

# Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar





# Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar

## Realização:

EKOS BRASIL



## Apoio:

Em nome do

gtz



Ministério Federal do Meio Ambiente,  
da Proteção da Natureza  
e da Segurança Nuclear

PROCOBRE  
Connects Life.



renewable  
energy  
& energy  
efficiency  
partnership

**Meio Ambiente**  
Ministério do Meio Ambiente

da República Federal da Alemanha



STUDIO EQUINÓCIO  
SOLAR ENERGY



Coordenação do projeto: Délcio Rodrigues

Original elaborado a partir da palestra de Carlos Felipe da Cunha Faria

Transcrição do Áudio: Gabriel Alves

Elaboração do original: Roberto Matajs

Edição de texto: Délcio Rodrigues e Roberto Matajs

Leitura crítica e técnica:

Marco Teixeira, Rodrigo Falco Lopes, Andreas Nieters (GTZ), Antonio Maschietto (Procobre) e Aurelio de Andrade Souza (Usinazul).

Projeto gráfico, pesquisa iconográfica e edição de arte: Fernanda Matajs

Diagramação: Virtual laser

Ilustrações: tHg Informática e design

Fotos: Carlos Felipe da Cunha Faria (arquivo pessoal); assessoria de imprensa da Soletrol, Solarcooking, Solarwall e Energylan.

Fotos da capa: Montagem a partir das imagens profissional01.jpg e pousada01.jpg autorizadas pela Soletrol.

Todos os esforços foram feitos para determinar a origem e a autoria das imagens utilizadas nesta apostila. Os editores corrigirão créditos incompletos, errados ou omitidos assim que sejam informados.

Agradecemos aos técnicos do Eletrobras/PROCEL por suas inestimáveis contribuições na revisão técnica.

Este material tem a finalidade única de capacitar agentes para o mercado de energia solar renovável. O material pode ser reproduzido no seu todo ou em parte sempre que o objetivo for educacional e sem fins lucrativos.

#### Realização:



#### Apoio:

Em nome do



da República Federal da Alemanha



# prefácio

Em dezembro de 2009 o governo brasileiro levou à 15ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas de Copenhague a proposta de redução voluntária de entre 36,1% e 38,9% na emissão nacional de gases de efeito estufa até 2020.

A Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) da lei 12.187/09 definiu que serão estabelecidos planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono em vários setores, entre estes geração e distribuição de energia elétrica e a indústria da construção civil, setores diretamente ligados à geração de energia solar, foco do material de capacitação que ora apresentamos.

Este material se insere no processo de criação de condições para que o Brasil possa cumprir as metas levadas a Copenhague, capacitando mão de obra especializada nesta fonte renovável e descentralizada de energia, ao mesmo tempo em que contribui para elevar as condições de empregabilidade de muitos brasileiros.

A energia solar cria dezenas de vezes mais empregos por unidade de energia gerada do que fontes de energia capital-intensivas como a nuclear e o petróleo, de maneira que o crescimento de seu uso vem gerando uma grande demanda de profissionais de projeto e instalação.

Com este material e com os processos de capacitação que vêm sendo levado a cabo por instituições não governamentais e do setor privado, esperamos também contribuir para que os sistemas de aquecimento solar venham a ser instalados com sucesso nas casas do programa Minha Casa Minha Vida em um processo que une o melhor de vários mundos: redução do déficit habitacional e da conta de energia de um grande contingente que precisa ser resgatado da pobreza com o crescimento do país; promoção de empregos verdes; e redução das emissões de gases de efeito estufa com o emprego massivo dos sistemas de aquecimento solar.

Brasília, agosto de 2010

Geraldo Augusto de Siqueira Filho  
Assessor Especial

Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal

---

## REALIZADORES

O Instituto Ekos Brasil é uma organização da sociedade civil sem fins lucrativos voltada à preservação da biodiversidade e a promoção da sustentabilidade, que atua por meio do desenvolvimento, difusão e implementação de ferramentas técnico-científicas de gestão da sustentabilidade nas atividades produtivas e de manejo da conservação de biomas.

O Vitae Civilis - Instituto para o Desenvolvimento, Meio Ambiente e Paz - é uma organização da sociedade civil, sem finalidade lucrativa, que tem como missão promover o desenvolvimento sustentável por meio de apoio a elaboração e implementação participativa de políticas públicas integradas; gerar e disseminar conhecimento e práticas, e fortalecer organizações e iniciativas da sociedade civil em águas, clima e energia.

---

## APOIADORES

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) do estado brasileiro foi criado em novembro de 1992 com a missão de promover a adoção de princípios e estratégias para o conhecimento, a proteção e a recuperação do meio ambiente, o uso sustentável dos recursos naturais, a valorização dos serviços ambientais e a inserção do desenvolvimento sustentável na formulação e na implementação de políticas públicas, de forma transversal e compartilhada, participativa e democrática, em todos os níveis e instâncias de governo e sociedade.

A Agência de Cooperação Técnica Alemã – GTZ (*Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GTZ GmbH*) é uma empresa do governo alemão para o desenvolvimento sustentável e exerce suas atividades em todo o mundo. É o principal serviço de cooperação técnica do governo alemão, como o Ministério Federal de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ), seu principal cliente. A GTZ tem como objetivo melhorar de forma sustentável as condições de vida das pessoas.

O Procobre (Instituto Brasileiro do Cobre) é uma instituição sem fins lucrativos, mantida por empresas produtoras e transformadoras de cobre, cuja missão é a promoção do uso do cobre, impulsionando a pesquisa e o desenvolvimento de novas aplicações e difundindo sua contribuição ao melhoramento da qualidade de vida e o progresso da sociedade. O Procobre faz parte da ICA (International Cooper Association), entidade com sede em New York, encarregada de liderar a promoção do cobre mundialmente.

A Parceria para as Energias Renováveis e a Eficiência Energética (REEEP, na sigla em inglês), é uma organização sem fins lucrativos que objetiva catalisar o mercado de energias renováveis e de eficiência energética, com foco de atuação nos mercados emergentes e nos países em desenvolvimento. A missão da REEEP é facilitar a transformação dos sistemas de energia, acelerando a absorção de energias renováveis e das tecnologias de eficiência energética, como forma de reduzir as emissões de carbono, aumentando a segurança energética e melhorando acesso à energia sustentável para os pobres a nível mundial.

O Studio Equinócio é uma empresa que atua na formação e capacitação de profissionais em projetos, instalação e manutenção para o mercado de energia solar térmica; consultoria para desenvolvimento de projetos de implantação da energia solar e estruturação de negócios de venda de sistemas de aquecimento solar.

A USINAZUL Empreendimentos em Energia Renovável Ltda., é uma empresa de engenharia privada, criada para fornecer produtos e prestar serviços utilizando fontes energéticas que não agredam o meio ambiente, e geradoras da energia limpa conhecida como energia renovável.

