

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**João Paulo Massuco**

**Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais e Aquecimento  
Solar de Água Aplicados em um Loteamento Residencial  
Horizontal: Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica**

Porto Alegre  
Dezembro de 2017

**JOÃO PAULO MASSUCO**

**Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais e Aquecimento  
Solar de Água Aplicados em um Loteamento Residencial  
Horizontal: Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da  
Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como  
parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Dieter Wartchow**

Porto Alegre  
Dezembro de 2017

**JOÃO PAULO MASSUCO**

**Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais e Aquecimento Solar de Água Aplicados em um Loteamento Residencial Horizontal: Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2017

Prof. Dieter Wartchow  
Dr. Pela Universidade de *Stuttgart*, Alemanha  
Orientador

Profa. Luciani Somensi Lorenzi  
Dra. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)**  
Dr. Pela Universidade de *Stuttgart*, Alemanha

**Prof. Juan Martin Bravo (UFRGS)**  
Dr. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Profa. Daniela Guzzon Sanagiotto (UFRGS)**  
Dra. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Hebe e Tailor, a minha irmã, Giulia, e a minha namorada, Jéssica, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço aos meus queridos pais, Hebe Maria Birlem da Silva Massuco e Tailor Jerônimo Massuco, à minha irmã, Giulia Massuco, e à minha namorada, Jéssica Rosler Teixeira Mendes, por seu apoio incondicional quanto aos meus desafios, sempre me incentivando a alcançar meus objetivos.

Agradeço a Prof. Dieter Wartchow, orientador do presente trabalho, por seu esmero e dedicação quanto ao acompanhamento de meus estudos, mostrando-se prontamente disposto a auxiliar nos momentos de orientação, e pelas conversas sobre o tema, as quais colaboraram muito com a confecção deste trabalho.

Agradeço à Nex Group, primeiramente por todo o conhecimento prático a mim oferecido por meio de ensinamentos ao longo da execução da obra do Loteamento Chácara das Nascentes, onde por mais de três anos desenvolvi conhecimentos que complementaram minha formação como engenheiro civil, e por fornecerem a mim todo o respaldo para a execução deste trabalho.

Agradeço à Casa do Solar, por toda a dedicação dos envolvidos quanto às questões técnicas e econômicas a respeito de sistemas de aquecimento solar de água.

Agradeço, finalmente, a meus amigos que, ao longo da graduação, me ajudaram a desenvolver conhecimentos, me motivando sempre a alcançar meus objetivos.

**Se quieres vencer o mundo todo, vence a ti mismo.**  
*Fiódor Dostoiévski*

## RESUMO

O presente trabalho versa sobre a análise da viabilidade técnica e econômica de um sistema de aproveitamento de águas pluviais e de um sistema de aquecimento solar de água quando implantados a um sobrado unifamiliar de um loteamento horizontal já existente e situado na cidade de Porto Alegre, o loteamento Chácara das Nascentes. Sua viabilidade técnica foi determinada uma vez que se provou ser possível aplicar os conceitos e requisitos exigidos pelas normas regulamentadoras, específicas para cada um dos sistemas, adaptando-os às limitações físicas do projeto arquitetônico já executado pela construtora responsável pelo loteamento. A viabilidade econômica, por sua vez, foi verificada de forma distinta para cada sistema: para o sistema de aproveitamento de águas pluviais, estimou-se a economia de água consumida devido ao armazenamento e uso da água captada, utilizando como embasamento de dados séries hidrológicas para a região do loteamento e médias de demandas por água não potável; o sistema de aquecimento solar, por sua vez, teve sua viabilidade econômica estudada estimando-se a redução de gastos com energia elétrica devido à captação da energia solar e seu armazenamento em forma de energia térmica, determinando sua eficiência energética com o uso de médias de irradiação solar diárias e orientações da norma regulamentadora competente para seu dimensionamento. Utilizando-se dois métodos de análise de investimentos (Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno), a economia mensal gerada por cada um dos sistemas foi comparada com seus respectivos valores de investimento inicial, determinando, desta forma, a viabilidade econômica de cada sistema, bem como a atratividade de seu investimento. Analisando os resultados obtidos, se pôde concluir que o Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais não é um investimento rentável, principalmente devido aos gastos excessivos gerados pelo fato de o reservatório ser enterrado, configuração escolhida com o intuito de não gerar alterações estéticas nos sobrados do Chácara das Nascentes (uma das premissas deste trabalho); o Sistema de Aquecimento Solar, por sua vez, mostrou-se um investimento rentável, com taxa interna de retorno (TIR) significativamente superior à taxa mínima de atratividade proposta (taxa Selic), retornando o investimento feito pelo usuário em seu quinto ano de uso.

Palavras-Chave: Aproveitamento de Águas Pluviais. Aquecimento Solar. Sustentabilidade.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do Processo de Análise Técnica e Econômica .....	19
Figura 2 - Crescimento Populacional e Aumento da Urbanização no Brasil .....	21
Figura 3 - Demanda doméstica por água em Porto Alegre .....	30
Figura 4 – Fonte de energia para aquecimento de água para banho no Brasil .....	38
Figura 5 – Picos de demanda por energia elétrica na região sul do Brasil .....	39
Figura 6 – Percentual de participação do chuveiro elétrico no consumo final de energia, no Brasil e em suas regiões geográficas (2005) .....	40
Figura 7 – Esquema de funcionamento de um aquecedor de passagem a gás.....	41
Figura 8 – Esquema de funcionamento de um aquecedor de passagem a gás.....	41
Figura 9 – Médias diárias de irradiação solar no plano horizontal por região do Brasil.....	44
Figura 10 – Ângulo de inclinação dos coletores em relação ao plano horizontal .....	47
Figura 11 – Classificação dos SAS.....	50
Figura 12 – Implantação do loteamento Chácara das Nascentes.....	52
Figura 13 – foto aérea do loteamento Chácara das Nascentes .....	53
Figura 14 – Exemplo de Sobrado do Loteamento Chácara das Nascentes .....	54
Figura 15 – Coeficiente de Runoff para os Distintos Tipos de Superfície .....	58
Figura 16 –Gráfico para Determinação do Volume do Reservatório (Método da Simulação) .	60
Figura 17 – Instalação e Componentes de um Reservatório Enterrado.....	62
Figura 18– Modelo de laje de concreto protendido para cobertura da área escavada.....	64
Figura 19 – Exemplo de filtro com tampa de inspeção para tubulação de entrada. ....	65
Figura 20 – Caixa de Areia para Rede de Drenagem Pluvial Tigre .....	66
Figura 21 – Reservatório de 50 Litros para Armazenamento do Primeiro Volume de Chuva..	67
Figura 22 – Perdas de Carga Localizadas – Equivalência em Trecho Reto de Tubulação.....	69
Figura 23 - Indicações para as variáveis de determinação do volume de consumo .....	71
Figura 24 – Detalhamento do reservatório térmico .....	77
Figura 25 – SAS em regime de circulação forçada .....	78
Figura 26 – Componentes do coletor solar .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Proporção de domicílios com água encanada por fonte de aquecimento no Brasil.	42
Tabela 2 – Dimensões dos Elementos Construtivos Determinantes para Adaptação aos Sistemas Propostos .....	54
Tabela 3: determinação do volume de consumo diário de água aquecida.....	71
Tabela 4: orçamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais proposto .....	84
Tabela 5: determinação do VPL para o SAAP proposto .....	86
Tabela 6 – orçamento do SAS proposto .....	87
Tabela 7 – determinação do VPL para o SAS proposto .....	89
Tabela 8 – Taxa interna de retorno para cada sistema proposto.....	90

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVA – Associação Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

ADVFN – *Advanced Financial Network*

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AQUA - Alta Qualidade Ambiental

AsBEA - Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura

BCB – Banco Central do Brasil

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica

DEP – Departamento de Esgotos Pluviais

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo

LEED - *Leadership in Energy & Environmental Design*

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre;

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SAAP – Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

SAS – Sistema de Aquecimento Solar

Selic - Sistema Especial de Liquidação e Custódia

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

$V$  – Volume do reservatório, em litros

$P$  – Precipitação média anual, em milímetros

$D$  – Demanda por água não-potável, em litros

$V_{\text{consumo}}$  – volume total de água aquecida consumido diariamente, em  $\text{m}^3$

$T_u$  – tempo médio de utilização da peça por dia, expresso em segundos

$Q_{\text{pu}}$  – vazão da peça de utilização, em  $\text{m}^3$

$V_{\text{armaz}}$  – é o volume do sistema de armazenamento do SAS, em  $\text{m}^3$

$T_{\text{consumo}}$  – Temperatura de utilização da água aquecida, expressa em  $^{\circ}\text{C}$

$T_{\text{ambiente}}$  – Temperatura ambiente anual média, expressa em  $^{\circ}\text{C}$

$E_{\text{útil}}$  – Energia útil demandada, em kWh/dia

$\rho$  – massa específica da água, igual a  $1000 \text{ kg/m}^3$

$C_p$  – Calor específico da água, igual a  $4,18 \text{ KJ/kg.K}$

$E_{\text{perdas}}$  – Somatório das perdas térmicas, em kWh/dia

$E_{\text{capt}}$  – Energia captada pelos coletores solares, em kWh/dia

PMDEE – produção média de energia específica do coletor solar, em kWh/m<sup>2</sup>

Fr<sub>tu</sub> – coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional)

Fr<sub>ul</sub> – coeficiente de perda do coletor solar (adimensional)

FC<sub>Instal</sub> – Fator de correção de instalação dos coletores solares, adimensional

β – inclinação do coletor solar em relação ao plano horizontal, em graus (°)

β<sub>ótimo</sub> – inclinação ótima do coletor para o local onde será instalado, em graus (°)

γ – ângulo de orientação do coletor solar em relação ao norte geográfico, em graus (°)

A<sub>coletora</sub> – Área total de coletores solares, em m<sup>2</sup>

I<sub>G</sub> – Irradiação global média anual para o local de instalação, em (kWh/m<sup>2</sup>.dia)

VPL<sub>j</sub> – valor presente líquido de um fluxo de caixa de uma alternativa j qualquer

n – número de períodos envolvidos no horizonte do fluxo de caixa

F<sub>n</sub> – valores contidos no fluxo de caixa que ocorrem em n

i – taxa de juros comparativa, ou taxa mínima de atratividade

Vb – Verba

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>DIRETRIZES DA PESQUISA .....</b>	<b>16</b>
2.1	QUESTÃO DE PESQUISA.....	16
2.2	OBJETIVO DE PESQUISA.....	16
2.3	PRESSUPOSTO .....	16
2.4	PREMISSA.....	17
2.5	DELIMITAÇÕES .....	17
2.6	LIMITAÇÕES .....	17
2.7	DELINEAMENTO E METODOLOGIA .....	18
<b>3</b>	<b>URBANIZAÇÃO, CRESCIMENTO POPULACIONAL E A DEMANDA POR RECURSOS NATURAIS .....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>23</b>
4.1	EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS .....	23
4.2	“MARKETING VERDE”: O APELO COMERCIAL ÀS EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS .....	25
<b>5</b>	<b>APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAS .....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>PARTES CONSTITUINTES DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS</b>	<b>30</b>
6.1	ÁREA DE CAPTAÇÃO .....	31
6.2	CALHAS .....	32
6.3	CONDUTORES.....	33
6.4	RESERVATÓRIO .....	33
6.5	FILTRAGEM E TRATAMENTO.....	35
<b>7.</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: O DESAFIO DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>36</b>
7.1	ENERGIA ELÉTRICA.....	37
7.2	GLP – GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO .....	39
7.3	ENERGIA SOLAR.....	42
<b>8.</b>	<b>SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA.....</b>	<b>45</b>
8.1	COLETORES SOLARES.....	45
8.2	SISTEMA DE ARMAZENAMENTO – RESERVATÓRIO TÉRMICO .....	47
8.3	SISTEMAS DE AQUECIMENTO AUXILIAR.....	48
8.4	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR.....	48
8.4.1	Arranjo .....	49
8.4.2	Circulação .....	49
8.4.3	Regime .....	50
8.4.4	Armazenamento.....	50
8.4.5	Alimentação.....	50
8.4.6	Alívio de Pressão.....	50
<b>9</b>	<b>LOTEAMENTO CHÁCARA DAS NASCENTES .....</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E DELIMITAÇÕES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS ESTUDADO .....</b>	<b>54</b>

10.1	DELIMITAÇÕES E COMPONENTES INTRÍNSECOS AO PROJETO HIDROSSANITÁRIO EXISTENTE .....	54
10.2	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO .....	54
10.2.1	MÉTODO PRÁTICO INGLÊS.....	56
10.2.2	MÉTODO PRÁTICO ALEMÃO.....	58
10.2.3	MÉTODO DA SIMULAÇÃO .....	59
<b>11</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....</b>	<b>62</b>
11.1	RESERVATÓRIO .....	62
11.2	EQUIPAMENTOS E PEÇAS AUXILIARES .....	64
11.2.1	Filtro .....	64
11.2.2	Descartador de Fluxo Inicial.....	66
11.2.3	Bombeamento .....	68
<b>12.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....</b>	<b>70</b>
12.1	DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA AQUECIDA.....	70
12.2	CÁLCULO DO VOLUME DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO .....	72
12.3	ENERGIA ÚTIL DEMANDADA E PERDAS CONSIDERADAS.....	72
12.4	PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE ENERGIA ESPECÍFICA DO COLETOR.....	73
12.5	FATOR DE CORREÇÃO DE INSTALAÇÃO DO COLETOR.....	74
12.6	DETERMINAÇÃO DA ÁREA COLETORA .....	75
<b>13.</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR.....</b>	<b>77</b>
13.1	RESERVATÓRIO TÉRMICO .....	77
13.2	COLETORES SOLARES.....	79
13.3	TUBULAÇÕES, DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS AUXILIARES .....	80
<b>14</b>	<b>ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS.....</b>	<b>81</b>
14.1	VALOR PRESENTE LÍQUIDO .....	82
14.2	TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	83
14.3	SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS – VIABILIDADE ECONÔMICA..	84
14.5	SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – VIABILIDADE ECONÔMICA .....	87
<b>15</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO A – Tabela INMETRO para Coletores Solares Planos – Especificações.....</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO B – Corte Esquemático do Sobrado Analisado.....</b>	<b>97</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A demanda cada vez mais intensa por recursos naturais é uma realidade definitivamente presente na sociedade atual. Não obstante, a escassez destes recursos tem preocupado os mais diversos setores sociais, desde a indústria até o consumidor final, o que tem incentivado as partes interessadas, ou seja, a sociedade como um todo, a buscar alternativas para a obtenção e/ou o melhor aproveitamento dos recursos naturais. O crescimento da demanda por estes recursos está diretamente relacionado com o processo de urbanização e crescimento populacional: o aumento do número de habitantes de uma determinada região faz com que esta acelere seu processo de urbanização, gerando, assim, aumento na demanda por água tratada, saneamento básico e energia elétrica, entre tantos outros recursos básicos. Dessa forma, é necessário que obras de infraestrutura sejam realizadas para prover à população em crescimento o suprimento destes recursos, e as mesmas geralmente são de grandes proporções e onerosas para os orçamentos públicos, cada vez mais reduzidos. Pode-se dizer, portanto, que o impacto da urbanização e do aumento populacional afeta não só o âmbito ambiental, mas também o econômico e a qualidade de vida da população, e que devem ser propostas soluções que atenuem os efeitos negativos destes processos. Este é um dos principais desafios da indústria da construção civil na atualidade: criar soluções que melhorem o aproveitamento e possibilitem novas formas de obtenção dos recursos naturais básicos. Este trabalho abordará dois destes recursos: água e energia.

Os sistemas de aproveitamento das águas pluviais, por exemplo, são alternativas que vem sendo implantadas nas unidades unifamiliares, pois além de gerarem economia, pois diminuem a demanda por água encanada, ainda aliviam a rede de drenagem pluvial, pois armazenam parte do montante de água que seria escoada para a rua, contribuindo para a diminuição da ocorrência de enchentes e alagamentos, causados pela impermeabilidade do solo, intrínseca aos grandes centros urbanizados. Pio et al. (2005<sup>1</sup>, p. 21 apud SILVA, 2012, p. 11) reforçam que a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais:

---

<sup>1</sup> PIO, A.A.B.; DOMINGUES, A.F.; SARROUF,L.; PINA, R.S.; GUSMAN JÚNIOR, U. (Coord.). Conservação e Reúso da Água em Edificações. São Paulo: ANA;FIESP;SINDUSCON/SP, 2005.

[...] implica em otimizar o consumo de água com a conseqüente redução do volume dos efluentes gerados, a partir da otimização do uso [...] e da utilização de água com diferentes níveis de qualidade para atendimento das necessidades existentes, [...] resguardando-se a saúde pública e os demais usos envolvidos, gerenciados por um sistema de gestão da água adequado. [...] Os grandes motivadores para a implantação são:

- a) Economia gerada pela redução do consumo de água;
- b) Economia gerada pela redução dos efluentes gerados;
- c) Conseqüente economia de outros insumos como energia e produtos químicos;
- d) Redução de custos operacionais e de manutenção dos sistemas hidráulicos e equipamentos da edificação;
- e) Aumento da disponibilidade de água (proporcionando, no caso das indústrias, por exemplo, aumento de produção sem incremento de custos de captação e tratamento);
- f) Agregação de valor ao “produto”;
- g) Redução do efeito da cobrança pelo uso da água;
- h) Melhoria da visão da organização na sociedade – responsabilidade social.

A demanda energética é outro problema enfrentado pela sociedade que desafia a construção civil a propor soluções e alternativas para supri-la: a geração de energia elétrica, principal fonte utilizada pela população brasileira, de uma forma ou de outra, traz consigo impactos ambientais e alto custo de implantação da infraestrutura necessária, que acaba atingindo inclusive o consumidor final, com o aumento da tarifação, e isto tem aumentado a procura por edificações que proponham soluções construtivas voltadas à redução do consumo de energia elétrica, através do aproveitamento de recursos disponíveis deliberadamente, como iluminação e ventilação naturais, reduzindo gastos com iluminação e conforto térmico, e aquecimento solar de água. Este último será abordado neste trabalho: sistemas de aquecimento solar mostram-se soluções eficientes quando comparados com outros sistemas de aquecimento, como energia elétrica e aquecedores de passagem a gás, por exemplo, pois

utilizam-se de um recurso que está à disposição para ser utilizado deliberadamente e com baixíssimo impacto ambiental, diminuindo a demanda por energia elétrica e, com isso, aliviando o sistema de geração e transmissão deste recurso.

Estas características assemelham os dois sistemas propostos neste trabalho: tanto o sistema de aproveitamento de águas pluviais quanto o de aquecimento solar geram impactos positivos não só ao seu usuário, em forma de economia, mas à infraestrutura civil como um todo, o que reforça a ideia de que sistemas como estes são cada vez mais necessários para que o processo de urbanização ocorra de maneira controlada, eficiente e sustentável possível. Tendo isto em vista, este trabalho desenvolverá a implantação destes dois sistemas nos sobrados que compõe o loteamento Chácara das Nascentes, por crer que este representa de forma aproximada o processo de urbanização das áreas mais afastadas dos grandes centros (neste caso, a cidade de Porto Alegre), que carecem de grandes obras de infraestrutura para suprir a demanda da população de sua região, onde os impactos positivos atrelados aos sistemas propostos seriam percebidos mais claramente, principalmente sob as perspectivas econômicas, sustentáveis e de qualidade de vida de seus usuários.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

Todas as diretrizes que delinearão o desenvolvimento deste trabalho estão descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa deste trabalho é: é possível executar um sistema de aproveitamento de águas pluviais e um sistema de aquecimento solar nos sobrados do loteamento Chácara das Nascentes, aplicando as orientações das normas regulamentadoras competentes, adaptando estes sistemas a um projeto hidrossanitário já existente? Se sim, a economia observada pelo usuário, gerada pelo uso destes sistemas, os caracteriza como um investimento economicamente viável?

### **2.2 OBJETIVO DE PESQUISA**

O objetivo do presente trabalho é, com base na execução dos projetos dos sistemas de aproveitamento do esgoto pluvial e de aquecimento solar de água conforme as NBR's competentes, estimar o valor que seria acrescido ao preço de um sobrado do loteamento Chácara das Nascentes para que este seja entregue ao consumidor final com os sistemas propostos e, baseado neste valor, estimar o tempo de retorno do investimento devido à redução de gastos com água e energia elétrica determinando, assim, sua viabilidade econômica.

### **2.3 PRESSUPOSTO**

O presente trabalho pressupõe que o projeto já executado atende às NBR's competentes e está conforme orientações e diretrizes dos órgãos públicos fiscalizadores, tais como DMAE, DEP e PMPA e que as alterações feitas no processo de adaptação aos sistemas propostos neste trabalho não afetam a aprovação do projeto junto aos mesmos.

