com.br/2014/05/expansao-da-rede-de-gas-fomenta-instalacao-de-aquecedores-de-passagem/>>. Acesso em: agosto de 2017.
- FLORIANÓPOLIS. Lei complementar Nº 567, de 04 de julho de 2016. **Artigos 188A ao 188D na Lei Complementar nº 60**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/lei-complementar/2016/56/567/lei-complementar-n-567-2016-inclui-os-arts-188a-ao-188d-na-lei-complementar-n-60-de-2000>>. Acesso em: outubro de 2017.
- GHISI, E; OLIVEIRA, S. M. de. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1731-1742, Elsevier, 2007.
- GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2007.
- GIURCO, D.P.; CARRARD, N.; MCFALLAN, S.; NALBANTOGLU, M.; INMAN, M.; THORNTON, N.; WHITE, S. **Residential end-use measurement Guidebook: a guide to study design, sampling and technology**. Prepared by the Institute for Sustainable Futures, UTS and CSIRO for the Smart Water Fund, Victoria, Austrália, 2008.
- GONÇALVES O. M.; CHAGURI, J.J.; LANDI, F.D.N.; ILHA, M.S.O.;KAVASSAKI,Y.;HENRIQUES,A.M.J.;ISAAC,L.C.S. **Desenvolvimento de tecnologias de substituição de aquecimento de água: programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para o setor residencial**. São Paulo, 1989.

- GOOGLE MAPS. **Florianópolis**. 2018. Disponível em:<  
<https://www.google.com.br/maps/@-27.5886517,-48.5128176,15z>> . Acesso em: março de 2018.
- GU, L. **A simplified hot water distribution system model**. In: 10th INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION CONFERENCE AND EXHIBITION, set. 2007, Beijing, China. Disponível em: <<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-PF-429-07.pdf>>. Acesso em: novembro 2017.
- HOMEDEPOT. Water Circulation Pumps & Circluators - **Hotlink - Domestic Hot Water Recirculation System**. 2017. Disponível em: <<https://www.homedepot.com/catalog/pdfimages/0c/0cdf7f4-fbf1-4e29-a7da-5b8d4b39cd98.pdf>>. Acesso em: Novembro de 2017.
- IBRAHIM, O.; FARDOUN, F.; YOUNES, R.; LOUAHLIA- GUALOUS, H. Review of water heating systems: general selection approach based on energy and environmental aspects. **Building and Environment**, v. 72, p. 259-286, Elsevier, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.006>>. Acesso em: novembro 2017.
- ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M.; KAVASSAKI, Y. **Sistemas prediais de água quente**. (Texto Técnico, Departamento de Engenharia de Construção Civil; TT/PCC/09). São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1994.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria nº 298**: Regulamentação específica definindo os índices mínimos de eficiência energética de aquecedores de água a gás. Anexo I, Capítulo II, p.1, 2007. Disponível em: <  
[http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/..%5Cpontofocal%5Ctextos%5Cregulamentos%5CBRA\\_240.pdf](http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/..%5Cpontofocal%5Ctextos%5Cregulamentos%5CBRA_240.pdf)> Acesso em: novembro 2017.
- \_\_\_\_\_. **Tabelas de consumo/eficiência energética de aquecedores de água a gás instantâneos**. 2017. Disponível em: <  
[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/aquecedorAgua\\_2015.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/aquecedorAgua_2015.pdf)>. Acesso em: novembro 2017.
- JUSBRASIL. **Revista da propriedade industrial (RPI) de 28 de julho de 2015**. 2015. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/96630418/rpi-patentes-28-07-2015-pg-133>> Acesso em: novembro de 2017.