# apresentação

O Sol é a principal fonte de vida na Terra e responsável por inúmeros fenômenos naturais, como a formação dos ventos, o ciclo da água e a fotossíntese das plantas. Ao longo do tempo o desenvolvimento tecnológico possibilitou que a energia solar fosse utilizada em aquecedores solares térmicos e painéis fotovoltaicos. Atualmente existem inúmeras possibilidades de aproveitamento da energia solar, utilizando-se tanto de tecnologia térmica como fotovoltaica, para esquentar água, aquecer edifícios, secar alimentos ou gerar energia elétrica, entre outras.

O avanço tecnológico e as pesquisas desenvolvidas na área de energia solar estão estendendo suas aplicações para outras finalidades que, além de permitir economia de energia, apresentam recompensas sociais, econômicas e ambientais para diferentes setores da sociedade.

É consenso mundial que a energia solar térmica se tornará um pilar fundamental e indispensável do futuro mix de oferta de energia mundial. Acredita-se ainda que seja a melhor solução para suprir em médio e longo prazo grande parte da demanda de calor e frio nas edificações. No Brasil, associações do setor de energia solar térmica, da comunidade ambientalista e órgãos do governo federal em nível nacional e internacional também simpatizam com essa visão, entendendo que a energia solar térmica é um dos componentes chaves de qualquer matriz energética no planeta, por apresenta amplas vantagens ambientais, econômicas e sociais.

Uma das maneiras de incentivar e disseminar o uso de tecnologia solar térmica é possibilitar aos profissionais de diferentes níveis e setores o acesso a informações e conhecimentos que contribuam na formação de mão de obra qualificada. Para isso, apresentamos nesta apostila alguns tópicos referentes aos sistemas de aquecimentos solares: projetos para habitações de interesse sociais, unifamiliares e multifamiliares e projetos para aquecimento de piscinas. Além dessas aplicações, são mostradas outras experiências voltadas à geração de energia elétrica, refrigeração solar, uso de calor nos processos industriais e arquitetura solar.

A partir dessa iniciativa espera-se que diferentes profissionais envolvidos em projeto, instalação, manutenção e comercialização de sistemas de aquecimentos solares possam contar com um atualizado material de apoio para consulta em momentos oportunos de suas atividades profissionais.

# s u m á r i o

<b>1. Utilização geral da energia solar</b>	<b>9</b>
Introdução	10
Arquitetura bioclimática	10
Energia térmica	11
Torre solar	12
Concentradores parabólicos	13
Chaminé solar	14
Energia térmica para climatização	15
Calefação	16
Estufa solar	17
Cozinha solar	17
Energia solar fotovoltaica	18
Dessalinização solar	18
Sistema fotovoltaico geração descentralizada	19
Sistema fotovoltaico conectados à rede elétrica	19
Sistema agregado fotovoltaico e térmico	20
<b>2. Aquecimento solar térmico</b>	<b>23</b>
Introdução	24
Residencial unifamiliar	24
Residencial unifamiliar baixa renda	25
Residencial multifamiliar	27
Projetos para distribuição de água quente	29
Sistema individual	29
Sistema coletivo	29
Sistema com acumulação central e apoio individual	32
Setor de serviços	33
Setor industrial	33
Aquecimento de piscina	35
Integração arquitetônica	36
Aquecimento distrital	39
<b>3. O mercado brasileiro e mundial</b>	<b>41</b>
Mercado internacional	42
Mercado brasileiro	45
<b>4. Entendendo um sistema de aquecimento solar</b>	<b>49</b>
Premissas para um bom projeto de uso de energia solar	50
Sistema de aquecimento solar	51
Modelos de coletores solares	52
Coletor solar plano	53
Cobertura do coletor	55
Coletor solar aberto	58
Coletor tubo de vácuo	58
Painel solar termodinâmico	59
Reservatório térmico	59



<b>5. Princípios de funcionamento de uma instalação de aquecimento solar</b>	<b>63</b>
Classificação dos sistemas de aquecimento solar	64
Componentes de um sistema de aquecimento solar de água	66
Termossifão convencional	68
Termossifão acoplado	70
Termossifão integrado	70
Regras para garantir o termossifão	71
Circulação forçada convencional	73
Sistema anticongelamento para a circulação forçada	74
Aquecimento de piscina	75
<b>6. Passo a passo de um projeto de instalação de aquecimento solar</b>	<b>77</b>
Dimensionamento	78
Etapas do projeto de sistemas de aquecimento solar	79
Detalhes da visita técnica	80
Dimensionamento de água	81
<b>7. Fundamentos de solarimetria e geometria solar</b>	<b>87</b>
Solarimetria	88
Geometria solar	91
Movimento aparente do Sol	92
<b>8. Seleção de componentes</b>	
<b>Coletores solares e reservatórios térmicos</b>	<b>97</b>
Balanço de energia nos coletores	98
Tabela do Inmetro	101
Cálculo da fração solar unifamiliar	104
Cálculo da fração solar multifamiliar	105
<b>9. Cuidados práticos de projeto, instalação e manutenção de sistemas de aquecimento solar</b>	<b>107</b>
Programa Brasileiro de Etiquetagem	108
Programa Qualisol	109
Principais problemas em instalações solares	110
Estrutura e instalação	112
Sombreamento	113
Arranjo hidráulico	115
Interligação dos coletores	115
Dimensionamento da tubulação	119
Bombas de circulação	119
Sistema de controle e monitoração	120
Isolamento térmico	120
Proteção anticongelamento	121
Trocadores ou permutadores de calor	122
Arranjo dos reservatórios térmicos	123
<b>Bibliografia</b>	<b>126</b>





## Utilização geral da energia solar ▷▷ 1

Neste tópico serão apresentadas as diversas possibilidades de aplicações da energia solar desde a arquitetura bioclimática, energia solar fotovoltaica e aplicações térmicas de baixa, média e altas temperaturas.

## Introdução

Há três possibilidades de aproveitamento da energia solar: a fotovoltaica, a energia térmica e a arquitetura bioclimática. Observe a distribuição das aplicações da energia solar na Figura 1.1.