## 2.4 PREMISSA

A premissa deste trabalho é a preocupação com o melhor aproveitamento do uso dos recursos naturais água e energia, cada vez mais escassos e de difícil e onerosa obtenção, aplicada à construção civil e ao processo de urbanização.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à cidade de Porto Alegre, para a obtenção de índices pluviométricos e de insolação. As limitações físicas do terreno de um sobrado do loteamento Chácara das Nascentes, bem como suas dimensões e materiais especificados, também são delimitações que não serão alteradas neste trabalho.

## 2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

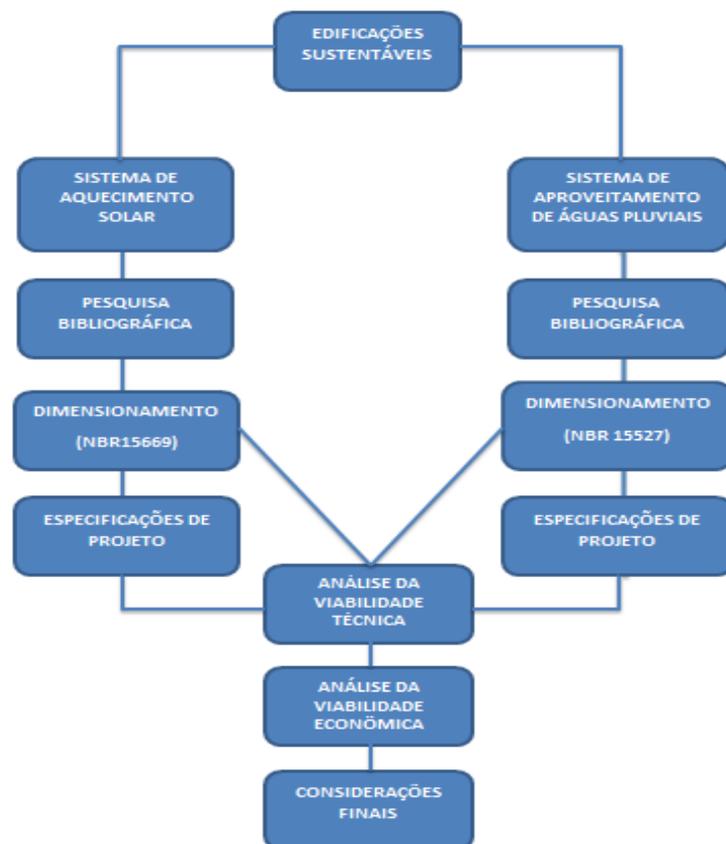
- a) Dados hidrológicos e de insolação pertinentes à cidade de Porto Alegre;
- b) Coeficiente de escoamento igual a 1,0 para telhados e 0,10 para solo relvado (gramado);
- c) Área de captação igual à área de telhado somada à área de gramado já existentes;
- d) Projeto Hidrossanitário existente e aprovado pelos órgãos fiscalizadores competentes;
- e) Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais atenderá tão somente a demanda por irrigação e limpeza através de um ponto de saída d'água, não configurando abastecimento cruzado do reservatório de água potável;
- f) Não serão especificados componentes de ambos os sistemas propostos que alterem significativamente a fachada dos sobrados analisados;

## 2.7 DELINEAMENTO E METODOLOGIA

O presente trabalho foi executado segundo as etapas abaixo, que serão apresentadas neste item e são ilustradas na figura 1:

- a) Pesquisa bibliográfica;
- b) Estudo da viabilidade técnica de cada sistema;
- c) Estudo da viabilidade econômica de cada sistema;
- d) Análise dos resultados;
- e) Considerações finais;

Figura 1 – Etapas do Processo de Análise Técnica e Econômica



(fonte: elaborado pelo autor)

Na etapa de pesquisa de **pesquisa bibliográfica**, foram feitos estudos de forma a inserir os sistemas propostos neste trabalho no contexto da sociedade atual, coletando dados relativos desde a taxa de urbanização e de crescimento populacional atual até o aumento da demanda por água e energia, o que serviu de embasamento para desenvolver o trabalho. Além disso, foram coletadas instruções e orientações de normas técnicas regulamentadores para a execução dos sistemas propostos. Em suma, nesta etapa foram obtidos dados a respeito de:

- a) Sustentabilidade no processo de urbanização e crescimento populacional;
- b) Demanda por água tratada e energia;
- c) Sistemas de aproveitamento de águas pluviais;
- d) Sistemas de aquecimento solar de água;
- e) Instruções e orientações normativas;
- f) Métodos de análise de investimentos;

A etapa de análise da **viabilidade técnica** de cada um dos sistemas propostos embasou-se nas orientações das normas regulamentadoras competentes aos mesmos. O objetivo desta etapa é dimensionar os sistemas de modo a estarem de acordo com estas orientações e possam ser adaptados ao sobrado já existente, sem alterações arquitetônicas significativas ao mesmo.

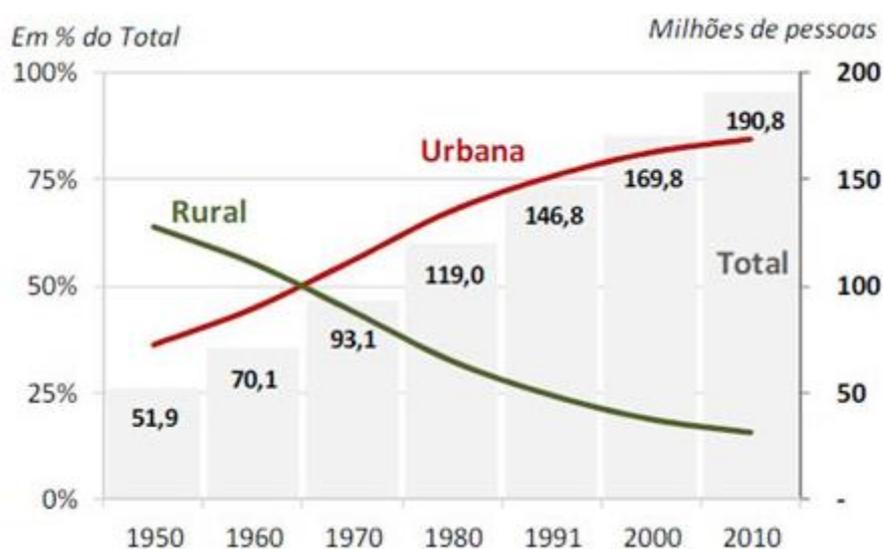
Por sua vez, a etapa de análise de **viabilidade econômica** tem por objetivo estimar o custo de implantação dos sistemas propostos, primeiramente elaborando um orçamento para cada sistema contendo seus componentes que foram especificados na etapa anterior, e compará-los com a economia mensal gerada por cada um deles, através dos métodos de análise de investimentos Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno, estimando o tempo de retorno do investimento realizado e, com isso, analisando a viabilidade econômica de cada um dos sistemas propostos.

Por fim, na etapa de **considerações finais**, os resultados obtidos foram analisados considerando as premissas e limitações impostas ao projeto de cada um dos sistemas propostos. Estes resultados foram comentados de forma a inserir os sistemas no contexto de sustentabilidade na construção civil, justificando ou não o investimento a ser despendido.

### 3 URBANIZAÇÃO, CRESCIMENTO POPULACIONAL E A DEMANDA POR RECURSOS NATURAIS

Desde as últimas décadas do século passado, o gradual crescimento da população brasileira vem sendo acompanhado pelo aumento da taxa de urbanização, conforme apresenta a figura 2. A população urbana, de modo geral, carrega como característica marcante uma maior demanda por recursos naturais, como água tratada e energia, e por serviços que, direta ou indiretamente, se utilizam destes recursos, como saneamento básico, pavimentação, limpeza urbana, entre outros.

Figura 2 – Crescimento Populacional e Aumento da Urbanização no Brasil



(fonte: BEEFPOINT, 2011)<sup>2</sup>

Para Tucci (2002, p. 5), a tendência geral de crescimento urbano para este século no Brasil é:

[...] a) redução das taxas de crescimento populacional do país; b) taxa pequena de crescimento na cidade núcleo da região metropolitana (RM) e aumento da taxa de crescimento na sua periferia; e c) aumento da população em cidades que são polos regionais de crescimento.

<sup>2</sup> BEEFPOINT: **Destaques do Censo Demográfico de 2010**. p. 01, 2011.

Desta forma, percebe-se que novas áreas vêm sendo urbanizadas em uma taxa mais elevada em relação a uma reforma na ocupação dos grandes centros populacionais, e isso implica que a taxa de renovação das edificações em regiões já densamente urbanizadas é significativamente menor do que a taxa com a qual novas edificações surgem em áreas periféricas que estão passando por processo de urbanização. Isso quer dizer que os responsáveis pela urbanização destas áreas mais afastadas (construtoras, incorporadoras, órgãos públicos) devem ter a preocupação com o melhor aproveitamento dos recursos naturais, já que tem a possibilidade de criar condições para tal enquanto ocorre o processo de crescimento urbano, e não após este mesmo estar consolidado. (GORE, 1992 Apud WARTCHOW, 2016)<sup>3</sup> afirma que “o problema não é o efeito da urbanização sobre o ambiente, mas a sua relação com ela mesma, pois está faltando organização em nossas cidades”, o que reforça a ideia de que o processo de urbanização necessita de um controle organizacional para desenvolver-se conforme se planeja.

Seguramente, pode se dizer que energia elétrica, água tratada e saneamento básico são serviços fundamentais em qualquer local habitado no mundo. Cada vez mais a praticidade, qualidade e eficiência dos sistemas que fornecem serviços básicos para a população tem sido uma de suas maiores exigências frente aos órgãos competentes, que despendem altos investimentos em obras públicas para a melhoria da infraestrutura, o que em muitos casos acaba sendo insuficiente, quando comparado à demanda à qual estão submetidos, o que mostra a necessidade de melhorar a gestão dos recursos naturais utilizados para estes fins. Tucci (2002, p. 8) usa as frequentes inundações como exemplo de um impacto gerado pelo processo de urbanização inadequado:

[...] as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à impermeabilização, ocupação do solo e à construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.

Como exemplificado neste item, o crescimento populacional é uma tendência inevitável nos próximos anos. Segundo previsões feitas pelas Nações Unidas, a população mundial total só

---

<sup>3</sup> GORE, L. **Urbanism and Ecology**. Academic Press. . Ed. Baltimore p. 31, 1992):

deverá estabilizar-se em 2150 (TUCCI, 2005<sup>4</sup> p. 17 apud Silva, 2012, p. 26), ou seja, temos pela frente mais de cem anos durante os quais a população só tenderá a crescer e, paralelamente, o crescimento das regiões urbanizadas continuará em desenvolvimento. Tal fato ilustra que a preocupação para desenvolver um processo de urbanização controlado e voltado à melhor utilização dos recursos naturais deve ser a diminuição da demanda individual de cada habitante em relação ao fornecimento de água e energia elétrica (entre outros recursos), conforme MOTTA e AGUILAR (2009, p. 85):

Nosso modelo de desenvolvimento se baseia em um crescente consumo de recursos naturais, com uma conseqüente degradação e poluição ambiental. [...] Nos países ricos, a manutenção dos elevados padrões de vida continua a promover um consumo crescente. Por outro lado, os países em desenvolvimento, na busca por melhorias em seus padrões de vida, promovem um elevado crescimento no consumo dos recursos naturais. As limitações de quantidade de recursos naturais e as mudanças ambientais e climáticas que visivelmente vem ocorrendo, mostram que este quadro é insustentável.

Visto que o crescimento populacional e o aumento da demanda por recursos naturais ainda estarão presentes por muito tempo no processo de ocupação do espaço, é necessário que se estude e programe soluções que aproveitem ao máximo os recursos disponíveis. A construção civil, responsável direta pelo uso destes recursos, deve propor sistemas e soluções que tragam não só o ideal sustentável, mas também ofereçam maior qualidade de vida, conforto e economia ao consumidor final.

---

<sup>4</sup> TUCCI, C.E.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**: saneamento para todos. Brasília, Ministério das Cidades, 2005 v.4

## 4 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

### 4.1 EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS

A construção civil é a atividade humana que disere o maior impacto sobre o meio ambiente, seja na forma de geração de resíduos ou na extração e utilização de recursos naturais. Desta maneira, possui grande importância no que diz respeito aos objetivos ligados ao desenvolvimento sustentável de um país (MOTTA E AGUILLAR, 2009 p. 92). Esta importância vem inserindo neste setor uma preocupação cada vez maior com a sustentabilidade dos empreendimentos que estão surgindo, ideologia cada vez mais incorporada às premissas das empresas da construção civil. Segundo MOTTA E AGUILLAR (2009, p. 93), o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA) enumeram algumas práticas que introduzem o conceito de sustentabilidade às edificações:

- aproveitamento de condições naturais locais;
- utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural;
- implantação e análise do entorno;
- não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar;
- qualidade ambiental interna e externa;
- gestão sustentável da implantação da obra;
- adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- uso de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo;
- redução do consumo energético;
- redução do consumo de água;
- reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

Os itens acima citados mostram que o conceito de edificação sustentável deve ser incorporado desde a concepção do empreendimento, seguindo nas fases de projeto e execução (especificando e utilizando materiais mais eficientes e menos agressivos ao meio ambiente), visando a redução do consumo energético e de água durante o uso da edificação até o final de sua vida útil. A busca por sistemas construtivos inovadores, boas práticas e materiais que

possibilitem as edificações a atenderem requisitos como os acima citados, de maneira eficiente e viável economicamente, tem sido o grande desafio da indústria da construção civil nos países em desenvolvimento, como o Brasil. MOTTA E AGUILLAR (2009, p. 94) citam as principais práticas que devem ser adotadas em todas as fases de um empreendimento sustentável:

- planejamento correto, considerando desde implantação do edifício no local, com as considerações sociais culturais e de impacto ambiental, até a técnica e métodos construtivos que permitam uma melhor qualidade e maior eficiência construtiva;
- conforto ambiental e eficiência energética, promovendo uso do edifício com conforto, térmico, visual acústico e salubridade, com baixo consumo de energia, usando, preferencialmente, as possibilidades de condicionamento passivo nos ambientes;
- eficiência no consumo de água, considerando baixo consumo, aproveitamento de águas de chuvas, reutilização, recuperação e geração de resíduos;
- eficiência construtiva, com materiais, técnicas e gestão que permitam um desempenho ótimo da edificação com durabilidade, e que possuam, quando analisados em toda cadeia produtiva, práticas sustentáveis de extração, produção e reciclagem;
- eficiência em final da vida útil da construção, adotando atitudes de reciclagem, aproveitamento dos resíduos da demolição e de desconstrução, que é um processo de desmanche cuidadoso do edifício de modo a preservar seus componentes para reuso e reciclagem.

Tendo em vista as práticas citadas acima, a preocupação com a eficiência energética e com o maior aproveitamento da água certamente são fatores determinantes para que as edificações sejam sustentáveis e eficientes. A grande variedade de maneiras com a qual estas práticas são adotadas em cada edificação fornece opções para a população que demanda cada vez mais habitações, e tal fato tem gerado movimentação comercial no setor da construção civil e venda de imóveis.

#### 4.2 “MARKETING VERDE”: O APELO COMERCIAL ÀS EDIFICAÇÕES SUSTENTÁVEIS

Ao longo das últimas décadas, o ideal sustentável ganhou destaque de modo geral, inclusive no setor da construção civil: a preocupação com eficiência energética e redução dos impactos ambientais, bem como com a durabilidade (vida útil) dos materiais empregados, tornou-se cada vez mais presente nos empreendimentos habitacionais. Tal apelo pela sustentabilidade e eficiência incentivou o surgimento de critérios e manuais que visavam elencar características para otimizar o desempenho ambiental das edificação: dessa forma surgiram os ditos Sistemas de Avaliação Ambiental, com o intuito de reconhecer construções sustentáveis dentro de um padrão estabelecido. Dentre os sistemas mais influentes, encontram-se o BREEAM ((Building Research Establishment Environmental Assessment Method), o LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) nos Estados Unidos, e o AQUA (Alta Qualidade Ambiental), sendo os dois últimos as ferramentas mais utilizadas para certificações ambientais no Brasil pelo Green Building Council Brasil.

Adequar um empreendimento de forma a obter a certificação ambiental tem sido vista pela construção civil como uma estratégia de mercado: o ideal sustentável tem estado presente em muitos setores da indústria, como alimentos, têxtil, automotivo, etc., e o consumidor tem incorporado este ideal e transfere sua atenção para produtos que, além da preocupação ambiental, atendam seus padrões de qualidade, e no setor de imóveis não é diferente. Segundo LEITE (2011, p. 22), os reflexos gerados pela certificação ambiental de um empreendimento, a curto e médio prazo, são:

Há o impacto no custo inicial mas também a redução dos custos operacionais, o que é uma forma de valorizar o imóvel e agregar valor de venda ao mesmo. A redução dos custos operacionais reflete no aumento da qualidade de vida dos usuários e também do meio ambiente, pois a redução do custo de uma família com condomínio pode representar o aumento do investimento em lazer ou alimentação, sendo o meio ambiente também favorecido uma vez que há redução do consumo de água, energia e emissão de gases.

O selo da certificação ambiental pode ser considerado um objetivo das empresas do setor, sendo que ele implica a adequação as normas e instruções propostas para a produção de uma construção sustentável. Adotar a estratégia ambiental pode conduzir a vantagens competitivas de mercado para as empresas. [...] as empresas adotam a estratégia ambiental por motivos como: sentido de responsabilidade ecológica, requisitos legais, salvaguarda da empresa, imagem, proteção de pessoal, pressão de mercado, qualidade de vida e lucro.

Pode-se perceber que edificações que prezem pela sustentabilidade tem significativa atratividade no mercado, uma vez que os investimentos realizados na compra do imóvel terão retorno durante a operação do mesmo, seja economicamente (redução de gastos com água e energia, e manutenções, por exemplo) seja na qualidade de vida do consumidor. Ter a consciência ambiental como característica marcante de uma empresa diferencia seus empreendimentos, valoriza seus imóveis, abre oportunidades de marketing, aumenta sua credibilidade e expande sua área de atuação para novos mercados, cada vez em maior ascensão.

## 5 APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAS

A água é um recurso natural essencial para o ser humano: desde as necessidades orgânicas mais simples até o pleno desenvolvimento socioeconômico, a utilização deste recurso se intensificou exponencialmente com o aumento populacional que desde o século passado vem em ascensão. Da quantidade de água que cobre cerca de 70% da superfície terrestre, 97,47% é salgada, 1,74% está contida nos polos e geleiras, 0,76% são águas subterrâneas e somente 0,03% são águas doces superficiais. É uma realidade assustadora ter que uma quantidade menor que um milésimo da água no mundo está disponível para consumo imediato, realidade esta que se agrava com a quantidade de água que é desperdiçada: estudos realizados demonstram que, no Brasil, cerca de 46% da água que é coletada é perdida, e que esta quantidade seria suficiente para abastecer a França, a Suíça, a Bélgica e o norte da Itália (SILVA, 2012 p. 19). Esta quantidade de água desperdiçada faz com que gastos com captação, tratamento e distribuição para o consumo sejam muito mais elevados do que precisariam, gerando ônus tanto para a população quanto para os órgãos públicos competentes.

A chuva é o fenômeno responsável pelo reabastecimento dos reservatórios dentro do ciclo da água. Sua imprevisibilidade e dinamismo a médio-longo prazo dificultam o dimensionamento de reservatórios e redes de distribuição e esgoto pluvial, que é feito com base em séries hidrológicas de registros obtidos por pluviômetros, aparelhos que tem por finalidade obter a quantidade de precipitação em determinado ponto de uma região. Tendo em vista que grande parte do volume de água precipitado não é armazenada corretamente, muitas vezes sendo disposto inadequadamente, gerando problemas ao meio ambiente e à sociedade, como assoreamentos e alagamentos, e que acaba sobrecarregando os sistemas de drenagem pluvial das cidades, é possível dizer que se tem na captação da água pluvial uma grande oportunidade de resolver dois problemas intrínsecos à sociedade atual: como abastecimento de água e controle de inundações. Tucci et al.<sup>5</sup> (1995 apud MANO, 2004, p. 51) afirmam que a captação da água da chuva tem potencial para contribuir fortemente na atenuação dos picos de volume de água nos leitos dos rios, através da retenção temporária da chuva (retardo no escoamento),

---

<sup>5</sup> TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. (org). Drenagem Urbana. 1ª ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade, 1995

armazenando em reservatórios o volume de água sobre as superfícies impermeáveis, o que acaba diminuindo a intensidade das enchentes. Além disso, acrescentam que a demanda de água sobre o sistema convencional de abastecimento sofreria significativa mudança, o que contribuiria para a economia do sistema.