- KLEIN, G. Hot-water Distribution Systems. **Plumbing Systems & Design**. 2004.  
Disponível em: <  
[http://www.allianceforwaterefficiency.org/Residential\\_Hot\\_Water\\_Distribution\\_System\\_Introduction.aspx](http://www.allianceforwaterefficiency.org/Residential_Hot_Water_Distribution_System_Introduction.aspx)>. Acesso em: novembro de 2017.
- KOMEKO. **Como funciona o aquecedor a gás digital de passagem**. 2015.  
Disponível em: <<http://www.komeco.com.br/blog/consumidor/como-funciona-o-aquecedor-a-gas-de-passagem.html>>. Acesso em: Outubro de 2017.
- LUTZ, J. **Estimating energy and water losses in residential hot water distribution systems**. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, 2005. Disponível em:  
<<http://www.allianceforwaterefficiency.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=2252>>. Acesso em: novembro de 2017.
- MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas: prediais e industriais**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas: prediais e industriais**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- MAEHARA, G. P. **Tigre S/A Tubos e conexões**. Relatório de estágio curricular, Departamento de Engenharia Mecânica, Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2008.
- NATIONAL ASSOCIATION OF HOME BUILDERS RESEARCH CENTER (NAHB). **Domestic hot water system piping insulation: analysis of benefits and cost**. Report #5928-3\_12292010. Upper Malboro (MD), 2010. Disponível em:  
<<http://www.homeinnovation.com/~media/Files/Reports/Domestic%20Hot%20Water%20System%20Piping%20Insulation%20-%20Final%20Report.pdf>>. Acesso em: novembro de 2017.
- PALMIERI, M.C. **Ciclo por absorção para complementar a climatização e o aquecimento de água no setor hoteleiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- PASETTI, G.O. **Automação e otimização energética de uma unidade de aquecimento solar doméstica**. Dissertação de mestrado, Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

RIO DE JANEIRO. Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. Lei nº 5.184 de 02/01/2008. Disponível

em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/contlei.nsf/3a9d0429ac287c9a03256b2a0061e65c/3fe29b415bde8b0c832573d100668521?OpenDocument>> . Acesso em: outubro de 2017.

SANGOI, J.M. **Análise comparativa do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais**. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SÃO PAULO (Município) Decreto Nº 49.148, de 21 de janeiro de 2008, Lei nº 14.459, de 3 de julho de 2007. **Código de obras**. São Paulo. Disponível em:

<[http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios\\_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=22012008D%20491480000](http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=22012008D%20491480000)>. Acesso em: outubro de 2017.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2015**. Ministério das Cidades, Brasília:

Ministério das Cidades – SNSA, 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: outubro de 2017.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série histórica - 2018**. Ministério das Cidades, Brasília: Ministério das Cidades – SNSA, 2018.

Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: maio de 2018.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**/ Plínio Tomaz. Navegar Editora. São Paulo, 2003.

TOMAZ, P. **Previsão de Consumo de Água – Interface das Instalações Prediais de Água e Esgoto com os serviços Públicos**. Navegar Editora, São Paulo, 2001.

UNESCO - *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization*.

**Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016**. 2016. 3 p. Disponível em:

<<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244041por.pdf>>. Acesso em: agosto de 2017.

WIEHAGEN, J.; SIKORA, J. L. Performance Comparison of Residential Hot Water Systems. **National Renewable Energy Laboratory**, Report Number