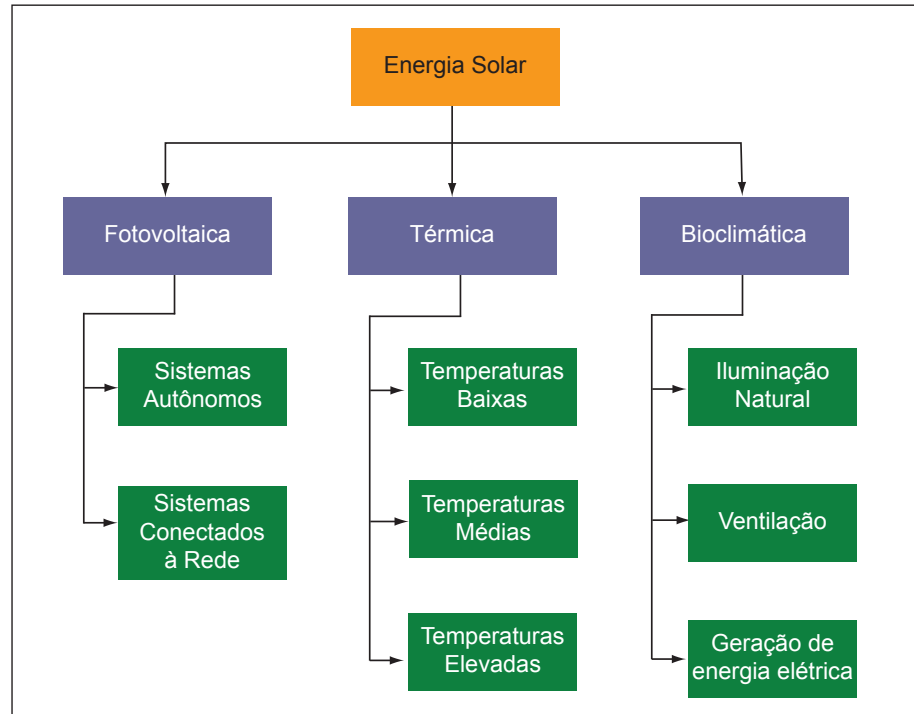


FIGURA 1.1. Fluxograma das aplicações da energia solar.

## Arquitetura bioclimática

A possibilidade de integrar a energia solar à fachada de prédios e residências é conhecida por arquitetura bioclimática. O conceito de arquitetura bioclimática é conhecido desde a Roma Antiga onde as moradias eram construídas seguindo orientações para aproveitar ao máximo condições climáticas, utilizando os recursos disponíveis na natureza (Sol, vegetação, chuva, vento) para minimizar os impactos ambientais e reduzir o consumo energético. Atualmente os projetos que incorporam o conceito de arquitetura solar levam em consideração a orientação das fachada de forma a garantir maior quantidade de iluminação natural, e utilização dos ventos dentro das edificações e redução de gastos com energia. O Inmetro pretende tornar compulsório até 2012 um programa de certificação energética de edifícios, no qual as construções residenciais e comerciais deverão atender parâmetros de economia referentes ao ar-condicionado, à iluminação e às fachadas, além de serem obrigadas ao uso de tecnologias sustentáveis. No decorrer desse e dos demais capítulos serão apresentados projetos arquitetônicos que integram a tecnologia solar à fachada das edificações, como os dois exemplos das Figuras 1.2A e 1.2B.



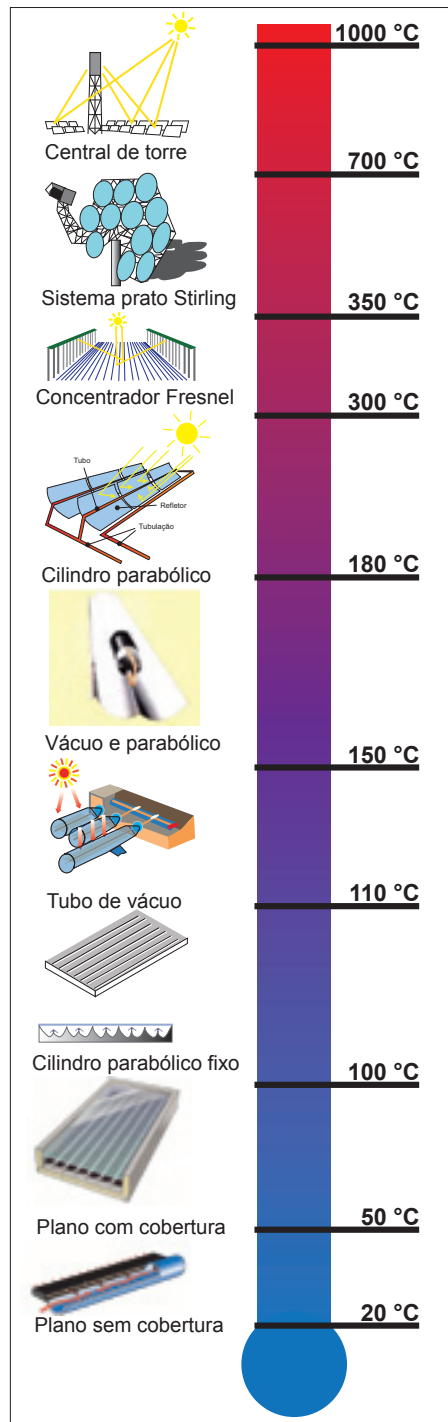
**FIGURA 1.2A.** Arquitetura solar no telhado e fachadas, França. Observe que a inclinação evita o acúmulo de neve e absorve as radiações solares difusas e diretas.



**FIGURA 1.2B.** Arquitetura solar na fachada, Áustria. Observe que os coletores solares estão na fachada. Esse sistema combina duas funções: aquecer o ar e a água.

## Energia térmica

O aproveitamento da energia solar térmica não se restringe a aquecer água, ela pode também ser utilizada em plantas de dessalinização, secagem de grãos, geração de vapor de água e produção de energia elétrica. Cada forma de aproveitamento da energia térmica está associada a um conjunto de tecnologias e à temperatura de trabalho. Observe na Figura 1.3, as possibilidades de uso da energia térmica em função da temperatura.



**FIGURA 1.3.** Temperatura de trabalho das diferentes tecnologias que fazem uso da energia térmica solar.

## Torre solar

A torre solar é uma tecnologia que aproveita a energia térmica para gerar energia elétrica a partir de vapor a alta pressão. A torre solar é formada por um conjunto de espelhos, denominados heliostatos, que acompanham o movimento do Sol durante o ano inteiro e refletem seus raios para um receptor na torre localizada no centro do conjunto de espelhos. A incidência de todos os raios em um único ponto possibilita que o fluido térmico armazenado na torre atinja temperaturas entre 1500 °C e 2000 °C, podendo assim produzir vapor que é aproveitado para acionar uma turbina e gerar energia elétrica. Ou seja, utiliza-se na central solar o mesmo princípio de uma usina termelétrica convencional movida a carvão ou a gás natural, só que neste caso o “combustível” é a energia solar.



FIGURA 1.4. No mundo existem cerca de 50 usinas solares térmicas que utilizam esse princípio de funcionamento em diferentes estágios de construção.