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais atenuam impactos ao meio ambiente e aliviam os sistemas de drenagem pluvial, além de reservarem uma quantidade de água que será utilizada sem a necessidade de acionar o sistema de abastecimento público. Bohara<sup>6</sup> (1999 apud MANO, 2004, p.51) cita ainda outras vantagens de sistemas que armazenam a água da chuva:

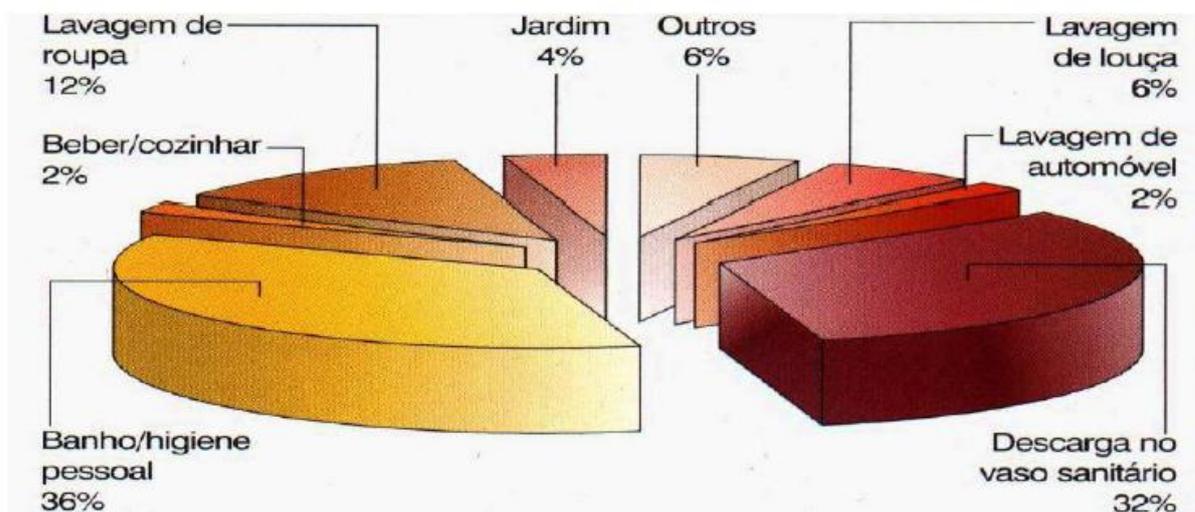
- a) O mínimo esforço exigido para obter e manter a qualidade desta água para o uso;
- b) A interdependência dos sistemas de captação de uso doméstico;
- c) A simplicidade para a construção e manutenção dos sistemas;
- d) Os baixos níveis de impacto ambiental exigidos;
- e) A redução da erosão do solo e dos riscos de enchente pela interceptação da força das águas da chuva;
- f) O incremento dos lençóis pela redução da extração de água dos mesmos.

As características acima citadas ilustram que sistemas de captação de águas pluviais tem total possibilidade de serem executados dentro de limites de relação custo-benefício viáveis, uma vez que o tempo de retorno do investimento pode ser consideravelmente curto e que as despesas de instalação, manutenção e operação pode estar bem abaixo do esperado para boa parte da população. Muito embora este tipo de sistema normalmente seja implementado de forma a complementar o abastecimento de água por parte da rede convencional somente para atender demandas de água não-potável de uma residência, um investimento adicional em sistemas de tratamento adequados pode aumentar a abrangência de atendimento da água captada, podendo assim suprir demandas mais nobres de uma residência, como hidratação e higiene, por exemplo. Neste caso, haveria um alívio ainda maior para a rede de abastecimento de água e, com isso, a diminuição dos gastos com a utilização deste recurso. A figura 3 demonstra a influência de cada aparelho ou atividade na demanda por água em uma residência unifamiliar em Porto Alegre:

---

<sup>6</sup> BOHARA, R.C. **Rainwater Catchment in Nepal: An Answer to the Water Scarcity Problem of the Next Millenium.** In. 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E 9ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA., 1999, Petrolina.

Figura 3 – Demanda doméstica por água em Porto Alegre



(fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL et al<sup>7</sup>, 1998 apud MANO, 2004 p. 78)

O gráfico da figura 3 mostra que, mesmo utilizando a água captada apenas para fins não potáveis, o montante armazenado pode suprir praticamente a metade da demanda por água em uma residência unifamiliar.

<sup>7</sup> UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1998.

## 6 PARTES CONSTITUINTES DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Serão apresentados e descritos nesta seção os elementos que constituem cada uma das partes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, de forma a abordar as características principais e a função de cada um deles para o funcionamento do sistema. Basicamente, é possível definir os principais constituintes como sendo:

- Área de Captação;
- Condutores;
- Filtragem/Limpeza;
- Armazenamento;
- Tratamento;

May e Hespanhol<sup>8</sup> (2006, p. 3 Apud COELHO, 2007, p. 26) descrevem de forma detalhada as características principais e a função de cada um dos componentes citados acima:

Área de coleta: a quantidade de águas pluviais que pode ser armazenada depende da área de coleta, da precipitação atmosférica do local, do coeficiente de runoff, do espaço físico disponível para a instalação de equipamentos e reservatórios e da demanda a ser atendida. A área utilizada para a coleta de águas pluviais normalmente é o telhado ou a laje da edificação. Pode-se utilizar também as áreas como pátios, calçadas, e estacionamentos para fazer a coleta de águas pluviais. No entanto, a coleta dessas águas deverá ser precedida de sistemas de peneiras e filtros para a retirada de lixos, papéis e plásticos encontrados nessas áreas e para a retirada de óleos e graxas provenientes de automóveis, de modo a não causar danos no sistema operacional de coleta e tratamento das águas pluviais.

Condutores: Sistema de condutores horizontais (calhas) e condutores verticais que transportam as águas pluviais até o sistema de armazenamento.

---

<sup>8</sup> MAY, S.; HESPANHOL, I. estudo de caracterização e tratamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO INTERAMERICANA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30, 2006, Punta del Este, Uruguay. Os demais dados não foram disponibilizados pelo autor.

Sistema de descarte de água de limpeza do telhado: para coletar as águas pluviais é necessário fazer uso de áreas impermeáveis, como por exemplo, o telhado. Como esse é um local de possibilidade de acesso de pequenos animais, tais como pássaros, ratos, gatos, entre outros, é grande a probabilidade de o telhado conter fezes desses animais ou até mesmo, animais mortos. Além disso, poeira, galhos e folhas de árvores são trazidos pelo vento. Por isso, é recomendável o descarte da porção inicial de água, que faz a limpeza do(s) telhado(s), sobretudo após longo período de estiagem.

Armazenamento: sistemas compostos por reservatório(s) com objetivo de armazenar as águas pluviais. Se a área de coleta, a precipitação média da região e a demanda mensal são conhecidas, pode-se calcular o volume mínimo de acumulação de águas pluviais. Geralmente, o reservatório de acumulação é o componente mais dispensioso do sistema, e por isso seu dimensionamento requer um certo cuidado para não tornar a implantação do sistema inviável.

Tratamento: o sistema de tratamento das águas pluviais depende primordialmente da qualidade da água coletada e do seu destino final. O sistema de coleta e tratamento de águas pluviais é de fácil manuseio, custo de implantação baixo dependendo da tecnologia adotada e de qualidade econômica favorável em regiões onde a precipitação anual é relativamente elevada. As águas pluviais tratadas de maneira simples podem ser aplicadas com vantagens quando comparadas com o sistema de reutilização de águas servidas, embora possua a desvantagem de, em tempos de estiagem, diminuir o volume de água coletado.

Os itens acima citados pelos autores serão descritos um a um nos próximos itens deste trabalho.

## 6.1 ÁREA DE CAPTAÇÃO

A captação de águas de precipitações pluviais se dá, basicamente, por dois meios: através de telhados ou por áreas pavimentadas no terreno. Os sobrados do empreendimento Chácara das Nascentes possuem os dois sistemas, uma vez que a água captada pelo telhado é conduzida por calhas e condutores, e a parcela de água que precipita sobre o terreno gramado e não é absorvida pelo mesmo, ou seja, o excedente, é captada por caixas de areia e conduzida para o mesmo destino das águas captadas pelo telhado. Desta forma, os dois elementos (telhado e terreno) contribuem para a captação das águas pluviais e serão estudados neste trabalho.

A eficiência das áreas de captação depende da permeabilidade do material que a constitui, que está diretamente relacionada com o coeficiente de deflúvio, ou coeficiente de *Runnoff*. Para telhados, este coeficiente é considerado igual a 1,0, ou seja, estima-se que toda a água que precipita sobre a área de captação é escoada para a calha. Já para outros materiais, principalmente os de pavimentação, como asfalto, concreto e solo com cobertura vegetal, o valor do coeficiente de *Runnoff* varia bastante, principalmente pelas combinações de materiais, espessuras de camadas, densidade do material, entre outros fatores. O volume de água captado, considerando as perdas conforme citado anteriormente, juntamente com a área de captação, permitem determinar o volume do reservatório para armazenamento da água captada.

Quanto à área de captação de águas pluviais, unidades habitacionais unifamiliares de loteamentos residenciais horizontais, como o Chácara das Nascentes, mostram-se mais vantajosas em relação à empreendimentos verticais, com maior potencial de gerar economia ao usuário, além de aliviar o sistema de drenagem pluvial da região. Coelho (2007, p.27) reforça esta ideia, mencionando que nas edificações unifamiliares:

A economia de água pode ser grande, já que a área do telhado é relativamente elevada em relação ao número de habitantes, podendo assim ser possível a obtenção de um volume maior de água da chuva. Já em condomínios verticais, o custo de implantação também é baixo, porém a economia de água não é tão grande, uma vez que nessas edificações a área coberta é relativamente pequena em relação ao número de usuários. Em galpões e armazém, após a implantação do sistema, o retorno com a economia de água é bastante significativa. Em loteamentos residenciais, industriais e aeroportos, a área do projeto requer muitas vezes a preparação de grandes obras de drenagem e/ou de retenção de águas pluviais, e parte deste custo pode ser reduzido ao se prever um sistema de retenção e utilização da água da chuva.

## 6.2 CALHAS

Uma calha pode ser definida como sendo um elemento que canaliza a água de coberturas, terraços e similares, conduzindo-a para um determinado destino (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 2). De forma a evitar a contaminação por poluentes de maior porte, recomenda-se que as calhas sejam protegidas com telas ou filtros, principalmente quando a água coletada por ela tiver fins de aproveitamento. Os filtros são

menos recomendados em relação às telas por terem maior facilidade de causar entupimentos na calha. É recomendado também que sejam feitas manutenções periódicas na calha e no telhado, evitando entupimentos e carreamento de partículas de menor porte para os condutores. Outra solução eficiente para combater a passagem de partículas finas para os condutores é o uso de dispositivos de descarte de fluxo inicial: seu funcionamento consiste em descartar a primeira parcela de água precipitada sobre o telhado, a qual contém grande parte dos materiais finos (poeira, pedriscos, etc.), de forma a limpar o telhado antes que a água que precipita sobre o mesmo seja escoada para a calha.

### 6.3 CONDUTORES

Os condutores, classificados em horizontais e verticais, são dimensionados e dispostos para conduzir a água escoada pela calha ao seu destino final, seja este a rede pública ou um reservatório. Em geral, os condutores verticais recebem a água da calha enquanto os condutores horizontais a levam para o reservatório ou rede pública de drenagem pluvial. No caso dos sobrados do Chácara das Nascentes, os condutores horizontais (enterrados) também transportam a água coletada pelo sistema de drenagem do terreno, que escoam por gravidade entre as caixas de areia, unindo-se aos condutores horizontais que conduzem a água escoada pelo telhado em uma caixa de inspeção, e então toda a água captada (tanto pelo terreno quanto pelo telhado) é conduzida para seu destino final.

### 6.4 RESERVATÓRIO

Segundo o Group Raindrops<sup>9</sup> (2002, p. 110 Apud Silva, 2012 p. 38), um recipiente pode exercer a função de reservatório, uma vez que:

- a) Não haja nenhum vazamento;
- b) Seja feito de material que não contamine a água;
- c) Impeça a entrada de luz solar para que não haja formação de algas;
- d) Haja uma tampa que evite a evaporação da água e entrada de sujeiras;

---

<sup>9</sup> GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. 1ª ed. Brasil; Torre de Papel, 2002.

O reservatório de um sistema de aproveitamento de águas pluviais pode ser instalado, basicamente, de três maneiras diferentes:

- a) Elevado;
- b) Sobreposto ao solo;
- c) Enterrado;

Reservatórios elevados possuem a vantagem de não necessitarem de sistemas de bombeamento para a utilização da água que armazenam, muito embora requeiram uma estrutura portante para garantir sua elevação. Nestes casos, ocupam uma posição intermediária: abaixo do telhado, para que a água escoada chegue por gravidade ao reservatório, e acima do nível do solo, para que seu uso não necessite do uso de conjuntos motor-bomba. Como desvantagem, o nível elevado do reservatório em relação ao solo priva o sistema de aproveitar a água escoada pelas áreas pavimentadas do terreno.

Reservatórios sobrepostos ao solo, também conhecidos como tanques, necessitam de facilidade de acesso ou de bombeamento para que a água armazenada seja utilizada. Embora não necessitem estrutura portante para elevação, reservatórios sobre o solo requerem uma superfície lisa, nivelada e uniforme para serem sobrepostos, evitando esforços diferenciais sobre o fundo do mesmo, o que pode acarretar em deformações e rachaduras, causando vazamentos.

Os reservatórios enterrados, por sua vez, são dependentes de um sistema de bombeamento para que a água armazenada seja aproveitada. O local escavado para sua instalação deve manter suas paredes levemente inclinadas, aplicando-se uma camada de argamassa de cimento e areia, na proporção 1:10, entre as mesmas e o reservatório; o mesmo deve ser instalado sobre base de concreto, devidamente alisada e nivelada, evitando esforços e deformações diferenciais no fundo do reservatório, evitando o surgimento de fissuras. Ao longo deste trabalho, serão descritas de maneira mais detalhadas as especificações e cuidados na instalação de um reservatório enterrado.

## 6.5 FILTRAGEM E TRATAMENTO

Os elementos e equipamentos responsáveis pela filtragem e pelo tratamento da água antes de seu armazenamento devem funcionar de forma a adequar seus padrões de qualidades ao uso ao qual será destinada. Isso significa dizer que o sistema de tratamento deve ser dimensionado e especificado conforme a finalidade à qual o usuário destinará as águas pluviais captadas: quanto maior o interesse pela potabilidade da água, mais eficiente deverá ser o sistema de tratamento e filtragem (SILVA, 2012 p. 39). Atualmente, o mercado oferece uma grande variedade de filtros e sistemas de tratamento, capazes de impedir a passagem desde restos de galhos e folhas de pequeno porte que por ventura tenham sido coletadas até pequenas partículas de poeira, fuligem, etc.. Para garantir a potabilidade da água coletada, pode ser acoplado ao filtro sistemas de tratamento: os principais deles são os dosadores automáticos de produtos químicos (em geral, cloro), que atuam de forma a eliminar contaminantes e elementos patogênicos, aumentando assim as possibilidades de uso da água coletada.

## 7. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: O DESAFIO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O Brasil é um país privilegiado ao tratar-se de fatores como extensão territorial, recursos hídricos e insolação, por exemplo, que são fundamentais para a geração de energia. Porém, todo este potencial é pouco explorado, no que diz respeito a meios inovadores de geração de energia no país, que apesar de possuir uma matriz energética que utiliza em sua grande maioria fontes renováveis para gerar energia, ainda luta para encontrar maneiras de diminuir a demanda energética, através da inovação. Quinalia (2009, p. 01), apresenta um parecer sobre as ações do governo em relação às novas tecnologias e eficiência energética:

Apesar do empenho do governo para incentivar projetos bioclimáticos com uso de energias renováveis nas construções, o Brasil ainda engatinha em termos de eficiência energética, principalmente se comparado aos demais países de primeiro mundo que investem pesado no desenvolvimento de tecnologias para a sustentabilidade e melhor aproveitamento energético.

A construção civil, sem dúvidas, é responsável direta pela eficiência energética de um país, entre outros setores da indústria. Não apenas pela construção a infraestrutura necessária para a geração de energia, como usinas hidroelétricas, termoelétricas, redes de transmissão (alta e baixa tensão), subestações, etc., mas principalmente pelas características das edificações que são produzidas, em relação ao consumo de energia. Cada vez mais a necessidade de criar sistemas construtivos que permitam utilizar mais os recursos que a natureza oferece em detrimento da energia gerada e fornecida ao consumidor final é evidente: ventilação natural permanente diminuindo a demanda por condicionadores de ar, aproveitamento ótimo da luz natural durante sua disponibilidade, sistemas de aquecimento de água e geração de energia elétrica com painéis solares, especificação de equipamentos (lâmpadas, condicionadores de ar, etc.) que consumam menos energia elétrica, enfim, são práticas que devem ser adotadas pelos atuantes na construção civil para aumentar a eficiência energética das edificações que, segundo Quinalia (2009, p. 01), representam 44% do consumo de energia do país, sendo 22% destinados ao setor residencial, 14% comercial e 8% para o público, tendo, desta forma, grande influência na demanda por energia no Brasil.

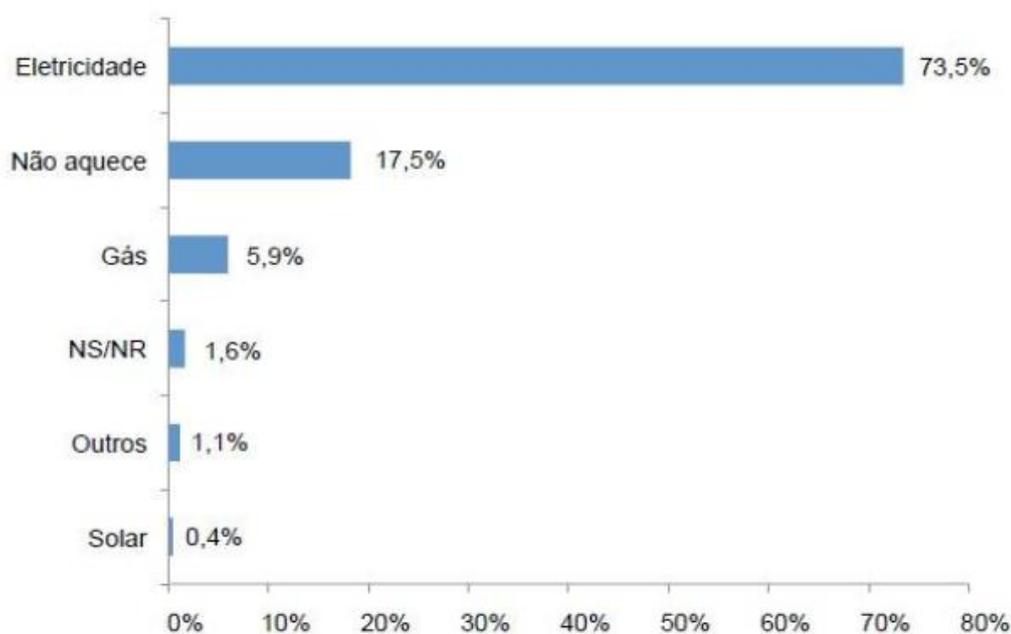
Tendo em vista a importância das edificações na questão energética, serão apresentadas abaixo três das principais fontes de energia para aquecimento de no Brasil: elétrica, gás e

solar. Serão discriminadas suas características, sistemas utilizados e uma breve análise de seus panoramas no país atualmente.

## 7.1 ENERGIA ELÉTRICA

Um dos meios mais antigos para aquecimento de água em chuveiros, a energia elétrica é o mais utilizado, conforme ilustra o gráfico da figura 4, que mostra a hegemonia deste sistema até os últimos dez anos.