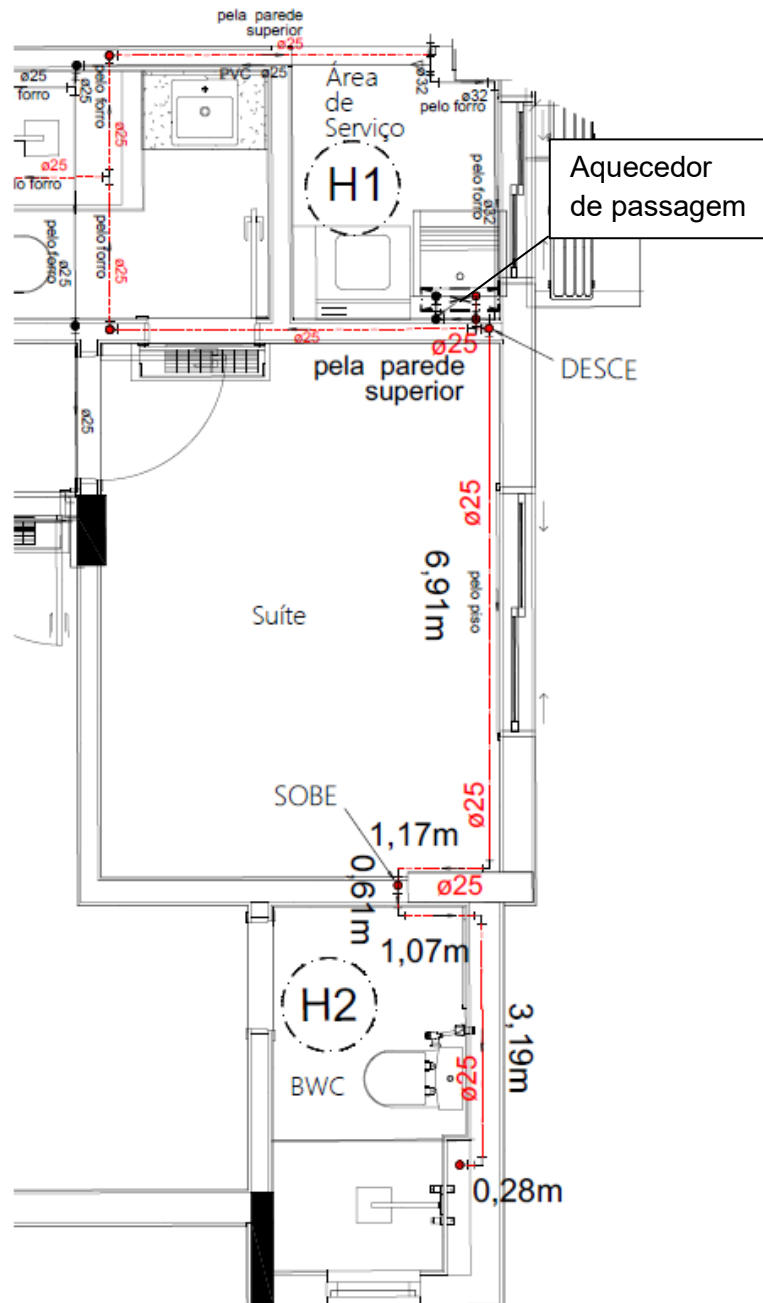


- NREL/SR-550-32922, Golden (CO), 2003. Disponível em:  
<<http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/32922.pdf>>. Acesso em: out. 2017.
- WILLIS, R.M.; STEWART, R.A.; GIURCO, D. P.; TALEBPOUR, M. R.;  
MOUSAVINEJAD, A. End use water consumption in households: impact of  
socio-demographic factors and efficient devices. **Journal of Cleaner  
Production**, p. 1-9, doi:10.1016/j.jclepro.2011.08.006, Elsevier, 2011.
- ZHOU, S. L.; MCMAHON, T. A.; WALTON, A.; LEWIS, J. Forecasting operational  
demand for an urban water supply zone. **Journal of Hydrology**, v. 259, n. 1-  
4, p. 189-202, Elsevier, 2002.

ANEXOS

Anexo A - Projeto J

Figura A.I - Planta baixa do apartamento 5 do projeto J.