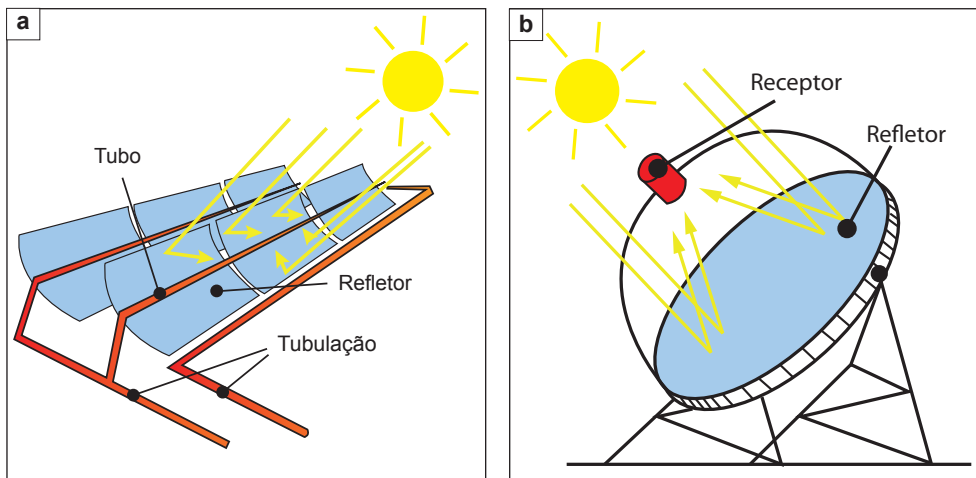


Essa tecnologia de geração de energia elétrica por meio da energia solar já é economicamente viável, tanto que na Espanha existem várias centrais solares adotando este modelo. Na Figura 1.5 aparece a mais recente central solar em funcionamento na Espanha, com capacidade de geração de 20 MW, suficiente para abastecer 10 mil residências, reduzindo a emissão de 12 mil toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Considerando esse estágio de avanço tecnológico a Espanha pode vir a ser num futuro próximo um país líder na geração de energia elétrica utilizando o sol.

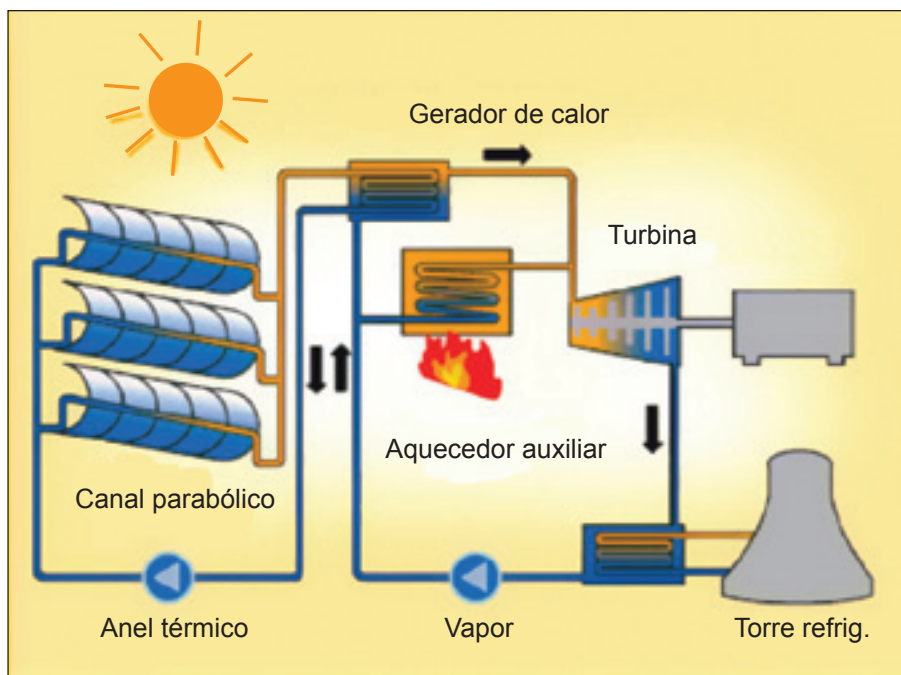
FIGURA 1.5. A Central Solar PS 20 é uma das várias usinas da Espanha.

## Concentradores parabólicos

Os concentradores, painéis ou espelhos parabólicos tem o mesmo princípio de funcionamento da central solar: produzir vapor para acionar turbinas e gerar energia elétrica, porém operam a temperaturas menores que 1.000 °C. Nessa tecnologia um fluido térmico, que pode ser água, óleo ou ainda outras substâncias, circula no sistema e por meio da incidência dos raios solares no foco dos espelhos tem sua temperatura elevada.



**FIGURA 1.6.** Em (a), detalhes dos espelhos e sistema de fluido do painel solar; e em (b), detalhes do modelo *Solar Dish*.



**FIGURA 1.7.** Representação de um esquema de funcionamento de um concentrador solar.

As empresas que fabricam essas tecnologias afirmam já possuir domínio para produzir, instalar e operar este tipo de usinas. Na Califórnia (EUA) existem usinas operando com capacidade de produção de até 350 MW, suficiente para abastecer cidades com 350 mil residências. Por dependerem de temperaturas elevadas e necessitarem de enormes áreas de instalação, essas usinas normalmente são construídas em áreas secas.

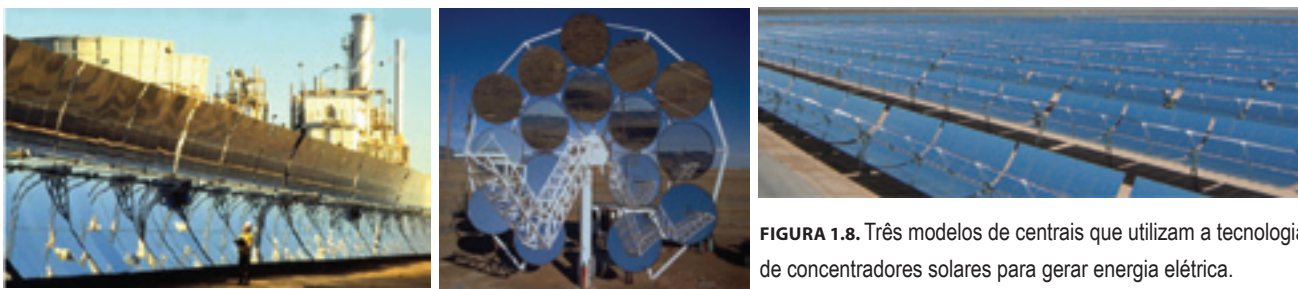


FIGURA 1.8. Três modelos de centrais que utilizam a tecnologia de concentradores solares para gerar energia elétrica.

### Chaminé solar

A chaminé solar é uma tecnologia que aproveita a energia térmica para gerar energia elétrica a partir do movimento do ar aquecido. A chaminé solar é um conjunto formado por uma torre localizada no centro de uma enorme estufa. O ar armazenado no interior da estufa aquece e por convecção, se movimenta em direção ao ponto mais alto desse sistema, a chaminé. A elevação da temperatura do ar associada ao deslocamento do ar para o centro da estufa faz surgir ventos com velocidades de aproximadamente 60 km/h, que seguem pelo interior da chaminé em direção a extremidade superior da torre-chaminé. À medida que esse ar aquecido sobe pelo interior da torre ele movimenta uma série de turbinas que geram energia elétrica.

A chaminé solar está em funcionamento na Espanha e está sendo construída na Austrália. Esse audacioso projeto australiano será a maior obra de engenharia já construída na história, abrangendo uma área de 10 mil hectares, com capacidade de geração de energia elétrica estimada em 200 MW em 32 turbinas, suficiente para abastecer 200 mil residências.