Figura 4 – Fonte de energia para aquecimento de água para banho no Brasil



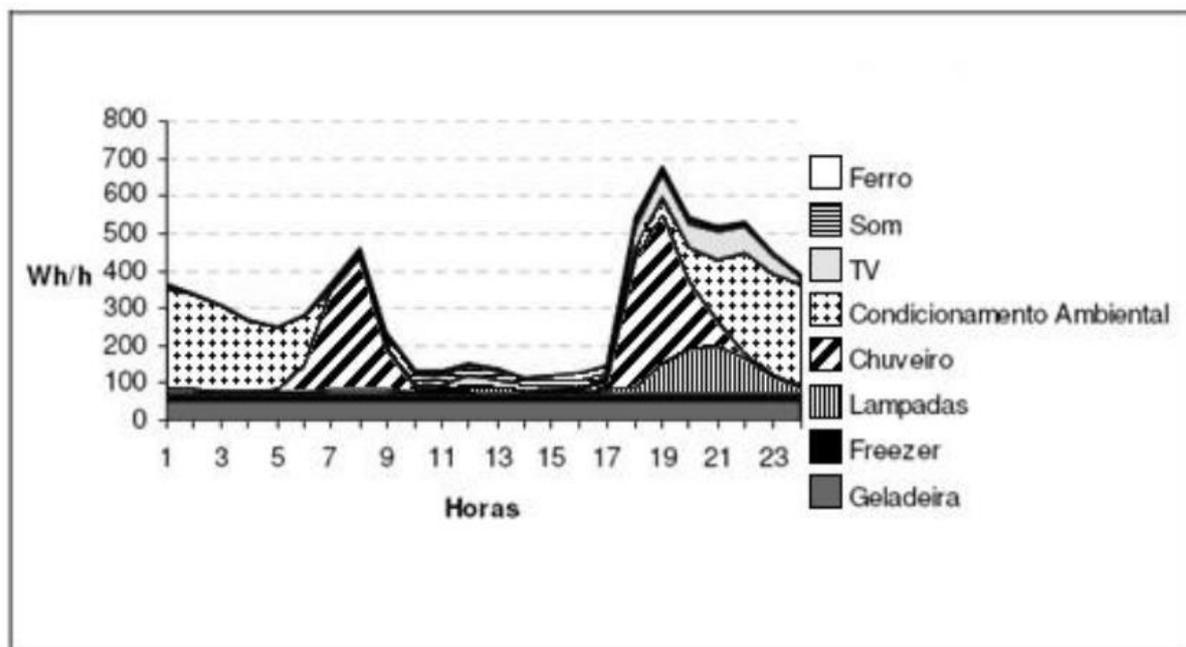
(fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS SA, 2007<sup>10</sup> apud ROSSETO, 2014)

Não bastasse a maioria das edificações utilizarem o mesmo recurso energético para aquecer a água de banho, a população, de modo geral, se utiliza deste recurso quase que simultaneamente, formando horários de pico de demanda energética nas unidades

<sup>10</sup> CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS SA. Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso de classe residencial no ano base 2015. Rio de Janeiro, 2007.

residenciais. Conforme a figura 5, na região sul, local onde é situado o empreendimento estudado, estes picos ocorrem duas vezes no dia: em torno das 7 horas e entre as 17 e 22 horas.

Figura 5 – Picos de demanda por energia elétrica na região sul do Brasil

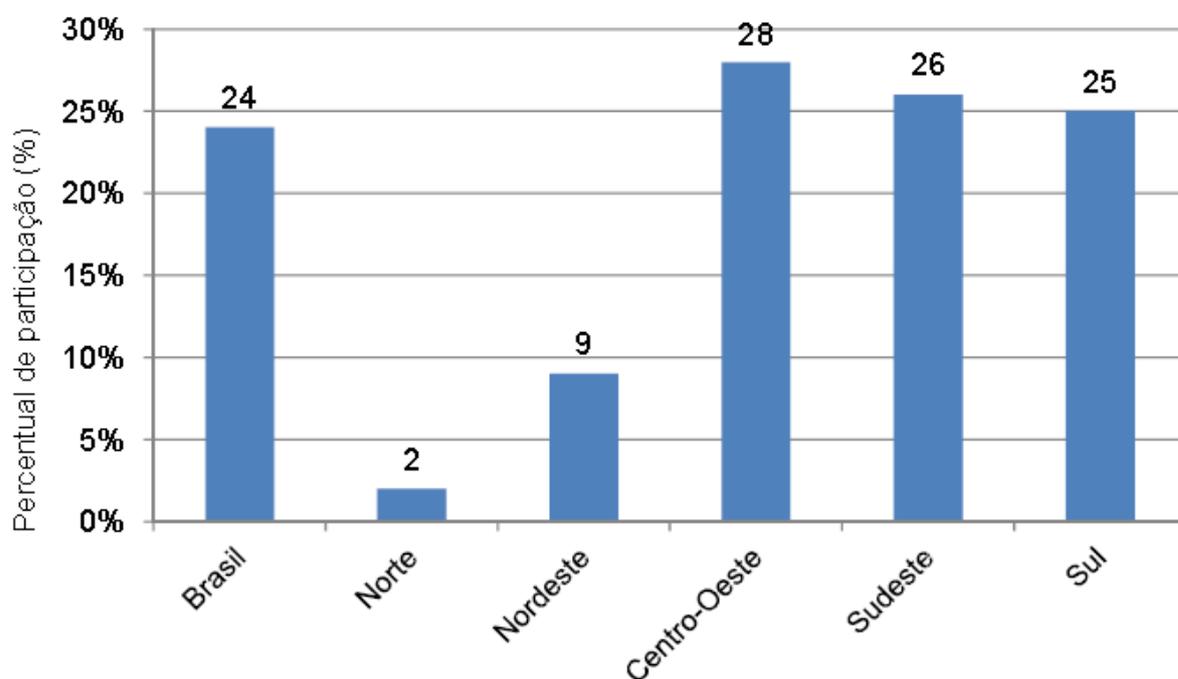


(fonte: Eletrobras/Procel, 2007<sup>11</sup> Apud NASPOLINI e RÜTHER, 2011)

Ao observar o gráfico da figura 4, é possível perceber que a utilização do chuveiro tem grande influência nos dois horários de pico, sobretudo no primeiro. O chuveiro elétrico é responsável por 25% do consumo de energia elétrica nas residências da região sul do país, conforme a Figura 6. Isso significa dizer que justamente nos momentos onde a população usufrui com mais intensidade de seus equipamentos elétricos (televisão, condicionadores de ar, etc.) também está utilizando o chuveiro, ou seja, a demanda energética dos chuveiros elétricos, além de alta, tende a ocorrer nos períodos do dia em que a rede de distribuição está sendo mais exigida, o que acarreta em superdimensionamento da infraestrutura, uma vez que esta tenha que ser dimensionada baseando-se no caso mais crítico, ou seja, nos momentos de maior demanda.

<sup>11</sup> Eletrobras/Procel. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005, Classe Residencial – Relatório Brasil, Julho de 2007

Figura 6 – Percentual de participação do chuveiro elétrico no consumo final de energia, no Brasil e em suas regiões geográficas (2005)



(fonte: PROCEL, 2005<sup>12</sup>)

Fontes alternativas à energia elétrica de forma exclusiva para aquecimento de água para banho são soluções que invariavelmente aliviam a rede de distribuição de energia, eliminam um equipamento altamente influente na demanda energética de uma residência. Tais fontes podem trazer benefícios não só para o consumidor final, através de redução de despesas, mas para o sistema de distribuição de energia elétrica nacional, que precisará atender uma demanda menor.

## 7.2 GLP – GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO

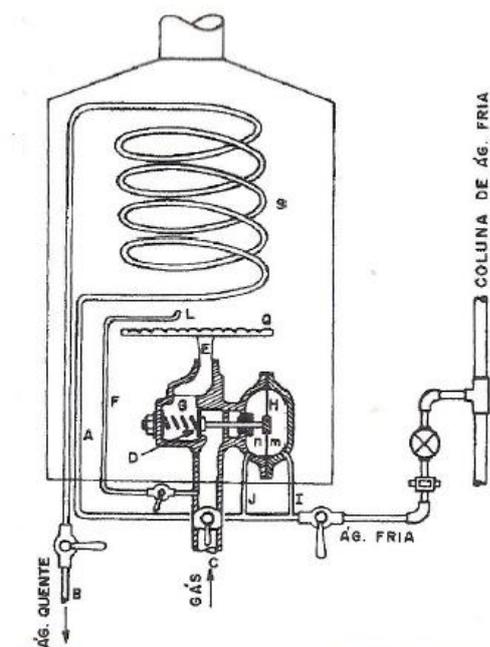
O GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) é uma das frações mais leves do petróleo: popularmente conhecido como “gás de cozinha”, sua queima emite baixa quantidade de poluentes, e justamente devido a isto seu uso foi disseminado no setor residencial. Seu uso como fonte de

<sup>12</sup> PROCEL. *Avaliação do Mercado de Eficiência Energética*. Ministério de Minas e Energia e Eletrobrás, 2005.

energia para aquecimento de água se dá, principalmente, por meio de sistemas de aquecedores de passagem.

Os sistemas de aquecedores de passagem funcionam basicamente com uma tomada de água fria que entra no sistema e é aquecida por chamas enquanto passa por uma serpentina, saindo para a tubulação de água quente já aquecida. Gehling e Wartchöw (2016, p. 54-55) detalham e exemplificam através da figura 7 o funcionamento de um aquecedor de passagem individual a gás:

Figura 7 – Esquema de funcionamento de um aquecedor de passagem a gás



(fonte: Gehling e Wartchöw (2016, p. 54-55))

A água penetra pelo tubo de entrada de água fria do aparelho e, ao circular faz com que deixe de haver um equilíbrio de pressões entre as câmaras m e n do diafragma (H). A pressão na câmara n baixa, fazendo com que a haste comprima a mola (G). Assim abre-se o orifício que libera o gás ao queimador (Q), ocorrendo então a combustão, iniciada pela presença da chama piloto (L). As chamas do queimador aquecem a água, quando de sua circulação pela serpentina (S), para que em seguida os pontos de consumo sejam alimentados por água quente (B). Ao cessar a circulação de

água, as pressões nas câmaras m e n ficam igualadas, o que faz com que a membrana do diafragma (H) retorne à posição anterior, auxiliada pela mola (G).

Na região sul do Brasil, onde se registram temperaturas muito baixas no inverno, sobretudo no Rio Grande do Sul, o uso deste sistema de aquecimento de água é mais efetivo em comparação com as demais regiões do Brasil, conforme os dados contidos na tabela 2:

Tabela 2 – Proporção de domicílios com água encanada por fonte de aquecimento no Brasil (%)

Região	Elétrica	Gás	Solar	Lenha/Carvão	Outra Forma	Não Aquece
Norte	11,7	1,8	0,2	0,1	0,3	86
Nordeste	17,7	4,6	0,1	1,9	0,2	74,9
Centro-Oeste	86,1	1,0	0,9	0,4	0,2	12,1
Sudeste	92,9	3,4	0,9	1,3	0,1	3,3
Sul	95,5	5,5	0,5	0,9	0,1	0,9

(fonte: adaptado de IBGE, 2009<sup>13</sup>)

O fato de a procura por aquecedor a gás para água encanada na região sul ser mais acentuada em relação ao restante do país decorre principalmente de dois fatores: redução de gastos em relação ao aquecimento com energia elétrica e maior conforto, uma vez que chuveiros aquecidos a gás permitem, em geral, fluxos de água mais intensos do que os chuveiros elétricos, para uma mesma temperatura. Portanto, a parcela da população que opta por este tipo de energia para aquecer a água do banho, em sua maioria, o faz por economia de energia elétrica e conforto térmico. Contudo, o próprio conforto entregue pela maior vazão de água quente pode acarretar em banhos mais longos, o que é um paradoxo em relação à economia esperada: banhos mais longos, além do custo referente ao aquecimento, geram despesas maiores com água.

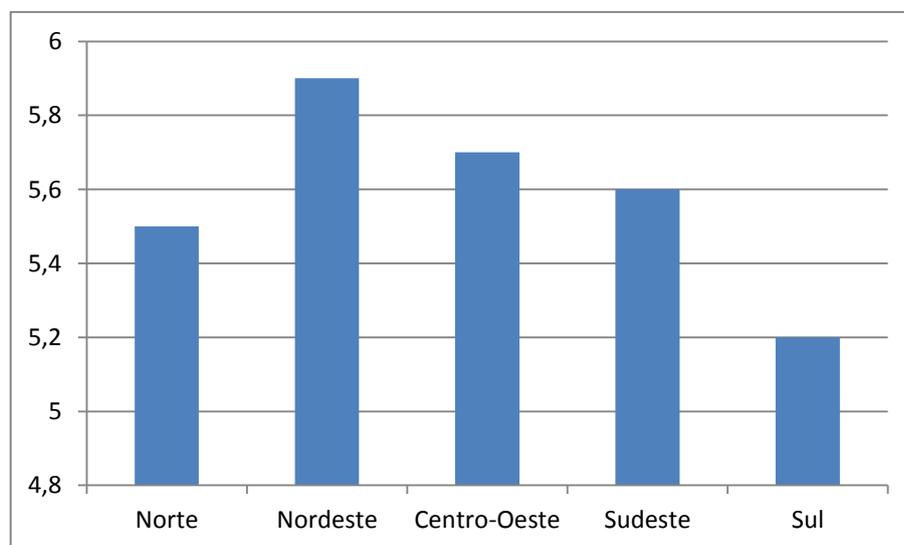
<sup>13</sup> INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Proporção de Domicílios Particulares Permanentes com Água Encanada, Segundo as Regiões e a Unidade de Federação**. Per. 2008-2009.

Quanto à redução de gastos com aquecimento de água, os aquecedores de passagem com GLP não são uma unanimidade: como mencionado anteriormente, tendem a gerar maior desperdício, tanto de água quanto de energia, pois além da tendência de banhos mais longos e maior vazão de água quando comparados aos chuveiros elétricos, este tipo de sistema de aquecimento requer um certo tempo de funcionamento para que a água chegue na temperatura desejada pelo usuário, acarretando em mais desperdícios de água e gás. Estes fatos, atrelados ao investimento inicial muito maior comparado ao chuveiro elétrico tradicional (sistemas com aquecedores de passagem podem custar mais de R\$ 2.000,00 com instalação e adaptações necessárias), tornam bastante duvidosa a ideia de que este sistema seja de fato uma alternativa econômica em relação à energia elétrica. Não obstante, o GLP é um combustível fóssil e não renovável, que exige muito cuidado na instalação e manutenção do sistema de aquecimento, uma vez que se trata de um gás asfixiante e altamente explosivo.

### 7.3 ENERGIA SOLAR

Abundante e com baixíssimos impactos ambientais causados, a energia solar é uma excelente alternativa para o aquecimento de água. A realidade no Brasil é bastante promissora quanto ao seu potencial de aproveitamento: como mostra a figura 8, todas as regiões do país recebem em média mais de 5,0kWh/m<sup>2</sup>, comparáveis aos índices de incidência de radiação solar das regiões mais privilegiadas neste quesito no mundo, como a cidade de Dongola, região desértica do Sudão, e a região de Dagget, deserto de Mojave, estado da Califórnia (EUA) (PEREIRA et al., 2006 p.17). Inclusive a região sul, local onde o loteamento Chácara das Nascentes é situado e a que possui menor média de incidência solar registrada, pode ser considerada como uma zona de grande potencial de aproveitamento de energia solar.

Figura 8 – Médias diárias de irradiação solar no plano horizontal por região do Brasil, em kWh/m<sup>2</sup>.



(fonte: adaptado de NASPOLINI;RÜTHER, 2011 p.138)

Contudo, todo este potencial energético tem sido aproveitado de maneira decepcionante no que diz respeito ao uso de energia solar para aquecimento de água. A tabela 2, mostrada anteriormente, ressalta a predominância absoluta do aquecimento com chuveiro elétrico em relação aos sistemas de aquecimento solar (apenas 0,4%). Um dos principais fatores que podem ser considerados causadores desta distância entre os dois sistemas é o valor do investimento inicial requerido: muito embora espere-se retorno do capital investido na instalação do sistema de aquecimento solar de água, este valor possa estar fora do alcance de grande parte da população, que acaba recorrendo ao chuveiro elétrico, de fácil e barata instalação, mesmo que a longo prazo o mesmo mostre-se um sistema pouco eficiente. Segundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008<sup>14</sup>, p. 8 apud ROSSETO, 2014, p. 27), o baixo custo inicial e facilidade de implementação de chuveiros elétricos popularizaram seu uso e não só oneram o consumidor final, como o sistema de distribuição de energia elétrica do país:

[...] Os chuveiros elétricos são produzidos em larga escala e conseqüentemente possuem baixo custo inicial, além de apresentarem grande simplicidade de instalação.

<sup>14</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. São Paulo, 2008.

Estes fatores criaram condições para que tais equipamentos fossem largamente disseminados nas residências brasileiras. No entanto, em longo prazo, essa solução tecnológica traz uma série de malefícios para o setor de energia elétrica, principalmente nos horários de ponta, quando a demanda de energia elétrica atinge seu pico diário.

## 8. SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Neste capítulo serão descritos os componentes que constituem um sistema de aquecimento solar de água, bem como as características de cada um deles. A NBR 15569 define (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 7) que um SAS é composto por três elementos, sendo estes:

- Coletor(es) solar(es);
- Reservatório térmico;
- Sistema de aquecimento auxiliar;

Os próximos itens deste capítulo descrevem o funcionamento e as características de cada um destes componentes.

### 8.1 COLETORES SOLARES

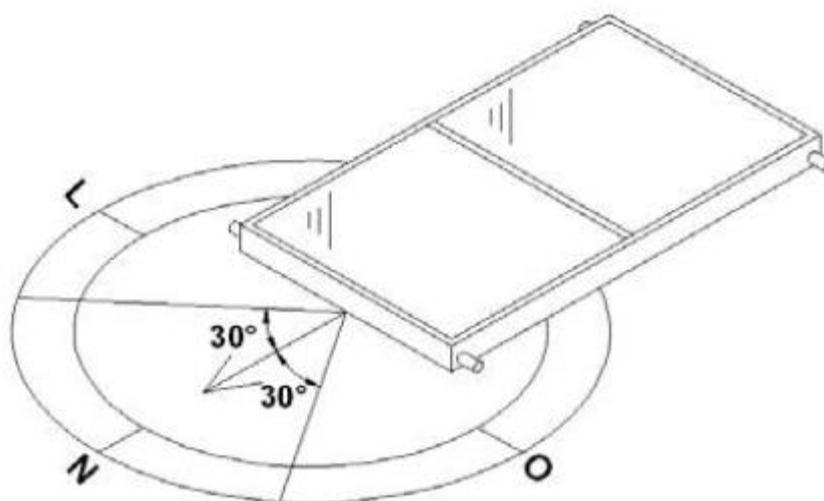
Segundo a NBR 15569, um coletor solar pode ser definido como um “dispositivo que absorve a radiação solar incidente, transferindo-a para um fluido de trabalho, sob a forma de energia térmica” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 2). Portanto, é função dos coletores aquecer a água através da energia solar captada durante os períodos de insolação. De modo a garantir seu melhor funcionamento, a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008, p. 8) orienta que a escolha dos coletores solares deve considerar os parâmetros abaixo:

- a) Perdas térmicas;
- b) Ganhos de energia;
- c) Compatibilidade de uso;

Para dar ao SAS maior eficiência na captação de energia térmica, a NBR 15569 orienta que, na ausência de especificações e determinações por parte do fabricante do coletor solar, o mesmo deve ser instalado voltado para o norte geográfico, com inclinação vertical igual ao da

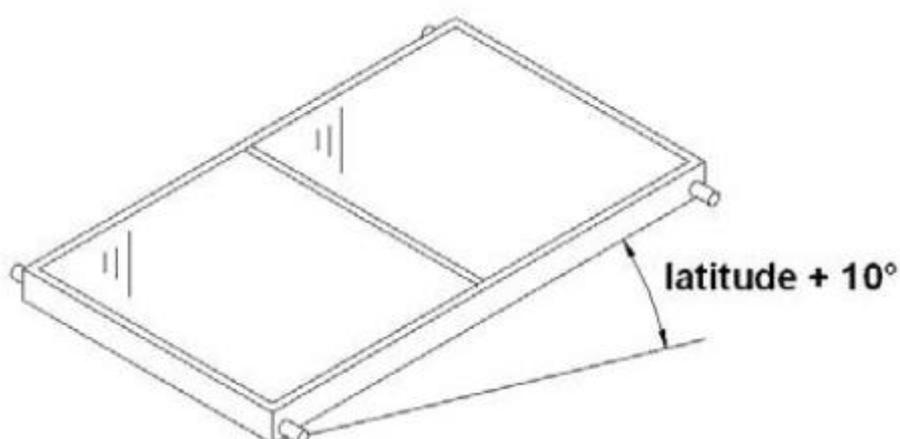
latitude local acrescido de  $10^\circ$ , nunca sendo inferior a  $15^\circ$  (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 18). As figuras 9 e 10 abaixo ilustram estas orientações:

Figura 9 – Orientação dos Coletores Solares



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 18)

Figura 10 – Ângulo de inclinação dos coletores em relação ao plano horizontal



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 18)

Os coletores solares podem ainda ser classificados quanto à sua cobertura: no mercado, encontra-se basicamente três tipos, sendo estes os coletores sem cobertura, com cobertura e coletores com tubulação à vácuo. A escolha dentre estes tipo de coletores solares depende principalmente do meio onde serão instalados, através de fatores climáticos como temperatura e insolação. (DUARTE<sup>15</sup>, 2012 p. 19 Apud ROSSETO 2014, p. 32) salienta que o rendimento do coletor depende diretamente de sua cobertura, e que este deve ser adequado à diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura de água aquecida:

[...] Coletores sem cobertura tem seus rendimentos otimizados quando necessita-se variações de temperatura entre o ambiente e a água de, no máximo, 10°C. Já os coletores planos com cobertura tem rendimentos superiores aos sem cobertura, trabalhando bem em diferenças de temperatura da ordem de 10°C a 50°C. contudo, os coletores que melhor rendem, quando a maior diferença de temperatura entre ambiente e água é requerida, são os coletores de tubos de vácuo, pois trabalham a variações acima de 50°C. Desta forma, pode-se inferir que as duas últimas tecnologias são as mais adequadas em instalações de aquecimento de água para chuveiros, principalmente em situações com invernos rigorosos.