Legenda

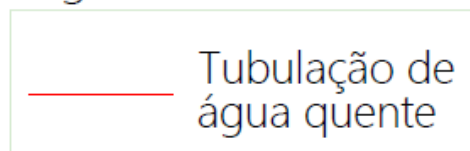
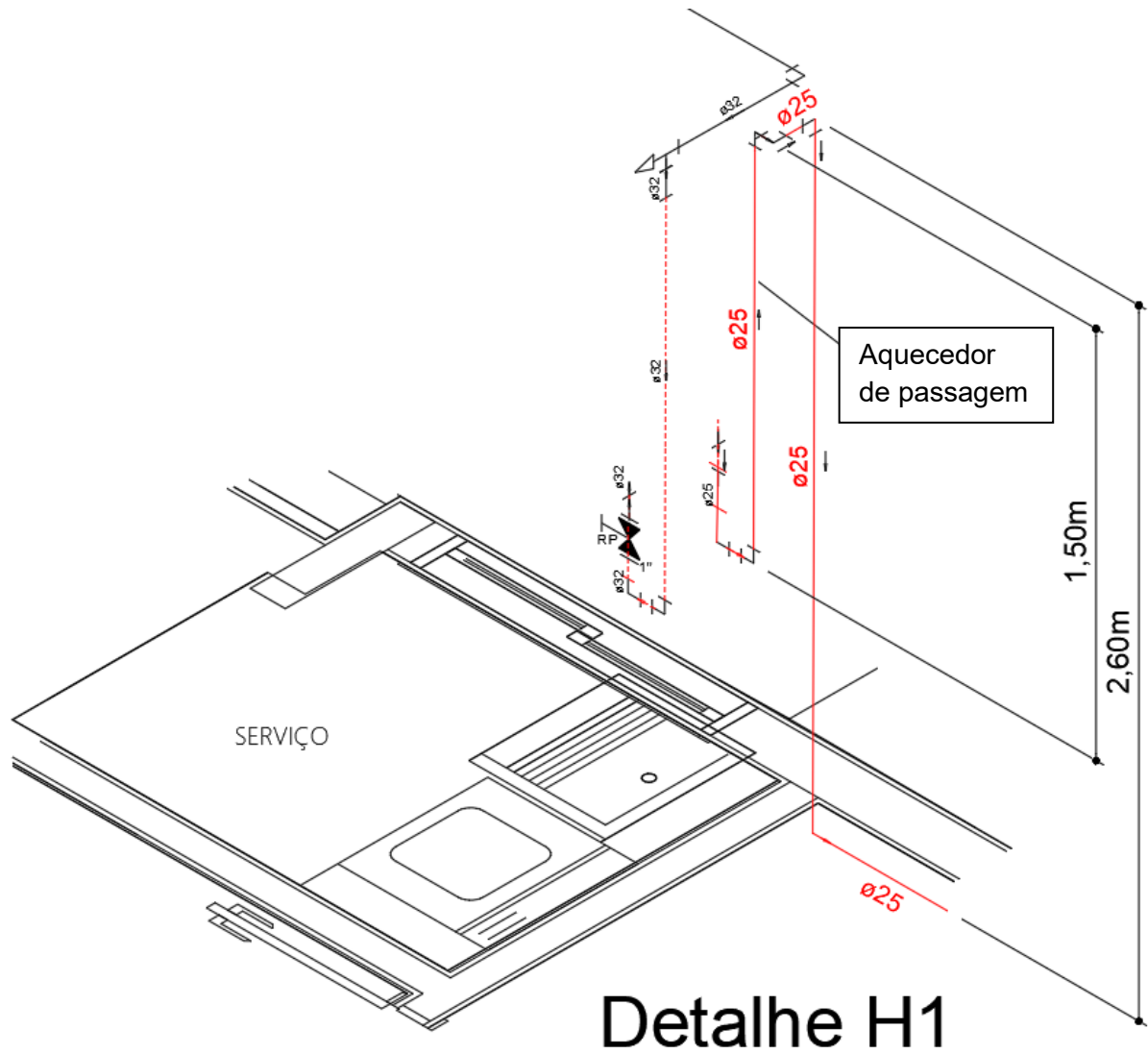


Figura A.II - Isométrico da área de serviço do apartamento 5 do projeto J.