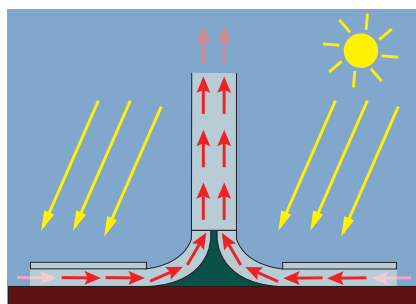


FIGURA 1.9. Representação de um esquema de funcionamento de uma chaminé solar.

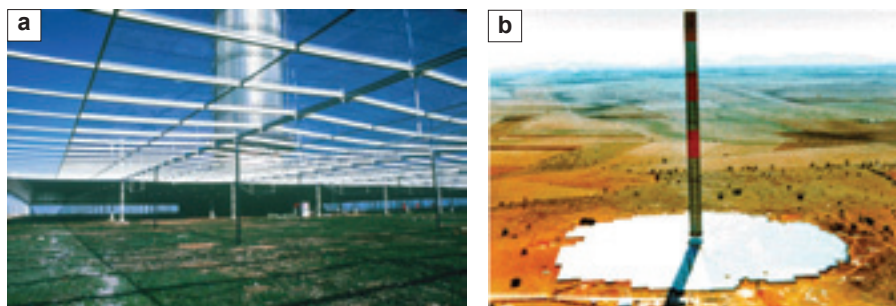


FIGURA 1.10. Em (a), detalhes internos da estufa e em (b), vista área do conjunto estufa e chaminé.



## Energia térmica para climatização

O aproveitamento da energia térmica para converter calor em frio é uma tecnologia que está começando a crescer na Europa. A Agência Internacional de Energia (IEA) da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) tem vários projetos envolvendo energia solar para fins de climatização.

TABELA 1.1. Diferentes opções para o uso de energia solar.

CARACTERÍSTICA	PROCESSO			
	FECHADO		ABERTO	
Circuito refrigerante	Ciclo de absorção ou adsorção		Refrigerante (água) em contato com a atmosfera	
Princípio	Produção de água fria		Desumidifica de ar e refrigeração evaporativa	
Absorvente	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Pares de substâncias típicas	Água/gel de silício; Amoníaco/sal	Brometo de lítio/Água; Amoníaco/Água	Água/gel de silício; Água/celulosa de cloreto de lítio	Água/cloreto de cálcio; Água/cloreto de lítio
Tecnologia disponível no mercado	Máquina de adsorção/absorção	Máquina de adsorção/absorção	Enfriamento dessecativo	
COP	0,3-0,7	0,6-0,75 (efeito simples) <1,2 (efeito duplo)	0,5->1	>1
Temperaturas típicas de trabalho	60-95 °C	80 °C - 110 °C (efeito simples) 130 °C - 160 °C (efeito duplo)	45 °C - 95 °C	45 °C - 70 °C
Tecnologia solar	Coletor de tubos à vácuo/Coletor plano	Coletor de tubos à vácuo/ Coletor plano	Coletor plano/ Coletor de ar	Coletor plano

Essa tecnologia é conhecida por *solar cooling* ou, em português, climatização solar ou ainda refrigeração solar. A técnica consiste em aproveitar o calor gerado por meio de um ciclo de absorção ou adsorção para convertê-lo em efeito frio, esse processo é semelhante ao que acontece no condicionamento de ar, porém o calor é gerado a partir de um coletor solar que alimenta uma máquina de adsorção ou absorção que gera o frio. Nos países de clima tropical, como o Brasil, nos quais a demanda de frio (refrigeração) coincide com os períodos de maior intensidade de radiação solar, a implementação da climatização solar pode ser uma alternativa para a economia de energia elétrica.



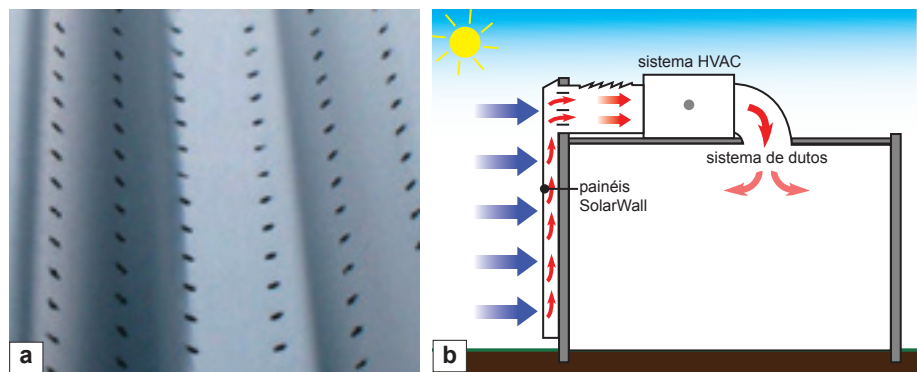
FIGURA 1.11. Sistema de climatização instalado no telhado de um órgão público na cidade de Alto Rin, em Friburgo na França.

## Calefação

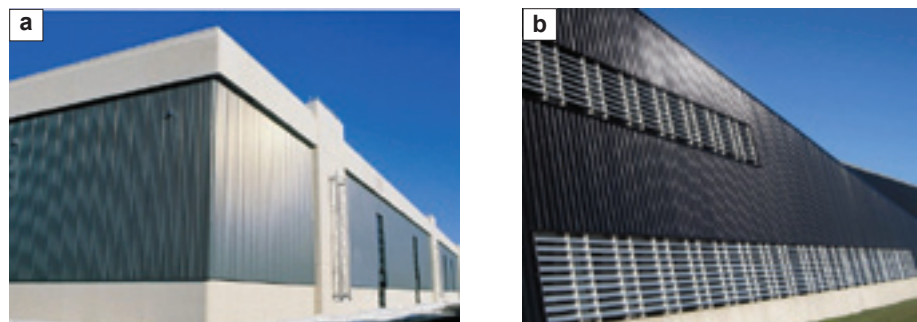
A calefação solar aquece o ar por meio de coletores e o utiliza como fonte de calor nas edificações residenciais, industriais ou comerciais. Por requerer intervenções arquitetônicas pode-se considerar que a integração dessa tecnologia às edificações envolve etapas de arquitetura solar. Alguns países da Europa, os EUA e o Canadá utilizam essa tecnologia para suprir parte da demanda de energia necessária para aquecer suas residências.

O sistema de calefação é composto por coletor solar e tubulações que se integram aos dutos de ar condicionado das edificações. O coletor solar é uma placa na cor preta com pequenos orifícios por onde o ar entra e após estar aquecido se movimenta naturalmente por diferença de densidade (ou por circulação forçada).

**FIGURA 1.12.** Em (a), detalhes dos orifícios do painel solar e em (b), representação do esquema de funcionamento de um sistema de calefação.