## 8.2 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO – RESERVATÓRIO TÉRMICO

O reservatório térmico de um SAS tem por função a acumulação de energia térmica, na forma de água aquecida. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 8). É um elemento de extrema importância para este tipo de sistema, uma vez que a não simultaneidade entre o consumo de água aquecida e disponibilidade de energia solar é uma variável extremamente aleatória: conforme a figura 5, a demanda energética em uma unidade residencial unifamiliar é muito mais intensa no início da manhã e no início da noite, e diminui consideravelmente nos demais períodos do dia. Dessa forma, é fundamental que a energia acumulada ao longo do dia mantenha-se com a maior eficiência possível para os períodos de maior demanda, garantindo a eficiência do SAS. Não obstante, as incertezas quanto à insolação, a qual fornece energia ao sistema, requerem que o sistema de armazenamento de

---

<sup>15</sup> DUARTE, P.N.A. Coletores Solares Térmicos: Análise de Desempenho Térmico de Soluções Tecnológicas no Mercado. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.

água aquecida seja eficiente o suficiente para garantir temperaturas confortáveis ao usuário, mesmo em períodos com menor incidência de luz solar.

### 8.3 SISTEMAS DE AQUECIMENTO AUXILIAR

A NBR 15569 orienta a previsão, uma vez aplicável, de um sistema de aquecimento auxiliar de água, de modo a suprir a demanda energética para o perfil de consumo previsto. Esta é uma solução eficiente frente à variação da disponibilidade de energia solar ao longo do tempo, de forma a manter o controle da temperatura, independentemente da incidência de luz solar. Para tal, o item 5.1.14 da referida norma cita as seguintes orientações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 9):

- A especificação do sistema de aquecimento auxiliar e seu modo de funcionamento devem levar em conta a influência que este causa no desempenho do SAS;
- A especificação do sistema de aquecimento auxiliar, de qualquer tipo, deve considerar sempre a prioridade ao aquecimento solar;
- O sistema de aquecimento auxiliar pode ser utilizado em série ou em paralelo com o reservatório térmico, em relação ao circuito secundário;
- O dimensionamento do sistema de aquecimento auxiliar deve ser feito da mesma forma que os sistemas convencionais de aquecimento de água, levando em conta o perfil de consumo;

### 8.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

A NBR 15569 classifica os sistemas de aquecimento solar de acordo com seis atributos principais. A figura 13 determina cada um destes atributos e suas respectivas categorias de classificação: inserir figura

A referida norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 10) descreve as classificações presentes tabela da figura 11:

Figura 11 – Classificação dos SAS

Atributo	Categorias		
	I	II	III
<b>Arranjo</b>	Solar mais auxiliar	Somente solar	Preaquecimento solar
<b>Circulação</b>	Natural ou termossifão	Forçada	-
<b>Regime</b>	Acumulação	Passagem	-
<b>Armazenamento</b>	Convencional	Acoplado	Integrado
<b>Alimentação</b>	Exclusiva	Não exclusiva	-
<b>Alívio pressão</b>	Respiro	Conjunto de válvulas	-

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 10)

#### 8.4.1 Arranjo

- a) Solar mais auxiliar: quando o sistema utiliza outra fonte de energia além do aquecimento solar de forma integrada, de forma a fornecer água quente independentemente da incidência solar;
- b) Somente solar: quando o SAS não utiliza nenhum sistema auxiliar;
- c) Preaquecimento solar: SAS que não utiliza sistema auxiliar e está previsto na entrada de outro sistema de aquecimento de água;

#### 8.4.2 Circulação

- a) Natural (termossifão): SAS que utiliza o conceito de mudança de densidade do fluido de trabalho para que o mesmo circule entre o coletor solar e o reservatório térmico;
- b) Forçada: quando a circulação é dada por pressão gerada externamente ao SAS, como bombeamento, por exemplo;

### 8.4.3 Regime

- a) Acumulação: quando há circulação da água entre o coletor e o reservatório durante o período de funcionamento;
- b) Passagem: SAS no qual a água passa diretamente dos coletores solares ao uso;

### 8.4.4 Armazenamento

- a) Convencional: quando coletor e reservatório estão separados e distantes um do outro;
- b) Acoplado: quando o sistema de armazenamento termina com o coletor solar e está montado sobre uma estrutura de suporte comum;
- c) Integrado: SAS no qual a coleta de energia solar e seu armazenamento ocorrem no mesmo dispositivo;

### 8.4.5 Alimentação

- a) Exclusiva: quando a tubulação de alimentação de água fria abastece somente o SAS;
- b) Não exclusiva: quando a alimentação de água fria abastece outros pontos além do SAS;

### 8.4.6 Alívio de Pressão

- a) Respiro: quando o equilíbrio entre pressões internas e externas no SAS, bem como saídas de ar e vapor, se dá por comunicação direta com a atmosfera;
- b) Conjunto de Válvulas: quando o equilíbrio de pressões no SAS se dá por dispositivos mecânicos;

## 9 LOTEAMENTO CHÁCARA DAS NASCENTES

Situado na Estrada João de Oliveira Remião, 3105 – Porto Alegre, o loteamento Chácara das Nascentes conta com 463 unidades habitacionais unifamiliares, entre sobrados de dois pavimentos e casas térreas. Sua fase inicial foi executada pela construtora AJS EMPREENDIMENTOS LTDA., responsável por 153 lotes do terreno. Os demais 310 lotes foram adquiridos pela construtora Nex Group, que, ao final da obra, previsto para o mês de dezembro do corrente ano, terá entregue 241 sobrados e 69 casas térreas, divididos em três fases de execução.

Figura 12 – Implantação do loteamento Chácara das Nascentes



(fonte: NEXGROUP, 2015<sup>16</sup>)

<sup>16</sup> NEXGROUP. **Manual do Proprietário** – Sobrados – Chácara das Nascentes.2015.

Figura 13 – foto aérea do loteamento Chácara das Nascentes



(fonte: arquivo pessoal)

O presente trabalho delimita-se a estudar a viabilidade técnica e econômica da implantação dos sistemas propostos apenas nos sobrados (figura 4) do loteamento, executados pela *Nex Group*, respeitando suas limitações físicas de projeto. A tabela 2 descreve os principais componentes de projeto que influenciam diretamente na adaptação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de aquecimento solar de água:

Tabela 2 – Dimensões dos Elementos Construtivos Determinantes para Adaptação aos Sistemas Propostos

<b>Área de Captação do Telhado</b>	<b>49,5 m<sup>2</sup></b>
<b>Diâmetro da Tubulação de Esgoto Pluvial</b>	<b>100mm</b>
<b>Diâmetro da Tubulação de Água Quente/Fria</b>	<b>25mm</b>
<b>Área Aproximada de Solo Permeável (Gramado)</b>	<b>125m<sup>2</sup></b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 14 – Exemplo de Sobrado do Loteamento Chácara das Nascentes



(fonte: arquivo pessoal)

## **10 DIMENSIONAMENTO E DELIMITAÇÕES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS ESTUDADO**

Uma vez que a função e as características de cada componente de um sistema de aproveitamento de águas pluviais foram apresentadas na seção anterior deste trabalho, este item irá determinar quais variáveis para o dimensionamento deste sistema já são intrínsecas dos sobrados do loteamento Chácara das Nascentes, e que portanto não serão alteradas, e como os elementos que serão agregados ao seu projeto hidrossanitário para constituir o sistema de aproveitamento de águas pluviais serão dimensionados.

### **10.1 DELIMITAÇÕES E COMPONENTES INTRÍNSECOS AO PROJETO HIDROSSANITÁRIO EXISTENTE**

O Loteamento Chácara das Nascentes é um empreendimento cujo projeto foi aprovado e já fora executado. Desta forma, tem-se como premissa que os elementos constituintes do sistema de esgoto pluvial estão dimensionados conforme as normas regulamentadoras competentes, e os elementos que serão agregados a estes serão dimensionados de forma a se adaptarem ao projeto original. Conforme a tabela 2, já apresentada no capítulo 9 deste trabalho, a tubulação de esgoto pluvial, bem como a calha do telhado, não serão dimensionadas por serem consideradas delimitações deste trabalho, visto que são consideradas elementos que, uma vez alterados, possam acarretar em nova aprovação de projeto junto ao DEP (no caso de Porto Alegre).

### **10.2 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO**

O dimensionamento do reservatório da água coletada pelo sistema de aproveitamento de águas pluviais proposto será executado conforme a NBR 15527. Esta norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007 p. 3) fornece, dentre outras, as seguintes orientações:

- Devem ser considerados no projeto: extravasor, dispositivos de esgotamento, coberturas, inspeção, ventilação e segurança;

- O volume de água da chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial [...];
- O volume não aproveitável da água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente;
- O esgotamento pode ser feito por gravidade ou bombeamento;

A NBR 15527 também determina que o volume do reservatório deve ser dimensionado com base no volume de água da chuva aproveitável, em um determinado intervalo de tempo. Este volume é dado pela seguinte equação:

$$V = P.A.C.\eta_{\text{fator de captação}}$$

Onde:

V = Volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável;

P = Precipitação média anual, mensal ou diária;

A = Área de coleta;

C = Coeficiente de escoamento superficial;

$\eta_{\text{fator de captação}}$  = Eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e o desvio do escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

Uma vez conhecido o volume de água da chuva aproveitável, é possível determinar o volume do reservatório. Para tal, a NBR 15527, em seu anexo A (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), fornece seis métodos diferentes, sendo estes:

- Método de Rippl;
- Método da Simulação;
- Método de Azevedo Neto;
- Método Prático Alemão;
- Método Prático Inglês;

f) Método Prático Australiano;

Foram escolhidos **três** dos seis métodos para determinar o volume do reservatório: **Método Prático Inglês, Método Prático Alemão e Método da Simulação**. Para tais métodos de dimensionamento, foi considerada uma precipitação média anual de 1320,2mm, obtida através de tabela fornecida pelo INMET<sup>17</sup>, baseada em séries históricas entre os anos de 1961 e 1990.

### 10.2.1 MÉTODO PRÁTICO INGLÊS

Para o Método Prático Inglês, o volume do reservatório é determinado como sendo 5% do volume anual aproveitável de chuva, de acordo com a seguinte equação:

$$V = 0,05 * P * A \quad \text{(equação 1)}$$

Onde,

V = Volume do reservatório, em litros;

P = Precipitação média anual, em milímetros;

A = Área de Coleta em Projeção, em metros quadrados;

Conforme mencionado anteriormente neste capítulo, a precipitação média anual para a cidade de Porto Alegre foi considerada como sendo 1320,2mm. No capítulo 7, quando na tabela 1 são apresentadas as delimitações físicas do sobrado, é dado que sua área de telhado é de 49,5m<sup>2</sup> e sua área de solo permeável é 125,0m<sup>2</sup>. Muito embora a NBR 15527 não mencione a utilização do coeficiente de escoamento superficial como ponderação para a área de coleta, neste trabalho este coeficiente será utilizado, com o intuito de ponderar a contribuição de captação de água da chuva que será escoada para o reservatório do sistema. O coeficiente de

---

<sup>17</sup> INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil entre os Anos de 1961 e 1990**: Precipitação Acumulada Mensal e Anual. Disponível para download em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em 26/09/2017.

escoamento superficial, ou coeficiente de *Runoff*, será determinado conforme a figura 15 abaixo:

Figura 15 – Coeficiente de *Runoff* para os Distintos Tipos de Superfície

Característica da superfície	Coeficiente de <i>Runoff</i>
Ruas com pavimento asfáltico	0,70 a 0,95
Ruas com pavimento de concreto	0,80 a 0,95
Passeios	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terrenos relevados (solos arenosos)	
Pequena declividade (2%)	0,05 a 0,10
Média declividade (2% a 7%)	0,10 a 0,15
Forte declividade (7%)	0,15 a 0,20
Terrenos relevados (solos pesados)	
Pequena declividade (2%)	0,15 a 0,20
Média declividade (2% a 7%)	0,20 a 0,25
Forte declividade (7%)	0,25 a 0,30

(fonte: WARTCHOW, 2016<sup>18</sup>)

Para o telhado, o coeficiente de escoamento superficial foi considerado como sendo igual a 1,0. Para a área de gramado, considerou-se 0,10, um valor intermediário para terrenos relevados de baixa declividade. Desta forma, é possível, por fim, determinar o volume do reservatório, aplicando a equação 01:

$$V = 0,05 * 1320,2 * (1,0 * 49,5 + 0,10 * 125,0)$$

$$V = 4092,0 \text{ litros}$$

<sup>18</sup> WARTCHOW, D. **Notas de Aula Disciplina Sistemas de Água e Esgoto**. Disponível para *download* na plataforma virtual *moodle* para os alunos que cursaram a disciplina no semestre 2016/02.

### 10.2.2 MÉTODO PRÁTICO ALEMÃO

O Método Prático Alemão consiste em determinar o volume do reservatório comparando-o com o menor valor entre 6% da demanda por água não potável (D) e 6% do volume anual precipitado aproveitável (V), sendo cada um destes:

$$V = P * A \quad (\text{equação 2})$$

Onde,

V = Volume anual precipitado aproveitável, em litros;

P = Precipitação média anual, igual a 1320,2 mm;

A = Área de captação, em m<sup>2</sup>, calculada da mesma maneira no item anterior para o método prático inglês;

Logo, aplicando a equação 2, o volume anual precipitado aproveitável é:

$$V = 0,06 * 1320,2 * (1,0 * 49,5 + 0,10 * 125,0)$$

$$V = 4911,14 \text{ litros}$$

Para calcular a demanda anual por água não potável, utilizou-se o gráfico da figura 2 para determinar que 20% da demanda doméstica pode ser direcionada para fins de irrigação e limpeza. Considerando um consumo médio de 250 l/hab.dia e 4 usuários por unidade habitacional, temos que a demanda anual por água não potável pode ser expressa por:

$$D = 0,06 * (0,20 * 250 \frac{l}{hab.dia} * 4 \text{ hab} * 365 \frac{dias}{ano})$$

(equação 3)

$$D = 4380,00 \text{ litros}$$

Logo, pelo Método Prático Alemão, o volume do reservatório pode ser determinado como 4380 litros.

### 10.2.3 MÉTODO DA SIMULAÇÃO

O Método da Simulação consiste na aplicação da equação da continuidade a um reservatório finito:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

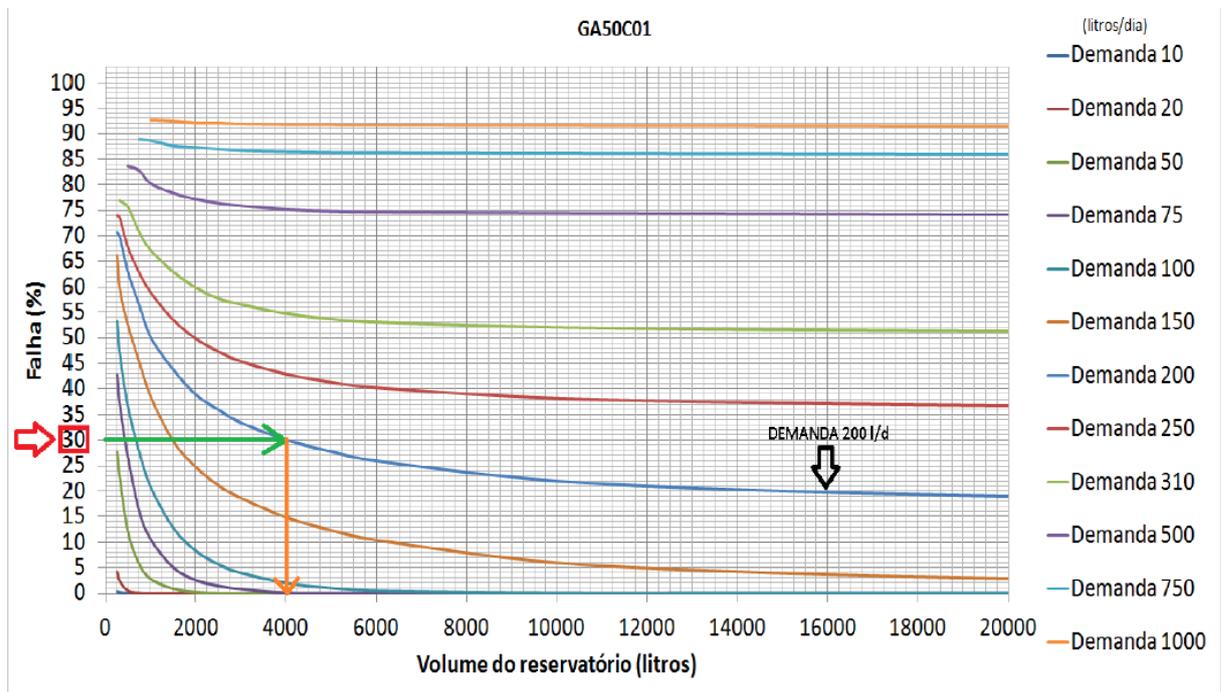
$S_{(t)}$  = Volume de água no reservatório no instante t;

$Q_{(t)}$  = Volume de Chuva no tempo t;

$D_{(t)}$  = Demanda para o tempo t;

A aplicação do Método da Simulação neste trabalho dar-se-á através da aplicação do gráfico da figura 16, o qual foi elaborado (SILVA, 2012) aplicando-se os conceitos do referido método utilizando séries históricas referentes à cidade de Porto Alegre, onde justamente está localizado o loteamento estudado, de forma a relacionar os fatores fundamentais para a determinação do volume do reservatório do sistema de aproveitamento de águas pluviais: a demanda por água não potável e a probabilidade de falha no atendimento do sistema. O gráfico da figura 16 foi executado para uma área de captação de 50m<sup>2</sup>, ou seja, aproximadamente a área de captação dos sobrados do Chácara das Nascentes.

Figura 16 – Gráfico para Determinação do Volume do Reservatório (Método da Simulação)



(Fonte: Silva, 2012 pg. 72)

Considerando a demanda por água não-potável como 200 litros/dia (20% da demanda por água potável) e observado a curva para esta demanda, é possível determinar que, para um volume de aproximadamente 4000 litros (conforme os resultados obtidos pelos métodos anteriores), o percentual de falha para um reservatório deste volume é de cerca de 30%. É necessário destacar que, para reservatórios subterrâneos (a escolha por esta especificação será descrita no próximo capítulo), os volumes comerciais disponíveis no mercado são, basicamente, de 2.500 e 5.000 litros: considerando, desta forma, um reservatório de 2.500 litros para o sistema proposto, pode-se concluir que, segundo gráfico da figura 16, baseado no Método da Simulação, o percentual de falha no atendimento do sistema é de aproximadamente 35%, ou seja, apenas 5% menos confiável em relação ao volume calculado pelos Métodos Práticos Inglês e Alemão. Desta forma, buscando obter soluções práticas oferecidas pelo mercado e visando dimensionar o reservatório de acordo com a demanda a qual o sistema de fato deve suprir, fica determinado que o reservatório do sistema de aproveitamento de águas pluviais proposto neste trabalho será o modelo de cisterna enterrada de 2500 litros da FORTLEV, ilustrado na figura 17 deste trabalho, visto ser uma solução comercial viável tecnicamente, de fácil instalação e que atende à demanda proposta, considerando um percentual de falha aceitável. O próximo capítulo descreve as especificações

do reservatório e dos demais elementos que compõem o sistema de aproveitamento de águas pluviais proposto.

## 11 ESPECIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

### 11.1 RESERVATÓRIO

Conforme definido no final do capítulo anterior, o reservatório do sistema proposto será o modelo de cisterna enterrada da FORTLEV com capacidade de armazenamento de 2.500 litros. Por ser um elemento que já vem pronto para receber as tubulações de entrada e não precisa ser montado, possui fácil instalação. Contudo, por se tratar de um elemento enterrado, de peso e volume elevados, deve-se tomar cuidados especiais no que diz respeito ao preparo do substrato onde o reservatório será instalado. A figura 17 apresenta as partes constituintes para a instalação do reservatório enterrado:

Figura 17 – Instalação e Componentes de um Reservatório Enterrado



(fonte: Fortlev, 2017<sup>19</sup>)

<sup>19</sup> FORTLEV: Guia de Instalação de Cisterna Vertical. Disponível para *download* em [www.fortlev.com.br](http://www.fortlev.com.br) – Acesso em 21/06/2017

Onde:

- 1) Tubulação de entrada;
- 2) Tubulação de extravasamento;
- 3) Tubulação de saída de água captada (por bombeamento);
- 4) Base de concreto alisada e nivelada;
- 5) Camada de contenção em argamassa de solo cimento, traço 1:10;
- 6) Acesso à área de inspeção;

O reservatório será instalado no pátio da frente do sobrado, onde chega a tubulação de entrada (que conduz a água captada pelo telhado e pelo sistema de drenagem do pátio) e existe uma área suficiente para sua instalação. Sendo instalado neste local, tanto a tubulação de entrada quanto a tubulação de extravasamento permanecem inalteradas, mantendo o diâmetro de 100mm conforme o projeto hidrossanitário original do sobrado, que é exatamente o que o fabricante recomenda (FORTLEV, 2017 pg. 06).