## Detalhe H1

Legenda

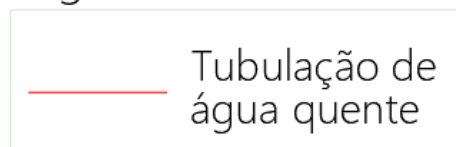
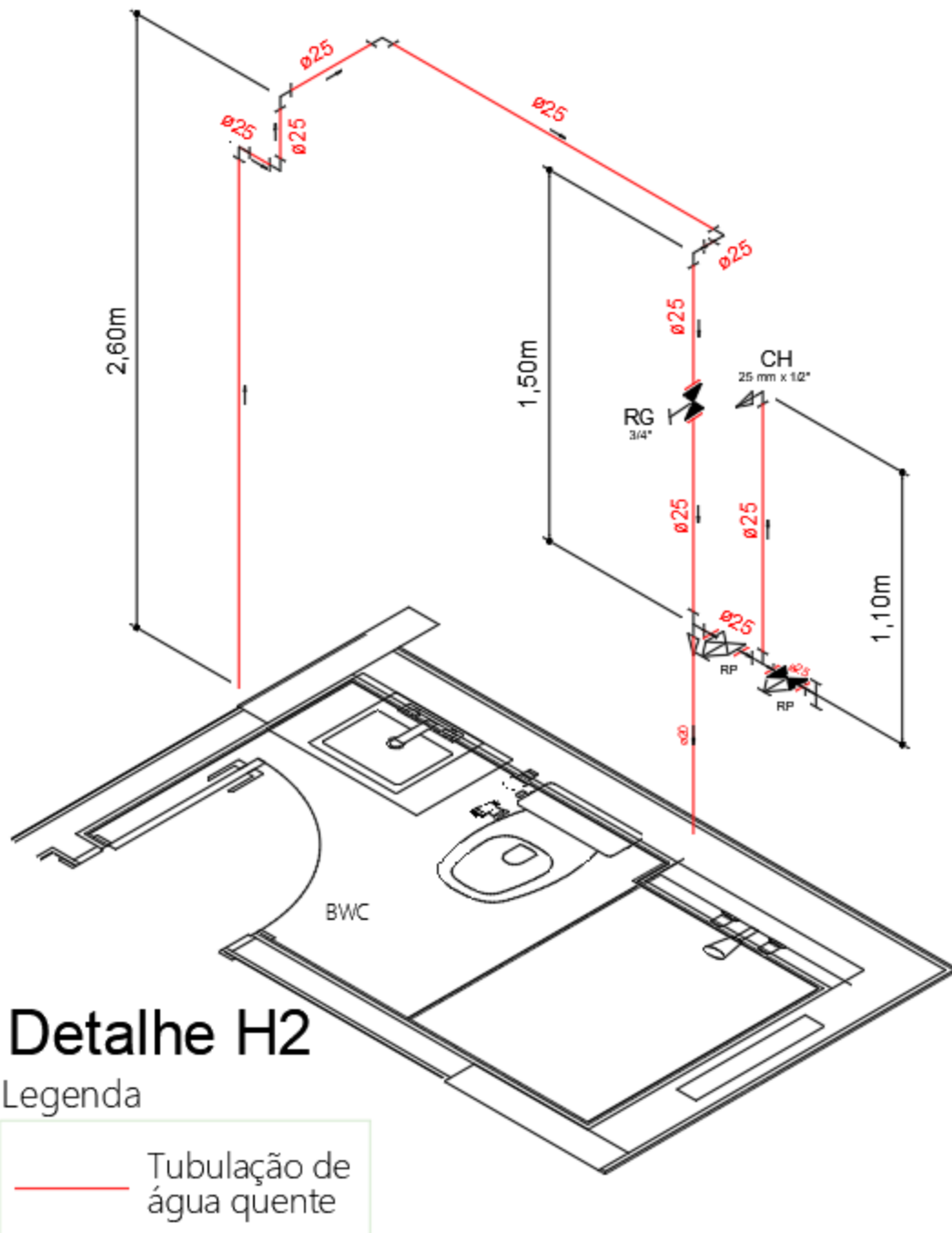


Figura A.III - Isométrico do banheiro da suíte do apartamento 5 do projeto J.



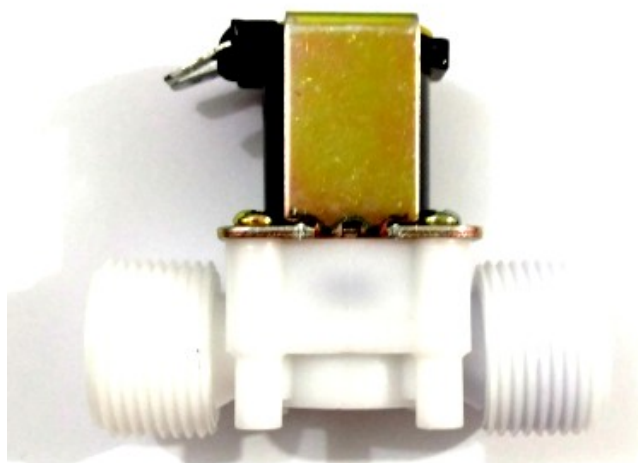
## APÊNDICES

### Apêndice A - Componentes eletrônicos utilizados para a confecção do protótipo

#### A.1. Válvula solenóide

A válvula solenóide, mostrada na Figura A.1, é um componente hidráulico-eletrônico que pode ser do tipo normalmente aberta ou normalmente fechada. A abertura ou fechamento desta válvula se dá pelo recebimento de um sinal elétrico provindo de um módulo ou fonte externa que interpreta alguma informação pré-programada.