Os coletores solares para fins de calefação podem ser incorporados à fachada das edificações de forma a atender o conceito de arquitetura solar. As Figuras 1.13A e 1.13B apresentam exemplos de calefação com painéis solares integrados em funcionamento em um aeroporto e em uma fábrica, ambos no Canadá.



**FIGURA 1.13.** Em (a), Aeroporto de Toronto no Canadá. Em (b), Fábrica de aeronaves Bombardier no Canadá.

## Estufa solar

O ar aquecido em coletores solares pode ser utilizado em pequenas estufas com a finalidade de secagem e desidratação de alimentos, como por exemplo, grãos, verduras e frutas.

Existem três modelos básicos de estufa solar que podem atender a finalidade de secagem e desidratação de alimentos:

- secador de absorção: o alimento é exposto a radiação solar direta;
- secador indireto ou por convecção: o produto é exposto a uma corrente de ar aquecida por um coletor solar;
- secador combinado: o alimento é exposto a radiação solar direta associado a uma corrente de ar aquecida por um coletor solar.

Encontra-se disponível na internet<sup>1</sup> manuais que orientam passo a passo a montagem de estufa ou secadores solares de alimentos.

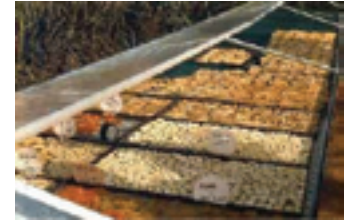


FIGURA 1.14. Exemplo de estufa com painel solar para secagem de grãos.

## Cozinha solar

Outra tecnologia simples e que cumpre principalmente uma função social é o conhecido fogão solar. De acordo com a ONG (Organização Não Governamental) americana *Solar Cooking* a utilização do fogão solar é bastante acentuada principalmente nas famílias abaixo da linha de pobreza de países como Índia, China, Paquistão, Nigéria, Uganda, Sudão, entre outros, inclusive no Brasil.



FIGURA 1.15. Cinco modelos de fogões solares para aquecimento e preparo de alimentos.

1. Disponível em <[www.solarcooking.org](http://www.solarcooking.org)>

Existe um esforço mundial para incentivar a utilização de fogões solares para atender famílias que não tem acesso a outra fonte de energia e utilizam lenha como combustível. No caso do Brasil, que ocupa somente a 13ª posição no *ranking* de utilização de fogões solares, um programa de incentivo ao uso dessa tecnologia poderia diminuir problemas de saúde ocasionados pela aspiração de gases de combustão da lenha em fogões mal projetados.

Um exemplo de aplicação centralizada dessa tecnologia que visa atender os mesmos fins é a *solar bowl*, ou cozinha solar em português. Na Figura 1.16 um exemplo de cozinha solar com capacidade de produção de vapor a 150 °C, que permite o preparo 2000 refeições por dia.

**FIGURA 1.16.** Em (a), vista área do concentrador parabólico e em (b), visão geral da cozinha solar, localizada em Haurível, Índia.



## Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é uma tecnologia que converte diretamente a energia solar em eletricidade. O principal componente dessa tecnologia é o painel feito de material semicondutor, geralmente silício ou a base de silício. Baterias, fios e outros dispositivos elétricos complementam o sistema fotovoltaico. Atualmente essa tecnologia não é fabricada no Brasil, porém algumas empresas de energia patrocinam pesquisa ou colaboram com centros de pesquisas de algumas universidades brasileiras, como a PUC-MG e USP.

Parte das pesquisas realizadas por laboratórios nacionais e internacionais se concentra na possibilidade de melhorar a eficiência da célula fotovoltaica, que atualmente está em torno de 15%, ou no desenvolvimento de novos materiais semicondutores.

## Dessanilização solar

A dessanilização da água por meio do uso da tecnologia solar é outra aplicação que vem sendo bastante pesquisada. A aplicabilidade dessa tecnologia é imediata considerando a necessidade de suprir a demanda crescente de água potável em todo o mundo.

No Brasil, principalmente no Nordeste, as águas retiradas dos poços subterrâneos apresentam elevado teor de sal. Pelo fato de grande parte da região nordestina estar localizada sobre rochas cristalinas e o contato no subsolo das águas com as rochas leva ao longo do tempo a um processo de salinização.

Uma das maneiras de eliminar o sal da água é por meio de um processo conhecido por osmose reversa. Para o funcionamento desse processo torna-se necessário o fornecimento de energia elétrica no local da instalação, porém grande parte das regiões nordestinas, são caracterizadas por um baixo grau de eletrificação. Para esses casos a utilização de energia fotovoltaica tem sido utilizada com grande eficiência.



FIGURA 1.17. Dessalinizador solar.

### Sistema fotovoltaico geração descentralizada

Hoje no Brasil, a principal utilização da energia fotovoltaica é o atendimento de comunidades localizadas em regiões isoladas do Nordeste, Norte e em ilhas ou locais em que o acesso à energia elétrica da rede nacional ainda é limitado. Pessoas que moram nessas regiões utilizam a energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos, por exemplo, na iluminação, no bombeamento de água ou na refrigeração de alimentos e remédios.

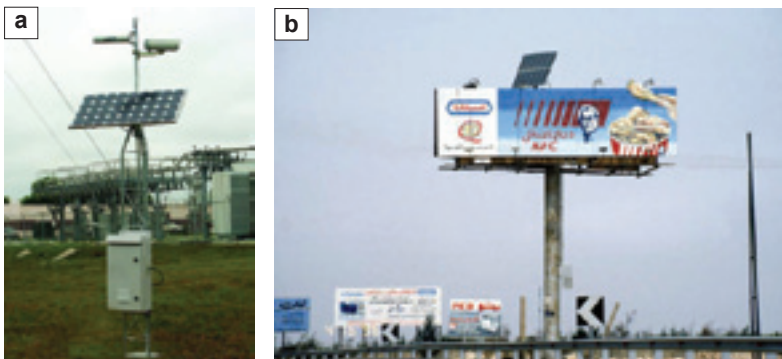


FIGURA 1.18. Em (a), estação de monitoramento de gasoduto e em (b), painel de *outdoor* abastecidos por sistema fotovoltaico.

### Sistema fotovoltaico conectados à rede elétrica

Em outros países, como Canadá, Japão e Alemanha, por exemplo, é comum utilizar sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Essa modalidade de produção de energia, conhecida por produtor independente, permite que a energia elétrica produzida em seu estabelecimento seja vendida para a companhia de energia elétrica no qual o sistema está conectado. A motivação para se tornar um produtor independente é grande, pois a tarifa que

as concessionárias pagam nestes países para o produtor, é normalmente o dobro daquela cobrada pela concessionária de energia que lhe fornece.

Existe outra aplicação para os sistemas fotovoltaicos que está em uso principalmente na área rural em alguns países da Europa. Os agricultores formam cooperativas e instalam painéis fotovoltaicos nas fazendas e distribuem a energia elétrica para os associados da cooperativa.



**FIGURA 1.19.** Universidade na Alemanha que utiliza sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Observe que o conjunto das placas está sobre o telhado integrado à arquitetura do prédio.