Como indica a figura 17, o fabricante orienta a execução de uma base de concreto de 10cm de espessura, sobre a qual será colocado o reservatório. Esta deve ser nivelada e ter sua superfície alisada, evitando assim esforços diferenciais no fundo da cisterna, o que pode acarretar em fissurações e vazamentos. Para as contenções laterais (entre o solo escavado e o reservatório), por sua vez, será executado um preenchimento com solo-cimento traço 1:10 (um parte de cimento para dez partes de solo peneirado). O fabricante orienta que este preenchimento seja executado em camadas de 25cm, todas com compactação mecânica, para aliviar as pressões que o solo pode exercer sobre o reservatório, principalmente em períodos de chuva, quando estas pressões aumentam consideravelmente, e em longos períodos de estiagem, quando o reservatório permanece por um certo tempo vazio, pois nesta situação não há a pressão que a água exerce nas paredes do reservatório, que tem mesma direção e sentido oposto às pressões oriundas do solo, o que acaba equilibrando os esforços aos quais a cisterna está submetida. Estes dois fatores justificam e ressaltam a importância das contenções laterais em solo-cimento.

Para fins de inspeção e manutenção, não é possível que a cisterna seja completamente aterrada: é necessário que seja executada sobre ela uma laje de inspeção, distante 50cm da cisterna, espaço o qual o fabricante indica para que sejam executados serviços periódicos ou

emergenciais no reservatório. Para manter este espaço, será instalada uma laje de concreto protendido pré-moldada do tipo *painel*, conforme a figura 18. Sua escolha se deu por ser um material capaz de vencer vãos maiores (suas dimensões devem ser em torno de 2,00m x 2,00m, para cobrir toda a área escavada e ainda ter margem para apoiar-se sobre o solo) sem a necessidade de escoramento, suportando seu peso próprio e cargas acidentais de inspeção. Receberá uma pintura de hidroasfalto combinada com instalação de manta geotêxtil para que possa ser disposto sobre si o gramado do pátio do sobrado, sem danificar sua estrutura e evitando a entrada de água em excesso na zona de escavação da cisterna. A laje já terá instalado um alçapão de acesso para que possam ser realizados serviços de manutenção e inspeção.

Figura 18 – Modelo de laje de concreto protendido para cobertura da área escavada



(fonte: Lajes Patagônia, 2017)<sup>20</sup>

## 11.2 EQUIPAMENTOS E PEÇAS AUXILIARES

### 11.2.1 Filtro

Como visto anteriormente, a tubulação que conduz a água captada pelo telhado se une em uma caixa de inspeção com a tubulação de drenagem do pátio, desta forma, o reservatório terá

---

<sup>20</sup> Lajes Patagônia: catálogo disponível em <http://lajespatagonia.com/v1/laje-pi-tt-para-grandes-vaos>. Acesso em 20/11/2017.

apenas uma tubulação de entrada. É necessário que nesta entrada de água sejam instalados equipamentos que impeçam a entrada de material orgânico na cisterna, pois embora a utilização da água armazenada seja para fins não-potáveis, pequenos detritos vegetais (folhas, galhos, etc.), quando acumulados, podem baixar consideravelmente a qualidade da água, inclusive para este fim. Para tanto, foi instalado um filtro separador de folhas na tubulação de entrada da água: é especificado um modelo esteticamente semelhante às caixas de inspeção da tubulação de drenagem do pátio (enterrado e com tampa para inspeção), de modo a facilitar a limpeza e manutenção do mesmo. Trata-se de uma solução muito mais prática do que a instalação de uma tela no bocal da calha, o qual necessitaria de manutenção mais frequente e muito mais complicada.

Figura 19 – Exemplo de filtro com tampa de inspeção para tubulação de entrada.

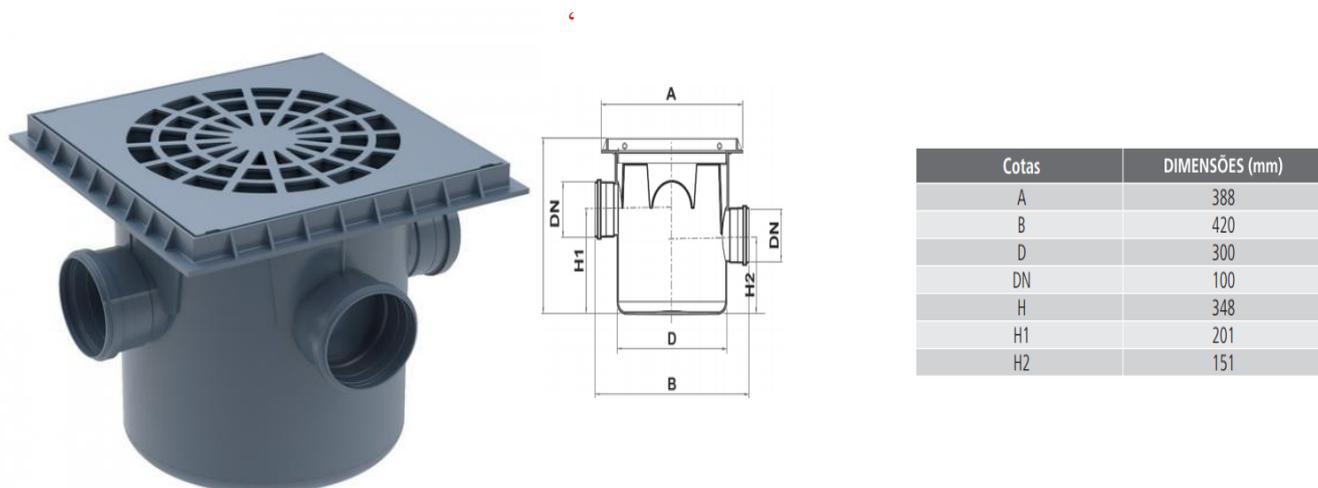


(fonte: Ciclo d'Água, 2017)<sup>21</sup>

É necessário destacar que ao longo da tubulação de drenagem do pátio são instaladas caixas de areia, que contribuem para a filtragem da água, uma vez que seu fundo é preenchido com brita, de modo a reter impurezas e evitando que cheguem ao reservatório. A figura 20 detalha a caixa de areia instalada no sistema de drenagem do gramado dos sobrados do Chácara das Nascentes:

<sup>21</sup> Ciclo d'Água: catálogo de produtos disponível em <http://ciclodagua.com/categoria-produto/filtros>. Acesso em 20/11/2017.

Figura 20 – Caixa de Areia para Rede de Drenagem Pluvial Tigre

(fonte: Tigre, 2017)<sup>22</sup>

### 11.2.2 Descartador de Fluxo Inicial

A deposição de impurezas sobre o telhado, compostas por partículas muito pequenas e finas (como fuligem e poeira, por exemplo) é um fator inevitável em uma residência. Da mesma forma, não se pode evitar de que estas partículas invariavelmente serão carreadas até a calha no momento em que se inicie uma precipitação e, sem um dispositivo de proteção, serão levadas ao reservatório. Além de diminuir a qualidade da água armazenada (principalmente no que diz respeito ao seu pH), este material fino pode acumular-se, causando obstrução e afetando o funcionamento de equipamentos, principalmente da bomba de recalque. Para evitar este tipo de problema, será instalado um descartador de fluxo inicial no primeiro condutor horizontal que está conectado à calha: trata-se de um desvio na tubulação através de um “T” de saída lateral que desvia a tubulação até um reservatório confinado, que armazena os primeiros volumes de precipitação até que, quando completamente cheio, permite o fluxo d’água restante pelo condutor horizontal, chegando, finalmente, até o reservatório. Para que o descarte deste volume de chuva armazenado seja feito de maneira prática, um pequeno trecho de tubulação ligará a saída deste reservatório com a tubulação de limpeza da caixa d’água de tal forma que, com a utilização de um registro, o descarte das primeiras águas da chuva seja realizado. Considerando que a primeira precipitação a ser descartada seja igual a 1mm de

<sup>22</sup> Tigre: Ficha Técnica Caixa de Areia, Pg. 01. Disponível para download em <https://www.tigre.com.br/caixa-de-areia>. Acesso em 20/11/2017.

chuva, distribuída nos 49,50m<sup>2</sup> de telhado do sobrado, define-se que o volume do reservatório confinado para armazenar e descartar o fluxo inicial de água seja de 50 litros.

Figura 21 – Reservatório de 50 Litros para Armazenamento do Primeiro Volume de Chuva



(fonte: Mais Plástico, 2018<sup>23</sup>)

Foi especificado apenas um dispositivo de descarte de fluxo inicial no sistema, ligado na tubulação que capta a água precipitada no telhado do sobrado. Não especificou-se outro dispositivo na tubulação que capta a água drenada pelo jardim pois, conforme tratado no item anterior, o conjunto de caixas de areia aliado com a granulometria do solo coberto com grama funcionam como um filtro, também retendo este tipo de partícula fina, que não é carreada com a mesma facilidade encontrada nos primeiros fluxos sobre telhas de fibrocimento.

---

<sup>23</sup> Mais Plástico: Catálogo de Produtos. - Acesso em 08/01/2018

### 11.2.3 Bombeamento

Devido ao fato de o reservatório ser enterrado, se faz necessário o uso de uma bomba de recalque para o uso eficiente e confortável da água captada. A mesma será instalada junto à tubulação de saída do reservatório, de diâmetro de 25mm, conforme a figura 16, abastecendo um ponto de torneira de jardim, com finalidade de limpeza e irrigação. O dimensionamento da bomba se deu utilizando a seguinte equação:

$$P = \frac{Q*H}{75*\eta} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

P = Potência da bomba, em cv;

H = Altura Manométrica, em m;

Q = Vazão de Água Demandada, em l/s;

$\eta$  = Rendimento da bomba, igual a 0,65 (adimensional);

A vazão considerada no cálculo da potência da bomba foi 200 l/dia, considerando esta a demanda por água não potável diária. A altura manométrica a ser vencida pela bomba leva em consideração não apenas o trecho de tubulação, mas também a perda de carga de suas peças ao longo de seu caminhamento. Conforme a figura 17, é possível perceber que são necessário três joelhos de 90°, e foi considerado que cada um destes é equivalente a 1,2 metros de trecho de tubulação reto, conforme tabela apresentada na figura 22. Desta forma, considerando um desnível de dois metros do fundo do reservatório até o local de instalação na bomba, temos que a altura manométrica é de 5,60 metros.

Figura 22 – Perdas de Carga Localizadas – Equivalência em Trecho Reto de Tubulação

DE (mm)	D. ref. (pol.)	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° Passagem Direita	Tê 90° Saída de lado	Tê 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada de Borda	Saída de Canalização	Válvula de Pé e Crivo	Válvula de Retenção Tipo Leve	Válvula de Retenção Tipo Pesado	Registro de Globo Aberto	Registro de Gaveta Aberto	Registro de Ângulo Aberto
20	½"	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
25	¾"	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
32	1"	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
40	1¼"	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
50	1½"	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
60	2"	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
75	2½"	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
85	3"	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
110	4"	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1

(Fonte: Weber, 2017<sup>24</sup>)

Aplicando a equação 4 e utilizando os dados apresentados, pode-se dizer que o valor calculado para a potência da bomba é muito inferior aos disponíveis no mercado, devido à baixa demanda (apenas água não-potável de uma residência unifamiliar) e à baixa altura manométrica entre o ponto de captação e o ponto de abastecimento. Sendo assim, foi especificada uma bomba hidráulica de **0,33 cv**, potência comercial mínima para esta finalidade, com sensor de fluxo embutido, de modo que entre em funcionamento somente quando for o ponto de abastecimento foi acionado, visando economia de energia elétrica.

<sup>24</sup> Weber, D.M. Instalações Hidráulicas Prediais. Artigo disponível em <http://sinop.unemat.br/> Acesso em 07/01/2018.

## 12. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O dimensionamento de um SAS é determinado conforme as orientações do anexo B da NBR 15569. A metodologia de cálculo 2, contida no item B.2 da referida norma, será utilizada neste trabalho para dimensionar o SAS, pois é recomendada para este tipo de sistema quando instalado em unidades residenciais unifamiliares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 28).

Os próximos itens deste capítulo são referentes às etapas de cálculo para o dimensionamento de um sistema de aquecimento solar conforme a NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 28-30):

### 12.1 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA AQUECIDA

A demanda por água aquecida dos pontos de utilização de uma residência unifamiliar pode ser determinada pela seguinte equação:

$$V_{\text{consumo}} = \sum(Q_{pu} * T_u * \text{frequência de uso}) \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

$V_{\text{consumo}}$  = volume total de água aquecida consumido diariamente, em m<sup>3</sup>;

$Q_{pu}$  = vazão da peça de utilização, disponível no anexo C da NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 33), expresso em m<sup>3</sup>;

$T_u$  = tempo médio de utilização da peça por dia, expresso em segundos;

Frequência de Uso = número total de utilizações diárias da peça;

As variáveis para determinação do volume de consumo de água aquecida para o SAS serão determinadas conforme a tabela C.2 da NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 33), ilustrada pela figura 21:

Figura 23 - indicações para as variáveis de determinação do volume de consumo

Peças	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (minuto/pessoa)	Temperatura de consumo °C
Ducha de banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10	39 – 40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Banheira	80 L	440 L	banho	39 – 40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 – 40
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	ciclo de lavagem	39 – 50
Máquina de lavar roupa	90 L	200 L	ciclo de lavagem	39 – 40

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 33)

Nos sobrados do empreendimento Chácara das Nascentes são abastecidos com água quente dois chuveiros, duas torneiras de banheiro (lavatórios) e uma pia de cozinha. Desta forma, seguindo as orientações da NBR 15569 conforme a figura 19 (acima), obtém-se o volume de consumo de água aquecida conforme a tabela abaixo:

Tabela 3: determinação do volume de consumo diário de água aquecida

	Qpu [l/min]	Tu [min]	freq [uso/dia]	nº pessoas	Vcons [l/dia]
Chuveiro	10,0	7,0	1,0	4,0	280,0
Lavatório	3,0	2,0	2,0	4,0	48,0
Pia Cozinha	4,0	3,0	2,0	4,0	96,0
				Vcons Total	424,0

(fonte: elaborado pelo autor)

Desta forma, fica determinado que o volume de consumo de água aquecida, considerando os dados mostrados na tabela acima, em um dia, é de 424 litros.

## 12.2 CÁLCULO DO VOLUME DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

O volume do reservatório de água aquecida pode ser determinado pela seguinte equação:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} * (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (\text{equação 6})$$

Onde,

$V_{armaz}$  = é o volume do sistema de armazenamento do SAS, em m<sup>3</sup> (recomenda-se  $V_{armaz} > 75\% V_{consumo}$ );

$V_{consumo}$  = volume de consumo de água quente diário, em m<sup>3</sup>;

$T_{consumo}$  = Temperatura de utilização da água aquecida, expressa em °C;

$T_{ambiente}$  = Temperatura ambiente anual média, conforme anexo D da NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 34), expressa em °C;

Considerando que o anexo D da NBR 15569 indica uma temperatura anual média de 15°C para a região de Porto Alegre, determinando que as temperaturas de consumo e de armazenamento sejam 40°C e 60°C, respectivamente, e com o valor de consumo de 424 litros por dia calculado no item anterior, temos que o volume de armazenamento é de 235,55 litros ao aplicarmos a equação 6. De forma a encontrar mais opções comerciais e tendendo à favor da segurança, tendo em vista a maior variabilidade de insolação na região sul do Brasil, fica determinado que o volume do reservatório de água aquecida será de 300 litros.

## 12.3 ENERGIA ÚTIL DEMANDADA E PERDAS CONSIDERADAS

$$E_{útil} = \frac{V_{arm} * \rho * C_p * (T_{arm} - T_{amb})}{3600} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde,

$E_{\text{útil}}$  = Energia útil demandada, em kWh/dia;

$T_{\text{consumo}}$  = Temperatura de utilização da água aquecida, expressa em °C;

$T_{\text{ambiente}}$  = Temperatura ambiente anual média, conforme anexo D da NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 34), expressa em °C;

$\rho$  = massa específica da água, igual a 1000 kg/m<sup>3</sup>;

$C_p$  = Calor específico da água, igual a 4,18 KJ/kg.K (quilojoule por quilograma kelvin)

Considerados os dados calculados anteriormente, tem-se que a demanda por energia útil é de **15,675 kWh/dia**.

A NBR 15569 em seu Anexo B NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 30) orienta que as perdas de energia sejam estimadas como sendo 15% da energia útil demandada. Desta forma, pode se dizer que:

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 * E_{\text{útil}} = 2,351 \text{ kWh/dia} \quad (\text{Equação 8})$$

#### 12.4 PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE ENERGIA ESPECÍFICA DO COLETOR

PMDEE é a produção média de energia específica do coletor solar, em quilowatt hora por metro quadrado (kWh/m<sup>2</sup>), determinada pela seguinte equação:

$$PMDEE = 4,901 * (F_{R\tau\alpha} - 0,0249 * F_{r_{ul}}) \quad (\text{Equação 9})$$

Onde,

$F_{r_{\tau\alpha}}$  = coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional);

$Fr_{ul}$  = coeficiente de perda do coletor solar (adimensional);

O coletor especificado para este trabalho é o modelo de placa plana *Ônix 2.0* da marca *Transsen*, e seus coeficientes de ganho e perda de energia solar são **0,82 e 9,80**, respectivamente, obtidos em tabela do Inmetro para coletores solares (INMETRO<sup>25</sup>, 2016), contida no Anexo A deste trabalho. As especificações dos coletores solares, bem como a dos demais componentes do SAS proposto, serão descritas no próximo capítulo com maior detalhamento. Desta forma, pode se dizer que:

$$PMDEE = 2,823 \text{ kWh/m}^2$$

## 12.5 FATOR DE CORREÇÃO DE INSTALAÇÃO DO COLETOR

O fator de correção de instalação leva em consideração a orientação e inclinação ótimas para um coletor solar, segundo a NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 30), e o quanto a instalação executada se aproxima destes valores, conforme a equação abaixo:

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \gamma^2]} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde,

$\beta$  = inclinação do coletor solar em relação ao plano horizontal, em graus (°)

$\beta_{\text{ótimo}}$  = inclinação ótima do coletor para o local onde será instalado, em graus (°). A NBR 15569 recomenda que este valor seja a latitude local acrescida de 10° (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 30);

$\gamma$  = ângulo de orientação do coletor solar em relação ao norte geográfico, em graus (°);

<sup>25</sup> INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água – Coletores Solares**. 2016, Ed. 03. Tabela disponível para *download* em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>. Acesso em 15/11/2017.