**Figura A.1 - Válvula Solenóide**



Para o protótipo foram utilizadas duas válvulas. Uma normalmente aberta, instalada antes do chuveiro e direcionada para a tubulação que encaminha a água para o reservatório inferior de água potável da edificação. A outra válvula é do tipo normalmente fechada conectada imediatamente antes do ponto para o chuveiro. O acionamento destas válvulas será guiado pelos sinais interpretados pelo módulo relé que recebe as informações de temperatura do sensor de temperatura DS18B20.

Para o funcionamento elétrico das válvulas é necessário a conexão de um dos pinos da válvula com um dos fios de uma fonte 12V e o outro pino conectado aos terminais do módulo relé.

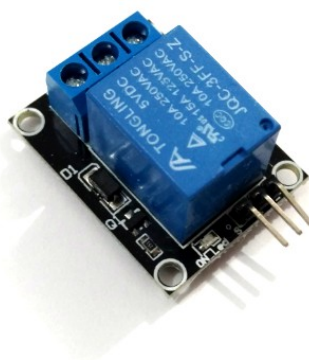
As especificações técnicas da válvula adquirida para o protótipo são:

- Uso: Água e fluidos de baixa viscosidade;
- Tensão de operação: 12VDC;
- Corrente: 250mA;
- Pressão – 0,02 à 0,8MPa;
- Modo de operação: Normal fechado;
- Temperatura máxima do fluido: 100°C;
- Diâmetro da rosca: 19,5mm;
- Comprimento da rosca: 17mm;
- Tipo de válvula: Diafragma (operada por servo);
- Dimensões: 85 x 53 x 42mm.

## A.2. Módulo relé

O módulo relé utilizado no protótipo, ilustrado na Figura A.2, é de dois canais. Isso significa que o componente recebe a informação do microcontrolador e consegue realizar o fechamento do circuito simultaneamente para as duas válvulas solenóides utilizadas. O módulo é alimentado por uma corrente de 5V provinda da plataforma Arduino, assim como o sistema de proteção "GND".

**Figura A.2 - Módulo relé**

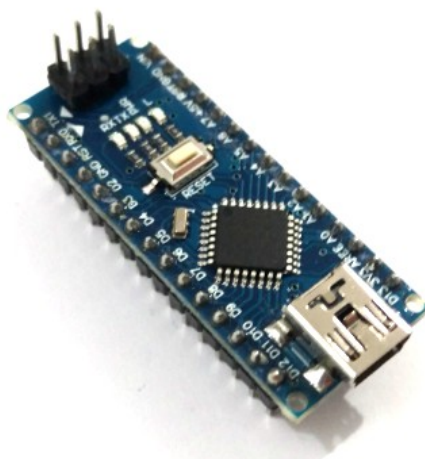


O relé é responsável por receber um sinal de 5V e possibilitar o funcionamento de componentes eletrônicos simples integrando-os aos componentes que exigem maior voltagem, como por exemplo válvulas solenóides, lâmpadas, motores, etc.

### **A.3. Arduino Nano V3.0**

O Arduino é uma plataforma de prototipagem de hardware livre, ou seja, qualquer usuário é capaz de melhorar ou modificar o Arduino partindo do mesmo hardware básico. A plataforma, ilustrada na Figura A.3, é composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada e saída e que podem se conectar com um computador via cabo USB e programada através de um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) utilizando linguagem baseada em C/C++. Para a programação do protótipo utilizou-se o próprio IDE fornecido pela própria marca Arduino.

**Figura A.3 - Arduino Nano V3.0**



### **A.4. Sensor de temperatura DS18B20**

Este sensor, ilustrado na Figura A.4, é responsável por medir a temperatura que a água se encontra na tubulação de água quente imediatamente antes do registro de pressão de água quente do chuveiro. Com a característica de ser a prova d'água, há a possibilidade de instalar o sensor na tubulação contanto que sejam tomados os devidos cuidados para vedar a região da abertura na tubulação, que podem ser realizados com massa epóxi.

**Figura A.4 - Sensor de temperatura DS18B20.**



#### **A.5. Clip conector e bateria 9V**

Estes componentes são responsáveis por garantir eletricidade à placa Arduino. Por se tratar de um protótipo, optou-se pelo uso de bateria, ilustrada na Figura A.5, para facilitar as instalações elétricas, eliminando a necessidade de mais um ponto para a tomada. Recomenda-se que para a aplicação do sistema em um projeto seja feita a conexão diretamente com a rede elétrica para otimizar o sistema e reduzir gastos com bateria.