**FIGURA 1.20.** Associação de painéis fotovoltaicos conectados à rede elétrica. São conhecidos por horta ou fazenda solar, pois ocupam extensas áreas rurais. Seus proprietários vendem a energia gerada à companhia de eletricidade local.

### Sistema agregado fotovoltaico e térmico

O sistema agregado fotovoltaico e térmico aproveita a energia térmica e a fotovoltaica, gerando ao mesmo tempo energia elétrica e calor. O calor captado pelos painéis fotovoltaicos aquece o ar armazenado-os nos coletores, que é distribuído na tubulação da calefação. Com isso o sistema fotovoltaico melhora sua eficiência, pois os painéis trabalham refrigerados, uma vez que o calor dissipado é aproveitado pelos coletores solares no aquecimento do ar.

**FIGURA 1.21.** Associação de painéis fotovoltaicos e painéis solares térmicos.











## Aquecimento solar térmico ▷▷ 2

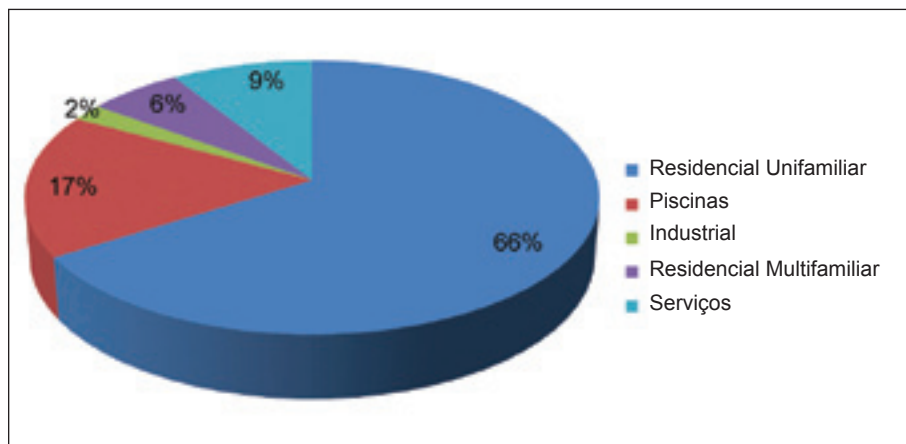
Neste tópico serão apresentadas aplicações do aquecimento solar em habitações de interesse social, edificações multifamiliares e no setor comercial e industrial. Também é abordado o tema da inserção arquitetônica. São comentados alguns modelos de negócios inovadores, como contratos de performance e venda de água quente, atualmente em desenvolvimento no mercado, e são apresentadas inovações tecnológicas que podem ser implementadas nos sistemas de aquecimento de água.

## Introdução

O capítulo anterior apresentou várias possibilidades de aplicações da energia solar térmica e fotovoltaica, além de exemplos práticos implantados em diferentes países. Foram apresentadas as aplicações para geração descentralizada e conexão à rede para a tecnologia fotovoltaica e aplicações para a energia térmica envolvendo processos a baixa, média e alta temperaturas. Agora, vamos abordar algumas aplicações que envolvem tecnologias de aquecimento solar de água nos diferentes setores da sociedade.

O aquecedor solar térmico é utilizado principalmente para banho ou piscina nos setores residencial, industrial e de serviços. O gráfico da Figura 2.1 apresenta a participação destes diferentes setores no mercado de aquecedores solares, além de destacar o mercado de piscina em particular. Analisando este gráfico pode-se observar que o setor residencial é o principal mercado, sendo o restante dividido entre os setores de serviços (hotel, motel, hospital, creche, asilo etc.) e indústrias, onde se tem pouca penetração dessa tecnologia.

FIGURA 2.1. Mercado brasileiro de aquecedores solares por setor.



Fonte: Abrava, 2009.

## Residencial unifamiliar

O uso do aquecimento solar no setor residencial unifamiliar, especialmente nas famílias de médias e altas rendas, já está bastante difundido. Em muitas regiões do país as residências para famílias dessas classes já são projetadas prevendo a instalação de aquecedores solares de água, o que facilita a instalação e permite que se utilize corretamente a tecnologia de termossifão. Observe nas Figuras 2.2 e 2.3 exemplos de instalações em que foram previstas o uso de aquecedor solar desde a fase do projeto.



**FIGURA 2.2.** Os coletores apresentam perfeita integração arquitetônica no telhado, o conjunto está centralizado e instalado abaixo da torre de caixa de água fria.



**FIGURA 2.3.** Os coletores estão inseridos no telhado apoiados na estrutura principal do telhado, possibilitando que fiquem no mesmo alinhamento que as telhas.

## Residencial unifamiliar baixa renda

Outra área onde o uso do aquecimento solar vem crescendo é na habitação de interesse social (HIS). Atualmente mais de 40 mil casas de interesse social no Brasil usam aquecedores solares. Algumas residências foram projetadas prevendo a instalação de aquecimento solar de água, outras tiveram que sofrer adaptações antes de receber as partes que compõem o sistema.



**FIGURA 2.4.** Exemplos de sistemas de aquecimento solar em moradias de baixa renda.

**PROJETO CONTAGEM - CASO DE SUCESSO HIS**

Um exemplo é o Projeto Contagem (em MG), desenvolvido em parceria pela companhia elétrica de Minas Gerais (Cemig) e a companhia metropolitana de habitação (Cohab-MG), com incentivo da Eletrobras/Procel, para instalar aquecedores solares em 100 residências de um conjunto habitacional localizado no bairro Sapucaias, em Contagem (MG). Desde 2001 as contas de energia elétrica dessas residências são monitoradas, atingindo uma economia média de energia da ordem de 44%, o que resultou numa redução de aproximadamente R\$ 51,00 por família no pagamento mensal da “conta de luz”.

**Informações técnicas das casas com aquecimento solar**

Consumo de Energia por casa:	81 kWh/mês
Redução Consumo Energia:	44%
Tarifa de Energia:	R\$ 0,34418 kWh
Taxa Iluminação Pública	R\$ 3,63
Capacidade Emergencial	R\$ 1,32
Custo Médio Total:	R\$ 32,08/mês

Redução nas despesas familiares:  
R\$ 51,43/mês

**FIGURA 2.5.** Residências que participam do Projeto Contagem na região metropolitana de Belo Horizonte, MG.

Seguindo esses mesmos objetivos de redução do consumo de energia elétrica, outros exemplos foram implantados em conjuntos habitacionais pela Cemig e Light-Rio.



**FIGURA 2.6.** Retiro dos artistas e Formoso, Rio de Janeiro. Ambos os projetos contaram com a participação da Light-Rio.



**FIGURA 2.7.** São João Del Rei e Betim Retiro, Minas Gerais. Ambos os projetos contaram com a participação da Cemig-MG.