Como o empreendimento Chácara das Nascentes possui unidades com distintas orientações solares, e é possível que não poder-se-ia instalar os coletores do SAS de cada unidade habitacional com a mesma orientação, coeficiente  $\eta$  será arbitrado como sendo 30°, um valor considerado como sendo a **pior situação** em relação à orientação solar, ou seja, à favor da segurança para a instalação dos coletores em qualquer sobrado, independente de sua orientação geográfica. A inclinação do coletor, por sua vez, é um fator o qual é possível ser executado exatamente conforme as orientações da NBR 15569, ou seja, o valor da latitude local acrescido de 10°. Como a latitude da cidade de Porto Alegre é de aproximadamente 30°, fica determinado que os coletores solares de todos os sobrados do empreendimento serão instalados com 40° de inclinação em relação à horizontal. Dito isto, aplicando a equação 10, o fator de correção de instalação dos coletores solares pode ser determinado:

$$FC_{instal} = 1,032$$

## 12.6 DETERMINAÇÃO DA ÁREA COLETORA

A área total de coletores solares é determinada conforme a equação abaixo:

$$A_{Coletora} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) * FC_{instal} * 4,901}{PMDEE * I_G} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

$A_{coletora}$  = área total de coletores solares, em m<sup>2</sup>;

$I_G$  = é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expressa em quilowatt hora por metro quadrado dia (kWh/m<sup>2</sup>.dia), conforme anexo D da NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 35),

$E_{\text{útil}}$  = energia útil, em quilowatt hora por dia (kWh/dia);

$E_{\text{perdas}}$  = somatório das perdas de energia térmica, em quilowatt hora por dia (kWh/dia). A NBR 15569 recomenda a utilização de 15% do valor da energia útil para estimar as perdas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 30);

PMDEE é a produção média de energia específica do coletor solar, em quilowatt hora por metro quadrado (kWh/m<sup>2</sup>);

$FC_{\text{instal}}$  é o fator de correção para a inclinação e orientação do coletor solar, adimensional;

Todas as variáveis necessárias para a determinação da área coletora foram apresentadas e calculadas anteriormente neste capítulo, com exceção do valor da irradiação média anual do local de instalação ( $I_G$ ). Segundo o anexo D da NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008 p. 35), para a região de Porto Alegre, este valor é de 4,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Por fim, determina-se que a área coletora para o SAS proposto será:

$$A_{\text{Coletora}} = 5,968 \text{ m}^2$$

As dimensões dos painéis solares são 2,00m x 1,00m, ou seja, cada um deles possui área superficial de 2,00m<sup>2</sup>. desta forma, para suprir a área coletora demandada, serão instalados três painéis do modelo *Ônix 2.0* fabricado pela *Transsen*.

$$A_{\text{Coletora total}} = 3 * 2,00 = 6,00 \text{ m}^2$$

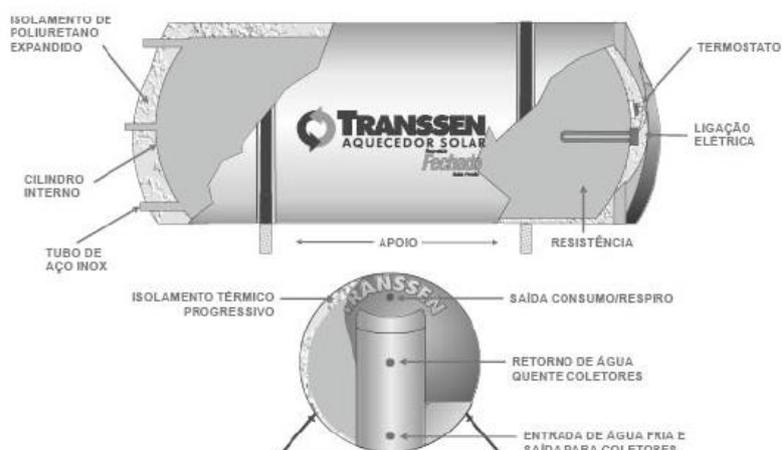
### 13. ESPECIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Os itens a seguir apresentam as especificações de cada um dos elementos que compõem o SAS estudado neste trabalho, de acordo com o dimensionamento apresentado no item anterior:

#### 13.1 RESERVATÓRIO TÉRMICO

O reservatório do SAS definido para o sistema é o modelo “AIBP fechada”, também fabricado pela TRANSSSEN e certificado pelo Inmetro (INMETRO<sup>26</sup>, 2016), em tabela validada em abril de 2016. Possui capacidade para armazenar 300 litros de água aquecida, sendo confeccionado em aço inox (AISI 304), conforme a figura 22. O material responsável pelo isolamento térmico é poliuretano expandido injetável de baixa densidade, o que lhe confere leveza, característica bastante favorável para um elemento o qual normalmente é instalado em locais de difícil acesso. Este modelo de reservatório conta com sistema de aquecimento auxiliar, sendo este formado por um resistor elétrico na sua parte superior, que é acionado com o auxílio de um termostato quando a temperatura da água está abaixo da temperatura programada pelo usuário, o que é fundamental em regiões frias, como o Sul do Brasil.

Figura 24 – Detalhamento do reservatório térmico

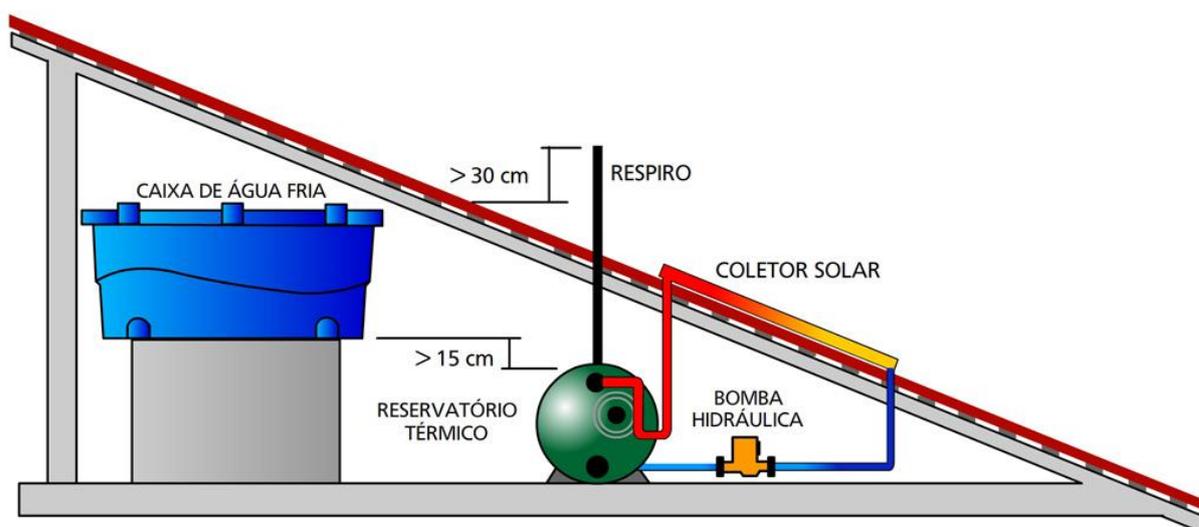


<sup>26</sup> INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água – Reservatórios Térmicos**. 2016, Ed. 01. Tabela disponível para *download* em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>. Acesso em 15/11/2017.

(fonte: TRANSSSEN, 2014, pg. 13)

O reservatório térmico será instalado sob o telhado e sobre a laje de cobertura (estrutura pré-moldada em sistema de vigotas e tabelas com capa de concreto), um pouco abaixo do reservatório de água fria (o suficiente para garantir a circulação natural de água fria) e abaixo dos coletores solares, o que determina que o sistema de aquecimento solar funciona sob o regime de circulação forçada, ou seja, o abastecimento de água fria que sai do fundo do reservatório térmico para entrar nos coletores solares acontecerá mediante a instalação de uma bomba hidráulica. A escolha por este tipo de arranjo do SAS deu-se principalmente para manter a fachada do sobrado inalterada (os reservatórios, deveriam ser instalados *sobre* o telhado para que o SAS funcionasse em regime de circulação natural). Alheio a isso, existe o fato de que o telhado dos sobrados do loteamento Chácara das Nascentes consiste em uma estrutura de perfis metálicos em aço leve (*Light Steel Frame*) com cobertura de telhas em fibrocimento 6mm, e com certeza uma carga tão grande não foi considerada (caso os reservatórios fossem instalados sobre o telhado), sequer como cargas acidentais, quanto menos como cargas permanentes. A figura 23 ilustra um modelo de instalação de SAS em regime de circulação forçada:

Figura 25 – SAS em regime de circulação forçada

(fonte:TEKHOUSE, 2017<sup>27</sup>)

<sup>27</sup> TEKHOUSE. **Aquecedores Solares de Circulação Forçada**. Acesso em 23/11/2017.

## 13.2 COLETORES SOLARES

Os coletores solares são placas de dois metros de comprimento por um metro de largura, formada por camadas de diferentes materiais, cada um deles exercendo diferentes funções no processo de aquecimento de água. Sua estrutura portante é formada por uma caixa de alumínio extrudado e serve de proteção contra impactos físicos, conferindo ao coletor seu acabamento estético. Sobre esta caixa é disposta uma camada de poliuretano expandido rígido, de forma a reduzir as perdas de energia armazenada no interior do coletor. Acima desta camada de isolamento está fixada a camada responsável pela absorção da radiação térmica oriunda do sol, chamada de *aleta*, confeccionada em alumínio de alta condutividade térmica pintada em preto fosco. A radiação captada pela aleta é transferida para a tubulação de circulação interna de água, feita em polipropileno pela qual a água fria chega ao interior do coletor e é aquecida, transferindo-se para o reservatório térmico. A cobertura do painel solar é composta por uma chapa de vidro temperado de 3,15mm de espessura, permitindo que a luz solar incida sobre a aleta e evitando que a radiação captada seja eliminada do interior do coletor. A figura 24 ilustra a estratificação e os componentes do coletor solar especificado:

Figura 26 – Componentes do coletor solar



(fonte: TRANSSSEN, 2014. Pg. 7)

### 13.3 TUBULAÇÕES, DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS AUXILIARES

Para evitar perda de calor ao longo das tubulações do SAS, as mesmas também são revestidas com material isolante. O material dos tubos e conexões de água quente será o PPR (Polipropileno Copolímero Random), acompanhando o projeto hidrossanitário original do sobrado. Ao longo da tubulação que liga o reservatório de água fria ao de água quente, será instalada uma válvula de retenção, com o intuito de impedir fluxo inverso no sistema, ou seja, entrada de água quente no reservatório de água fria, principalmente devido ao fato de a diferença de nível entre os reservatórios estar próxima do mínimo recomendado (10-15cm), o que diminui o efeito do fenômeno *termossifão* neste trecho (fluxo natural da circulação de água devido à diferença de densidade que surge quando há diferença de temperatura).

Como os coletores solares serão instalados sobre o telhado, acima do reservatório térmico, o fenômeno *termossifão* não pode ser observado, uma vez que a água quente tende a subir, e não descer. Como solução, será instalada uma bomba hidráulica de 100W (conforme orientação do fabricante) no trecho de tubulação responsável pela alimentação de água fria vinda do reservatório térmico que chega aos coletores solares, o que caracteriza o sistema como sendo de circulação forçada. A respeito dos coletores, será instalada uma *válvula ventosa* (ou eliminadora de ar) na saída de água quente, de modo a evitar que o ar quente extravase livremente do SAS, evitando a circulação de ar na tubulação de água quente do sobrado. Também com intuito de proteger a tubulação geral de água quente, será instalado um respiro logo após a saída de água quente do reservatório térmico, de forma permitir a saída de vapor (ocorre em temperaturas mais altas), equalizando assim as pressões negativas e positivas antes da rede de água quente ser abastecida, garantindo assim a integralidade das conexões.

## 14 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS

Uma vez que o dimensionamento e a especificação dos componentes dos dois sistemas propostos estejam definidos, é possível elaborar um orçamento discriminado para cada um destes. Os valores que serão apresentados nos próximos itens deste capítulo foram obtidos por pesquisa de mercado, solicitações de propostas ou consulta em catálogos de fornecedores. Cada orçamento apresentará dois valores: o primeiro, o **valor líquido**, representa o montante que a construtora irá investir para oferecer cada um dos sistemas no projeto dos sobrados do Chácara das Nascentes, já aplicando taxas de descontos referentes à quantidade elevada de insumos comprados ou de mão-de-obra contratada em um curto espaço de tempo; o segundo valor, por sua vez, será o **valor bruto**, ou seja, aplicando-se sobre o valor líquido uma taxa estimada de lucro a ser pela construtora, bem como os encargos com BDI. O BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) é um elemento orçamentário utilizado na composição de custos de um orçamento que considera os custos indiretos, ou seja, os que não tem relação com o produto final o qual se busca determinar o preço de venda (no caso da construção civil, materiais e mão-de-obra, por exemplo). São considerados custos indiretos despesas com administração central da empresa, seguros, garantia e tributos, por exemplo (THOMÉ, 2016)<sup>28</sup>. O valor bruto, portanto, é o valor que será incrementado ao preço de mercado atual dos sobrados do Chácara das Nascentes. Em outras palavras, é o valor o qual o usuário final terá de investir para contar com cada um dos sistemas propostos neste trabalho.

Uma vez determinado o investimento inicial, através da elaboração dos orçamentos, espera-se que este seja amortecido e recuperado ao longo de sua vida útil através da economia mensal de gastos com água e energia, da maneira mais breve possível. Com isto, será calculada a economia anual gerada por cada um dos sistemas propostos, sendo esta comparada com o investimento inicial e com gastos periódicos com manutenção, para que assim sua viabilidade econômica possa ser determinada, empregando dois métodos de análise de investimentos: Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Cada um destes métodos será descrito nos próximos itens deste documento:

---

<sup>28</sup> THOMÉ, B.B. **BDI na Construção Civil**: o que é e como usar? Disponível em <https://www.sienge.com.br/blog/bdi-na-construcao-civil-o-que-e-como-usar/>. Acesso em 30/11/2017.

## 14.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O conceito de VPL pode ser definido como sendo o somatório de todos os fluxos de caixa no instante presente, aplicando-se uma taxa de juros “i” (Motta e Calôba, 2011, p. 106). Um fluxo de caixa, de maneira geral, pode ser descrito como sendo uma representação gráfica das entradas e saídas de capital (receitas e despesas) de um investimento ao longo do tempo.

Desta forma, o VPL para um fluxo de caixa qualquer pode ser determinado pela seguinte equação:

$$VPL_j = \sum_0^n F_n(1 + i)^{-n} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde,

$VPL_j$  é o valor presente líquido de um fluxo de caixa de uma alternativa j qualquer;

n é o número de períodos envolvidos no horizonte do fluxo de caixa;

$F_n$  é cada um dos valores contidos no fluxo de caixa que ocorrem em n;

$i$  é a taxa de juros comparativa, ou taxa mínima de atratividade;

A **taxa mínima de atratividade** escolhida será a **taxa Selic** (Sistema Especial de Liquidação e Custódia), conhecida como a taxa básica de juros do país: esta taxa regula todos os juros praticados pelo mercado, no que diz respeito aos investimentos e financiamentos, pela qual os agentes econômicos tomam suas decisões. A Selic corresponde aos juros pegos pelo governo para captar recursos para o financiamento público através da venda dos títulos públicos, que correspondem aos produtos financeiros com menor risco de crédito, tendo seu retorno baseado na Selic (PARMAIS<sup>29</sup>, 2017). Sendo assim, é possível dizer que se um investimento tem taxa

<sup>29</sup> PARMAIS: **O que é taxa Selic?** A Taxa Mais Importante da Economia Brasileira. 2017, p.01 (acesso em 21/11/2017)

de retorno superior à Selic, o mesmo pode ser considerado rentável economicamente. O valor da taxa Selic para o mês de outubro de 2017 é de 7,50% (BCB, 2017)<sup>30</sup>. A **correção anual** dos valores será realizada utilizando o valor da **inflação anual acumulada**: para o mês de outubro de 2017, o acumulado em 12 meses para a inflação é de 2,70% (ADVFN, 2017)<sup>31</sup>

Para determinar a viabilidade econômica dos sistemas propostos, o VPL será calculado conforme a equação 12, e então o valor obtido será comparado conforme Motta e Calôba (2011, p. 107 Apud ROSSETO, 2014, p. 45)

- Se  $VPL > 0$ , a alternativa é viável economicamente;
- Se  $VPL < 0$ , a alternativa é inviável, economicamente;
- Se  $VPL = 0$ , a alternativa é viável economicamente, porém é indiferente investir nela;

## 14.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

É possível mensurar a viabilidade econômica (rentabilidade) de um investimento ao longo do tempo, simplificadamente, através da TIR. Esta taxa, que pode ser descrita como a taxa de desconto que anula o Valor Presente Líquido, sendo superior à taxa mínima de atratividade do mercado, faz com que a alternativa mereça ser considerada como um bom investimento (Motta e Calôba, 2011, p. 106 Apud Rosseto, 2014, p. 46). A TIR pode ser determinada pela seguinte equação:

$$\sum_{j=0}^n FC_j \left(\frac{1}{1+i}\right)^j = 0 \quad (\text{Equação 13})$$

Onde,

$i$  é a taxa interna de retorno, a TIR;

$FC_j$  é um fluxo de caixa qualquer, para valores de  $j = [0;n]$

<sup>30</sup> BANCO CENTRAL DO BRASIL: **Histórico das Taxas de Juros**. Dado obtido segundo 210ª reunião do COPOM em 26/10/2017;

<sup>31</sup> ADVANCED FINANCIAL NETWORK: **Varição do IPCA em 2017**. Acesso em 21/11/2017.

### 14.3 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS – VIABILIDADE ECONÔMICA

A tabela 4 apresenta o orçamento elaborado para determinar o investimento inicial do sistema de aproveitamento de águas pluviais proposto:

Tabela 4: orçamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais proposto

Insumo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Reservatório Subterrâneo 2.500 Litros	unid	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Filtro Separador de Folhas	unid	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Separador de Primeiro Fluxo de Água Captada	unid	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Tubos e Conexões PVC	verba	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Bomba de Recalque 0,33CV	unid	1	R\$ 350,00	R\$ 350,00
Escavação Mecânica	verba	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Transporte e Içamento da Cisterna	verba	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Laje pré-moldada de Concreto 2,0x2,0m c/alçapão	unid	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Solo-Cimento para Contenções Laterais	m <sup>3</sup>	0,3	R\$ 80,00	R\$ 24,00
Concreto Para Regularização da Base	m <sup>3</sup>	0,5	R\$ 190,00	R\$ 95,00
Mão-de-Obra de Instalação	verba	1	R\$ 450,00	R\$ 450,00
Valor Total por Sobrado				R\$ 3.049,00
Lucro + BDI	%	50		R\$ 1.524,50
<b>Total com Lucro</b>				<b>R\$ 4.573,50</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Desta forma, pode-se definir que o investimento inicial por parte do comprador do imóvel será de R\$ 4.573,50. Para definir a economia anual gerada pela redução no consumo de água encanada, primeiramente foi consultado o indicador de consumo médio por habitante na

cidade de Porto Alegre: segundo o DMAE<sup>32</sup>, este valor é de 149,0 litros/hab.dia. Por ser um valor médio da cidade, pela renda acima da média dos proprietários dos sobrados do Chácara das Nascentes e pelo fato destes demandarem mais água para limpeza e irrigação do que a maioria das unidades habitacionais (sobretudo apartamentos), definiu-se que a demanda por água para cada sobrado seja de 250 litros/hab.dia, considerando quatro habitantes por sobrado, a demanda diária é de 1000 litros/dia, ou seja, 365.000 litros anuais. Consultando o gráfico da figura 2 deste trabalho, é possível dizer que cerca de 20% da água consumida em uma residência unifamiliar é destinada à limpeza e irrigação, demandas às quais o sistema proposto deve atender. O consumo de energia elétrica pelo sistema de bombeamento será levando em consideração no estudo da viabilidade econômica: considerando que a bomba, que conta com 0,33 cv de potência, é acionada durante uma hora por dia, esta consome 89,42 kWh ao longo de um ano, o que representa um gasto anual de R\$ 43,90 por ano (valores unitários para o kWh praticados neste trabalho serão descritos e justificados com maior detalhamento no próximo item).

É necessário destacar que, conforme o item 10.2.3 deste trabalho, o Método da Simulação determina que o sistema proposto, para a demanda e o reservatório especificados, possui uma probabilidade de 35% de falha, portanto, foi considerado que 65% da demanda por água não potável de fato é aproveitada pelo sistema. Desta forma, pode se dizer que dos 365 metros cúbicos consumidos anualmente, 47 metros cúbicos podem ser substituídos por água aproveitada pelo sistema. Considerando que o mesmo está devidamente dimensionado para captar e armazenar, no mínimo, este volume de água por ano, e estimando um gasto anual de R\$ 100,00 com manutenções e gastos com energia para bombeamento, pôde-se calcular o VPL do investimento neste sistema para um período de 20 anos, aplicando-se a equação 12 e conforme a tabela 5:

---

<sup>32</sup> PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS. Água em Números: Dados Consolidados em 2016. Acesso em 21/11/2017.