**Figura A.5 - Clip conector e bateria 9V.**





## Apêndice B - Pesquisa de preço

**Tabela B.1 - Menor preço verificado para cada componente eletrônico do protótipo por meio de pesquisa de preço.**

<b>Item</b>	<b>unidade</b>	<b>Menor preço (R\$)</b>
<b>Válvula solenóide normalmente aberta</b>	unitário	33,00
<b>Válvula solenóide normalmente fechada</b>	unitário	29,90
<b>Módulo relé 2 canais</b>	unitário	12,90
<b>Arduino Nano</b>	unitário	20,95
<b>Sensor DS18B20</b>	unitário	10,94
<b>Fonte 12V 1A</b>	unitário	12,70
<b>Fonte 9V</b>	unitário	10,19
<b>Fio flexível duplo</b>	metro	1,50
<b>Jumpers</b>	unitário	0,32
<b>TOTAL</b>		<b>135,28</b>

**Apêndice C - Resultados dos desperdícios de água encontrados por meio da análise dos projetos.**

**Tabela C.1 - Volume de água no interior da tubulação entre aquecedor de passagem e chuveiro**

<b>Projeto</b>	<b>Comprimento entre aquecedor de passagem e chuveiro (m)</b>	<b>Diâmetro nominal da tubulação (mm)</b>	<b>Diâmetro interno (mm)</b>	<b>Volume de água no interior da tubulação (litros)</b>
<b>A (Apartamento 1)</b>	20,65	25,00	18,00	5,25
<b>A (Apartamento 2)</b>	26,78	25,00	18,00	6,81
<b>A (Apartamento 3)</b>	33,71	25,00	18,00	8,58
<b>B (Apartamento 1)</b>	25,76	25,00	18,00	6,56
<b>B (Apartamento 2)</b>	13,05	25,00	18,00	3,32
<b>B (Apartamento 3)</b>	25,81	25,00	18,00	6,57
<b>B (Apartamento 4)</b>	24,98	25,00	18,00	6,36
<b>B (Apartamento 5)</b>	11,51	25,00	18,00	2,93
<b>B (Apartamento 6)</b>	18,39	25,00	18,00	4,68
<b>B (Apartamento 7)</b>	31,64	25,00	18,00	8,05
<b>B (Apartamento 8)</b>	27,86	25,00	18,00	7,09
<b>C (Apartamento 1)</b>	16,68	25,00	18,00	4,24
<b>C (Apartamento 2)</b>	18,49	25,00	18,00	4,70
<b>C (Apartamento 3)</b>	17,73	25,00	18,00	4,51
<b>D (Apartamento 1)</b>	19,63	25,00	18,00	5,00
<b>D (Apartamento 2)</b>	24,50	25,00	18,00	6,23

**Tabela C.1 - Volume de água no interior da tubulação entre aquecedor de passagem e chuveiro (continuação).**

<b>Projeto</b>	<b>Comprimento entre aquecedor de passagem e chuveiro (m)</b>	<b>Diâmetro nominal da tubulação (mm)</b>	<b>Diâmetro interno (mm)</b>	<b>Volume de água no interior da tubulação (litros)</b>
<b>D (Apartamento 3)</b>	21,01	25,00	18,00	5,35
<b>E (Apartamento 1)</b>	18,09	25,00	18,00	4,60
<b>E (Apartamento 2)</b>	20,29	25,00	18,00	5,16
<b>F (Apartamento 1)</b>	14,75	32,00	23,00	6,13
<b>F (Apartamento 2)</b>	20,73	32,00	23,00	8,61
<b>F (Apartamento 3)</b>	17,35	32,00	23,00	7,21
<b>F (Apartamento 4)</b>	17,14	32,00	23,00	7,12
<b>F (Apartamento 5)</b>	19,72	32,00	23,00	8,19
<b>F (Apartamento 6)</b>	16,05	32,00	23,00	6,67
<b>G (Apartamento 1)</b>	17,46	25,00	16,60	3,78
<b>G (Apartamento 2)</b>	22,78	25,00	16,60	4,93
<b>G (Apartamento 3)</b>	14,97	25,00	16,60	3,24
<b>G (Apartamento 4)</b>	27,97	25,00	16,60	6,05
<b>G (Apartamento 5)</b>	13,11	25,00	16,60	2,84
<b>H (Apartamento 1)</b>	27,03	25,00	16,60	5,85
<b>H (Apartamento 2)</b>	34,42	25,00	16,60	7,45
<b>I (Apartamento 1)</b>	18,56	25,00	16,60	9,22
<b>I (Apartamento 2)</b>	17,87	25,00	16,60	8,79