Tabela 5: determinação do VPL para o SAAP proposto

Ano	Investimento	Manutenção	Poupado (m <sup>3</sup> )	Poupado (R\$)	Fluxo de Caixa	VPL
1	R\$ 4.573,50	R\$ 100,00	47,00	R\$ 142,41	-R\$ 4.531,09	-R\$ 4.218,89
2		R\$ 102,70	47,00	R\$ 146,26	R\$ 43,56	-R\$ 4.181,13
3		R\$ 105,47	47,00	R\$ 150,20	R\$ 44,73	-R\$ 4.145,02
4		R\$ 108,32	47,00	R\$ 154,26	R\$ 45,94	-R\$ 4.110,50
5		R\$ 111,25	47,00	R\$ 158,42	R\$ 47,18	-R\$ 4.077,48
6		R\$ 114,25	47,00	R\$ 162,70	R\$ 48,45	-R\$ 4.045,91
7		R\$ 117,33	47,00	R\$ 167,09	R\$ 49,76	-R\$ 4.015,72
8		R\$ 120,50	47,00	R\$ 171,61	R\$ 51,10	-R\$ 3.986,85
9		R\$ 123,76	47,00	R\$ 176,24	R\$ 52,48	-R\$ 3.959,25
10		R\$ 127,10	47,00	R\$ 181,00	R\$ 53,90	-R\$ 3.932,85
11		R\$ 130,53	47,00	R\$ 185,89	R\$ 55,36	-R\$ 3.907,61
12		R\$ 134,05	47,00	R\$ 190,90	R\$ 56,85	-R\$ 3.883,47
13		R\$ 137,67	47,00	R\$ 196,06	R\$ 58,39	-R\$ 3.860,39
14		R\$ 141,39	47,00	R\$ 201,35	R\$ 59,96	-R\$ 3.838,32
15		R\$ 145,21	47,00	R\$ 206,79	R\$ 61,58	-R\$ 3.817,21
16		R\$ 149,13	47,00	R\$ 212,37	R\$ 63,24	-R\$ 3.797,03
17		R\$ 153,15	47,00	R\$ 218,11	R\$ 64,95	-R\$ 3.777,73
18		R\$ 157,29	47,00	R\$ 223,99	R\$ 66,71	-R\$ 3.759,28
19		R\$ 161,54	47,00	R\$ 230,04	R\$ 68,51	-R\$ 3.741,63
20		R\$ 165,90	47,00	R\$ 236,25	R\$ 70,36	-R\$ 3.724,76

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando os dados obtidos na tabela 5, pode-se dizer que ao final do vigésimo ano a contar da data do investimento inicial o comprador teria reavido menos da metade do montante investido, ou seja, o VPL ainda tem sinal negativo. Conforme o item 14.1, quando o VPL apresenta valores abaixo de zero, o investimento não é viável economicamente, ou seja, não é válido investir no sistema de aproveitamento de águas pluviais proposto.

## 14.5 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – VIABILIDADE ECONÔMICA

O orçamento para determinar o custo do SAS está descrito na tabela 6:

Tabela 6 – orçamento do SAS proposto

Insumo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Reservatório Térmico 300 Litros	Unid	1	R\$ 1.960,00	R\$ 1.960,00
Painel Solar Transsen Modelo Ônix 2.0 (2,00x1,00)	Unid	3	R\$ 900,00	R\$ 2.700,00
Tubos, Conexões, Válvulas e Registros (com isolamento térmico)	vb	1	R\$ 610,00	R\$ 610,00
Bomba 0,1cv para Recirculação com Termostato Digital	Unid	1	R\$ 650,00	R\$ 650,00
Válvula de Retenção e Desaeradora	Unid	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Material e Mão de Obra para Elevação do Reservatório de AF	vb	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Mão-de-Obra de Instalação	vb	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00
<b>Valor Total por Sobrado</b>				<b>R\$ 7.370,00</b>
Margem de Lucro e BDI	%	50		R\$ 3.685,00
<b>Total com Lucro</b>				<b>R\$ 11.055,00</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

O orçamento contido na tabela 6 foi obtido através da comparação entre as propostas de dois fornecedores de sistemas de aquecimento solar da cidade de Porto Alegre: todos os itens acima listados foram orçados com cada uma destas empresas, com exceção da mão-de-obra e materiais necessários para a elevação do reservatório de água fria. Dentre as propostas, decidiu-se por aprovar a feita pelo fornecedor *Casa do Solar*, que serviu como base para a formação do orçamento acima apresentado.

O estudo da viabilidade econômica do SAS foi feito de maneira semelhante ao realizado sobre o sistema de aproveitamento de águas pluviais: a diferença entre eles foi, basicamente, a maneira com a qual a economia anual foi estimada. Para o SAS, a economia baseou-se no indicador Energia Útil Demandada, determinado conforme o item 12.3 deste trabalho: a energia aproveitada pelo sistema foi considerada como sendo a energia captada pelos coletores ( $E_{\text{útil}}$ ) multiplicada por um fator de eficiência, que considera as perdas por emissividade e probabilidades de falha do sistema, igual a 0,60:

$$E_{aprov} = E_{útil} * 0,60$$

$$E_{aprov} = 9,405 \text{ kWh/dia}$$

Desta forma, determinando que a energia aproveitada é 60% da energia demandada pelo sistema, é possível determinar a energia que é absorvida anualmente pelo SAS, e este será o valor da economia de energia elétrica por ano, uma vez que, se esta quantidade de energia solar foi captada e está armazenada na forma de calor pelo reservatório térmico, o usuário deixará de consumir esta mesma quantidade de energia elétrica para aquecimento, reduzindo o valor de sua conta de luz. Para determinar a economia financeira anual, multiplicou-se o valor da energia poupada pela tarifa unitária praticada na cidade de Porto Alegre, expressa em R\$/kWh. Segundo (ANEEL, 2017)<sup>33</sup>, a tarifa praticada pela concessionária CEEE na cidade, para o ano de 2017, é de R\$ 0,391, considerando unidades residenciais. No entanto, é necessário salientar que este valor é expresso considerando um estado de *Bandeira Tarifária Verde*, quando as condições de geração de energia elétrica são favoráveis. Quando estas condições passam a ser menos favorecidas, devido à precipitações abaixo da média que diminuem a produção das usinas hidrelétricas, levando ao acionamento de usinas termelétricas cujo custo de geração é mais elevado, entram em vigor as bandeiras tarifárias amarela, acrescentando R\$0,10 sobre a tarifa unitária, e vermelha, dividida em patamares 1 e 2, que crescem ao valor da tarifa R\$0,30 e R\$0,50, respectivamente (ANEEL, 2017)<sup>34</sup>.

Como o SAS terá sua viabilidade econômica analisada ao longo de um período de 20 anos (tempo médio da vida útil de seus componentes), buscou-se utilizar uma condição intermediária de tarifação sobre o consumo de energia elétrica, uma vez que, em um período tão longo, as condições de geração de energia podem oscilar muito. Portanto, definiu-se que o a economia financeira anual estimada devido ao SAS considerará a tarifa praticada pela CEEE em 2017 com adicional de bandeira amarela, ou seja:

$$Tarifa = R\$ 0,491/kWh$$

<sup>33</sup> AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Ranking das Tarifas**, 2017. Acesso em 21/11/2017.

<sup>34</sup> AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Bandeiras Tarifárias**, 2017. Acesso em 21/11/2017

Com estas definições, considerando um gasto médio anual com manutenções de R\$100,00 ao longo de um período de 20 anos, é apresentada na tabela 7 a determinação do VPL do sistema de aquecimento de água proposto:

Tabela 7 – determinação do VPL para o SAS proposto

Ano	Investimento	Manutenção	Poupado (kWh)	Poupado (R\$)	Fluxo de Caixa	VPL
1	R\$ 11.055,00	R\$ 100,00	3432,83	R\$ 1.685,52	-R\$ 9.469,48	-R\$ 8.817,02
2		R\$ 102,70	3432,83	R\$ 1.731,03	R\$ 1.628,33	-R\$ 7.405,35
3		R\$ 105,47	3432,83	R\$ 1.777,76	R\$ 1.672,29	-R\$ 6.055,46
4		R\$ 108,32	3432,83	R\$ 1.825,76	R\$ 1.717,44	-R\$ 4.764,64
5		R\$ 111,25	3432,83	R\$ 1.875,06	R\$ 1.763,81	-R\$ 3.530,31
6		R\$ 114,25	3432,83	R\$ 1.925,69	R\$ 1.811,44	-R\$ 2.350,00
7		R\$ 117,33	3432,83	R\$ 1.977,68	R\$ 1.860,35	-R\$ 1.221,34
8		R\$ 120,50	3432,83	R\$ 2.031,08	R\$ 1.910,57	-R\$ 142,07
9		R\$ 123,76	3432,83	R\$ 2.085,92	R\$ 1.962,16	R\$ 889,97
10		R\$ 127,10	3432,83	R\$ 2.142,24	R\$ 2.015,14	R\$ 1.876,84
11		R\$ 130,53	3432,83	R\$ 2.200,08	R\$ 2.069,55	R\$ 2.820,53
12		R\$ 134,05	3432,83	R\$ 2.259,48	R\$ 2.125,43	R\$ 3.722,92
13		R\$ 137,67	3432,83	R\$ 2.320,48	R\$ 2.182,81	R\$ 4.585,82
14		R\$ 141,39	3432,83	R\$ 2.383,14	R\$ 2.241,75	R\$ 5.410,96
15		R\$ 145,21	3432,83	R\$ 2.447,48	R\$ 2.302,27	R\$ 6.199,99
16		R\$ 149,13	3432,83	R\$ 2.513,56	R\$ 2.364,44	R\$ 6.954,49
17		R\$ 153,15	3432,83	R\$ 2.581,43	R\$ 2.428,28	R\$ 7.675,97
18		R\$ 157,29	3432,83	R\$ 2.651,13	R\$ 2.493,84	R\$ 8.365,88
19		R\$ 161,54	3432,83	R\$ 2.722,71	R\$ 2.561,17	R\$ 9.025,60
20		R\$ 165,90	3432,83	R\$ 2.796,22	R\$ 2.630,32	R\$ 9.656,44

(fonte: elaborado pelo autor)

Como pode ser observado na coluna que apresenta os VPL's do investimento para cada ano de uso do SAS, o mesmo já se torna rentável economicamente entre seu **oitavo e nono** anos de utilização (menos da metade da vida útil estimada), configurando o sistema proposto como um investimento rentável a curto/médio prazo. O elevado VPL para o último ano do período analisado, por sua vez, sinaliza que o SAS é um investimento economicamente viável.

#### 14.6 ANÁLISE DA TIR PARA OS DOIS SISTEMAS PROPOSTOS

A determinação da TIR para cada um dos sistemas propostos se deu com a utilização do *software Microsoft Excel*: o mesmo conta com uma função *TIR()*, que calcula automaticamente esta taxa para um determinado fluxo de caixa, conforme o item 10.3. Agrupando os valores da coluna “Fluxo de Caixa” das tabelas 5 e 7 e aplicando a função *TIR()*, foram obtidos os seguintes valores:

Tabela 8 – Taxa interna de retorno para cada sistema proposto

Sistema	TIR
SAS	18,80%
SAAP	-11,03%

(fonte: elaborado pelo autor)

Comparando a TIR de cada sistema com o valor da taxa mínima de atratividade proposta, sendo esta a taxa Selic e igual a 7,50%, conclui-se que:

- O SAS é um investimento economicamente atrativo, uma vez que sua TIR é superior à taxa de atratividade proposta;
- O Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais não é um investimento atrativo, pois além do valor da TIR estar abaixo da taxa de atratividade (taxa Selic), é um valor negativo, ou seja, os gastos com investimento inicial e manutenções não são superados pela economia devido à redução no consumo de água;

## 15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme estabelecido no capítulo 2, o objetivo deste trabalho foi propor o dimensionamento e especificar os componentes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais e de um sistema de aquecimento solar de água, conforme as orientações das NBR's competentes a cada um, averiguando ser ou não possível executar seus projetos, conforme o já existente dos sobrados do loteamento Chácara das Nascentes e, com isso, determinando se o investimento a ser realizado para a implantação de cada sistema seria ou não rentável ao usuário final. O mesmo capítulo 2 destaca as premissas e delimitações impostas quanto ao dimensionamento e especificações dos componentes dos sistemas propostos, que foram determinantes nos estudos de viabilidade técnica e econômica dos mesmos.

A principal limitação imposta neste trabalho foi a impossibilidade de alterações arquitetônicas significativas no projeto existente do sobrado estudado: o projeto do SAS proposto não foi influenciado por esta limitação, uma vez que seus componentes são instalados no telhado (sobre ou sob o mesmo), sem visibilidade de fachada. O projeto do SAAP, por sua vez, sofreu grande influência desta limitação: a escolha pelo reservatório enterrado se deu, justamente, para evitar que o mesmo ficasse aparente na fachada do sobrado, podendo, desta forma, desagradar possíveis compradores e/ou investidores. Esta escolha, seguramente, elevou o custo de execução por parte da construtora, pois além do próprio reservatório ser mais caro (por ser reforçado para resistir aos esforços do solo), os custos com escavação, preparação do substrato e cobertura da cisterna tornaram o SAAP proposto um investimento alto, e seu estudo de viabilidade econômica mostrou que a economia de água gerada não compensa este investimento inicial ao longo de sua vida útil, principalmente no Brasil, país que possui uma realidade de abastecimento de água muito superior à grande maioria das nações, cujo custo de tratamento e distribuição de água ainda é muito baixo, o que o configura como um investimento economicamente inviável.

O SAS proposto, por sua vez, mostrou-se um investimento de boa rentabilidade, uma vez que, analisando seu VPL a cada ano, foi constatado que o investimento inicial retorna ao usuário aproximadamente em seu quinto ano de uso, a partir do qual o sistema torna-se lucrativo, com valor presente ao final de sua vida útil média, aqui estipulada como sendo vinte anos, quase

duas vezes maior do que o investimento inicial. Além disto, a TIR calculada mostrou-se significativamente superior à taxa mínima de atratividade escolhida, a taxa Selic, outro indicador que qualifica o SAS como um investimento viável economicamente. A área de coletores calculada, igual a 6,00m<sup>2</sup>, é perfeitamente exequível sobre os 49,50m<sup>2</sup> de telhado dos sobrados do loteamento, bem como o reservatório térmico com capacidade de 300 litros, que pode ser facilmente instalado entre a laje de cobertura e o telhado, o que levou a uma configuração de circulação forçada da água para que o SAS proposto fosse viável tecnicamente.

Embora apenas a viabilidade técnica e econômica dos sistemas propostos tenham sido estudadas no presente trabalho, não se podem deixar de lado os benefícios que sua utilização traz aos meios ambiente e socioeconômico: a redução dos impactos causados pelo escoamento superficial da água sobre os pavimentos (cada vez menos permeáveis) e pela geração de energia elétrica (cada vez mais onerosa) deve ser analisada da mesma forma com a qual analisam-se as questões técnicas e econômicas. Esta é uma responsabilidade que a construção civil carrega e deve ser levada a sério, sendo um dos setores da indústria com maior geração de impactos ambientais, mas que possui um dos maiores potenciais de aplicação de práticas sustentáveis.

É necessário destacar que todos estes benefícios obtidos pela implantação dos dois sistemas propostos neste trabalho podem ser observados aplicando-se um investimento que fica entre **3 e 5% do valor final de venda** do sobrado, aproximadamente, e que pode sem facilmente diluído ao longo de um financiamento, justificando sua utilização mesmo que não se verifique um retorno financeiro de fato, como no caso do sistema de aproveitamento de águas pluviais. Desta forma, destaca-se que o investimento em projetos e especificações de materiais com ideais de sustentabilidade por parte das construtoras, como os sistemas propostos neste trabalho, são fundamentais para um processo de urbanização controlado e sustentável.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: **Água da Chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis** – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15569: **Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto** – projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008.

COELHO, L.G. **Aproveitamento de Águas Pluviais em Condomínios Verticais: Custo ou Investimento?** 2007. 55f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

LEITE, V.F. **Certificação Ambiental na Construção Civil** – Sistemas LEED e AQUA. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

MANO, R.S. **Captação Residencial de Água da Chuva para Fins não Potáveis em Porto Alegre: aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 175 f. - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004

MOTTA, S.R.F. ; AGUILAR, M.T.P. **Sustentabilidade e Processos de Projetos de Edificações.** Gestão e Tecnologia de Projetos, 2009. v.4

MOTTA, R.R. da; CALÔBA, G.M. **Análise de Investimentos: tomada de decisão em projetos industriais.** ed. 1. São Paulo: Atlas, 2011

NASPOLINI, H.F.;RÜTHER, R. **Redução da demanda no horário de ponta proporcionada pelo preaquecimento solar da água para o banho.** Revista Brasileira de Energia Solar, p. 138-148, 2011. v. 2

PEREIRA, E.;MARTINS, F.R.; ABREU, S.L. de; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** ed. 1. São José dos Campos: INPE, 2006.

QUINALIA, E. **Eficiência Energética.** Revista Técnica, ed. 146, maio/2009.

ROSSETO, R.R. **Dimensionamento de Sistema de Aquecimento Solar para Banho em Contêiner de Instalações Provisórias de Obra.** 2014. 69 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

SILVA, L.F.S. da. **Aproveitamento de águas pluviais: ferramentas para tomadas de decisão em projetos**. 2012. 78 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

TRANSSSEN Aquecedores Solares. **Manual de Aquecedor Solar – Banho**. Birigui, 2017.

TUCCI, C.E.M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2002. v. 7

TUCCI, C.E.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas: saneamento para todos**. Brasília, Ministério das Cidades, 2005 v. 7

WARTCHOW, D.; **Insolação e Orientação de Edificações**. Notas de aula da disciplina instalações hidrossanitárias, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

WARTCHOW, D.; GEHLING, G. **Instalações Prediais de Água Quente**. Notas de aula da disciplina instalações hidrossanitárias, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

## **ANEXO A – Tabela INMETRO para Coletores Solares Planos – Especificações**

**(Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água – Coletores Solares. 2016)**

## 27/04/2016 APLICAÇÃO: BANHO

1	2	3	4		5	6		7	8	9	10	11
			FABRICANTE	MARCA		MODELO	PRESSIONAMENTO					
			(kPa)	(mca)	(m <sup>2</sup> )	Por Coletor	Por m <sup>2</sup> (Específica)	(%)				
	SOLTEC	ST-CS A050-10	400,0	40,8	1,00	75,3	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	SOLTEC	ST-CS A050-14	400,0	40,8	1,40	105,4	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	SOLTEC	ST-CS A050-15	400,0	40,8	1,50	113,0	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	SOLTEC	ST-CS A050-15H	400,0	40,8	1,50	112,9	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	SOLTEC	ST-CS A050-17	400,0	40,8	1,70	128,0	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	SOLTEC	ST-CS A050-20	400,0	40,8	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	SOLTEC	ST-CS A050-20H	400,0	40,8	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	TÉGULA	PYTL1.0	600,0	61,2	1,00	72,2	72,2	52,1	B	ALUMINIO	0,691	5,511
	TÉGULA	TH1.5	600,0	61,2	1,50	108,3	72,2	52,1	B	ALUMINIO	0,691	5,511
	THERMOSYSTEM	THERMOSYSTEM	400,0	40,8	1,00	75,3	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	THERMOSYSTEM	THERMOSYSTEM	400,0	40,8	1,40	105,4	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	THERMOSYSTEM	THERMOSYSTEM	400,0	40,8	1,50	113,0	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	THERMOSYSTEM	THERMOSYSTEM	400,0	40,8	1,50	112,9	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	THERMOSYSTEM	THERMOSYSTEM	400,0	40,8	1,70	128,0	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	THERMOSYSTEM	THERMOSYSTEM	400,0	40,8	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	THERMOSYSTEM	THERMOSYSTEM	400,0	40,8	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMINIO	0,696	6,183
	TRANSSEN	ITAPUÁ V1.7	400,0	40,8	1,73	133,4	77,1	54,8	A	ALUMINIO	0,709	6,443
	TRANSSEN	ITAPUÁ H1.7	400,0	40,8	1,73	133,4	77,1	54,8	A	ALUMINIO	0,709	6,443
	TRANSSEN	ITAPUÁ V2.0	400,0	40,8	2,02	155,7	77,1	54,8	A	ALUMINIO	0,709	6,443
	TRANSSEN	ITAPUÁ VC1.0	400,0	40,8	1,00	71,8	71,8	51,5	B	ALUMINIO	0,667	6,431
	TRANSSEN	ITAPUÁ VC H2.0	400,0	40,8	2,00	143,6	71,8	51,5	B	ALUMINIO	0,667	6,431
	TRANSSEN	ITAPUÁ V1.4	400,0	40,8	1,41	101,2	71,8	51,5	B	ALUMINIO	0,667	6,431
	TRANSSEN	MAGNUM V2.0	400,0	40,8	2,00	172,6	86,3	61,6	A	ALUMINIO	0,791	6,708
	TRANSSEN	ÔNIX 1.2	400,0	40,8	1,21	101,0	83,4	60,0	A	POLIMERO	0,82	9,80
	TRANSSEN	ÔNIX 1.5	400,0	40,8	1,50	125,2	83,4	60,0	A	POLIMERO	0,82	9,80
	TRANSSEN	ÔNIX 2.0	400,0	40,8	2,00	166,9	83,4	60,0	A	POLIMERO	0,82	9,80
	TRANSSEN	BAHAMAS III V1.7	400,0	40,8	1,71	140,9	82,4	59,5	A	ALUMINIO	0,75	5,93
	TRANSSEN	BAHAMAS III V2.0	400,0	40,8	2,00	164,7	82,4	59,5	A	ALUMINIO	0,75	5,93

## **ANEXO B – Corte Esquemático do Sobrado Analisado**

(Fonte: NexGroup, 2017)