**Tabela C.1 - Volume de água no interior da tubulação entre aquecedor de passagem e chuveiro (continuação).**

<b>Projeto</b>	<b>Comprimento entre aquecedor de passagem e chuveiro (m)</b>	<b>Diâmetro nominal da tubulação (mm)</b>	<b>Diâmetro interno (mm)</b>	<b>Volume de água no interior da tubulação (litros)</b>
<b>J (Apartamento 1)</b>	47,60	25,00	18,00	12,11
<b>J (Apartamento 2)</b>	50,80	25,00	18,00	12,92
<b>J (Apartamento 3)</b>	42,50	25,00	18,00	10,83
<b>J (Apartamento 4)</b>	48,70	25,00	18,00	12,38
<b>J (Apartamento 5)</b>	22,50	25,00	18,00	5,73
<b>J (Apartamento 6)</b>	39,50	25,00	18,00	10,05
<b>J (Apartamento 7)</b>	25,70	25,00	18,00	6,53
<b>K (Apartamento 1)</b>	17,00	28,00	26,80	7,68
<b>K (Apartamento 2)</b>	12,00	28,00	26,80	6,77
<b>L (Apartamento 1)</b>	19,60	28,00	26,80	9,55
<b>M(Apartamento 1)</b>	15,30	25,00	18,00	3,89
<b>M (Apartamento 2)</b>	21,00	25,00	18,00	5,34

**Apêndice D - Lista de materiais para a elaboração do protótipo.**

**Figura D.1 - Componentes hidráulicos necessários para a montagem e compatibilização com o sistema existente.**

<b>ITENS</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>VALOR UNITÁRIO (R\$)</b>	<b>VALOR TOTAL (R\$)</b>
Tubulação de diâmetro de 20mm de policloreto de vinila (PVC)	18,00m	12,80 (tubo com 6m)	38,40
Tê de diâmetro de 20mm (PVC)	2,00	0,68	1,36
Tê rosqueável de 20mm (PVC)	1,00	2,47	2,47
Joelho de diâmetro de 20mm (PVC)	8,00	0,40	3,20
Luva de diâmetro 20mm (PVC)	1,00	0,52	0,52
Bucha de redução 25x20mm (PVC)	1,00	0,37	0,37
Luva simples soldável 25mm (PVC)	1,00	0,47	0,47
Luva soldável rosca 20x1/2"	2,00	1,00	2,00
Registro de pressão (PVC)	2,00	12,80	25,60
Registro de esfera (PVC)	1,00	3,90	3,90
Cola para PVC	1,00	2,29	2,29
Conector fêmea PPR	1,00	15,30	15,30
Lixa	1,00	2,60	2,60
Massa epóxi	1,00	6,50	6,50
<b>TOTAL</b>			<b>104,98</b>

**Figura D.2 - Componentes eletrônicos necessários para a montagem do protótipo.**

<b>ITENS</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>VALOR UNITÁRIO (R\$)</b>	<b>VALOR TOTAL (R\$)</b>
Válvula solenóide normalmente aberta	1,00	29,00	29,00
Válvula solenóide normalmente fechada	1,00	40,00	40,00
Módulo relé 2 canais	1,00	12,90	12,90
Plataforma Arduino Nano V3.0 composto por microcontrolador Atmel	1,00	39,90	39,90
Sensor de temperatura a prova d'água DS18B20	1,00	16,90	16,90
Bateria de 9V	1,00	16,00	16,00
Clip conector para bateria	1,00	2,90	2,90
Fonte 12V	1,00	22,75	22,75
Fita isolante	1,00	2,60	2,60
Fita adesiva dupla face	1,00	13,00	13,00
Fio flexível duplo 1,5mm <sup>2</sup>	1,00m	1,50	1,50
<b>TOTAL</b>			<b>197,45</b>