De um modo geral, pode-se dizer que as habitações de interesse social compõem um setor promissor no Brasil e, assim como no resto do mundo. Países como África do Sul, Jamaica, Chile e Venezuela, por exemplo, estão utilizando sistemas de reservatório compacto com capacidade de armazenagem de 130, 180 e 200 litros de água quente por dia em seus projetos de habitação de interesse social (HIS).

## Residencial multifamiliar

O aquecimento de água para habitações multifamiliares ou prédios é um setor pouco explorado na maioria das cidades brasileiras, com exceção de Belo Horizonte (MG), considerada a capital solar brasileira. A exploração desse mercado surgiu na década de 1970 e continuou crescendo nos anos seguintes, atingindo no ano de 2008, a marca de 2.000 edifícios com sistemas de aquecimento solar de água.



FIGURA 2.8. Belo Horizonte (MG), capital solar do Brasil.

Diferentemente do que está sendo proposto para outras cidades brasileiras, essa conscientização dos construtores e arquitetos mineiros não aconteceu por imposição legal, pois nunca houve obrigatoriedade de instalação naquele município, ao contrário, até o ano de 2007 foi cobrada uma taxa extra no IPTU para as residências que tivessem aquecedores solares. A grande responsável por incentivar o uso de aquecedores solares nos edifícios de Belo Horizonte foi a Cemig, que no início da década de 1970 e ao longo de muitos anos, forneceu subsídios financeiros para a compra de parte dos equipamentos. Essa política, comum nos EUA, Alemanha e outros países da Europa, é chamada pela denominação inglesa de *rebate*. Programas como este, conhecidos por gerenciamento da demanda, envolvem soluções de compromisso entre a concessionária de energia elétrica e o consumidor, pois ambos interagem durante a execução do programa.

Atualmente a única cidade do país que hoje tem desconto no IPTU é Campina Grande, na Paraíba. Quem usa aquecedor solar em Campina Grande tem 15% de desconto no IPTU durante cinco anos. Se o equipamento for fabricado por indústrias da Paraíba.

Com a intenção de mudar o cenário referente ao mercado de aquecedores solares no setor residencial, desde 2005, o projeto Cidades Solares tem motivado alterações nos códigos de obras municipais de diferentes cidades, mostrando as vantagens ambientais, sociais e econômicas referentes ao uso dessa tecnologia em novas edificações.

No caso do programa implantado pela Cemig, o objetivo era diminuir, ou eliminar, a presença do chuveiro elétrico no período de máxima demanda diária, a ponta de demanda do sistema elétrico, substituindo-o por um equipamento que não consumisse energia elétrica, ou na pior das hipóteses, fosse ligado fora do período da ponta. Com essa medida, concessionária e consumidores, ganham, os consumidores além de não precisar alterar seus hábitos de banho, economizam energia elétrica, a concessionária não precisa ampliar a potência instalada para atender a ponta. Podendo impactar até mesmo em menor investimento de infraestrutura (Geração, Transmissão, Distribuição).

Essa medida adotada pela Cemig faz parte de uma gestão de demanda que as concessionárias de energia elétrica costumam adotar para gerenciar sua curva de carga ao longo dia. O gerenciamento da demanda considera que é menos oneroso à concessionária subsidiar a compra dos aquecedores solares do que investir na ampliação de sua potência instalada para atender a demanda no período de ponta.

Mesmo em regiões onde não há mais o incentivo da Cemig, as construtoras, projetistas e arquitetos, seguem projetando suas edificações prevenindo o uso de sistemas de aquecimento solar central, pois consideram essa tecnologia um diferencial para a venda do imóvel, uma vez que proporciona economia de energia elétrica ao morador.

Durante esses mais de 30 anos, empresas revendedoras, instaladores e projetistas que atuaram em projetos de aquecedores solares aprenderam bastante e muitos projetos foram, e estão, sendo desenvolvidos visando integrar os coletores solares e os reservatórios na cobertura dos prédios, permitindo o máximo de aproveitamento de sua área útil.

**FIGURA 2.9.** Exemplos de projetos arquitetônicos bem elaborados garantem que a cobertura mantenha áreas de lazer, como quadra de tênis e piscinas.



**FIGURA 2.10.** Uma das soluções para não perder a cobertura nos prédios é a montagem dos coletores solares em planos inclinados.



## Projetos para distribuição de água quente

Historicamente o aquecedor solar foi considerado um complemento de luxo para a residência multifamiliar, cujo custo inviabilizava sua aplicação em habitações populares. Com o desenvolvimento tecnológico, vêm surgindo projetos possíveis de serem implantados, evitando desnecessárias adaptações ou reformas por parte do usuário final. Somado a isso algumas cidades brasileiras estão alterando seu código de obras e passando a exigir que instalações residenciais novas ou reformadas disponibilizem tubulações para aquecimento de água quente, além da opção da tubulação do tradicional chuveiro.

Os sistemas multifamiliares residenciais podem ser projetados para distribuir a água quente de diferentes maneiras, sendo as mais usuais o sistema individual e o sistema central. A opção por um dos projetos dependerá das características do edifício, espaço disponível no interior do apartamento, na cobertura, do padrão do empreendimento etc.

### Sistema individual

O sistema individual é composto por um aquecedor solar compacto para cada morador e um tubo de água quente para cada apartamento. A água é pré-aquecida no sistema individual de aquecimento solar de cada apartamento e distribuída para consumo nas unidades. Cada apartamento conta com um sistema de aquecimento auxiliar, que fornece mais calor à água para atingir a temperatura final de consumo quando necessário. O consumo é controlado por um hidrômetro individual para cada apartamento e cada morador paga sua conta.

### Sistema coletivo

Os sistemas coletivos podem ter variações quanto à forma de acumulação, que pode ser central ou individual, e quanto ao aquecimento auxiliar que pode ser central ou individual. Nessa configuração o principal problema é o aquecedor a gás individual que muitas vezes apresenta custo inicial alto e necessita de pressão mínima de acionamento.

### Sistema com acumulação e apoio centrais

No sistema central com armazenamento e apoio coletivo, o aquecedor solar, o reservatório e o aquecimento auxiliar – aquecedor a gás, elétrico ou bomba de calor - ficam na laje ou cobertura da edificação. A água quente, já na temperatura final, é distribuída para o consumo dos apartamentos. Como todo o sistema de aquecimento é coletivo, o consumo de energia elétrica ou de gás do sistema de apoio é cobrado do condomínio, e dividido entre os condôminos.

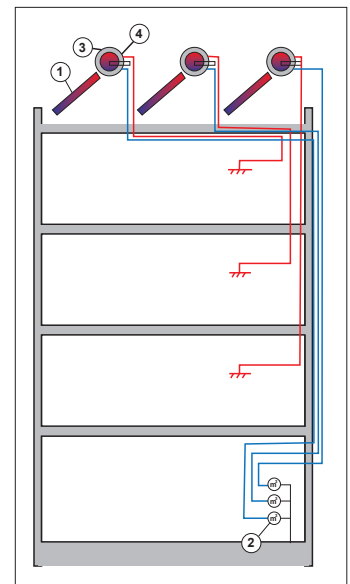
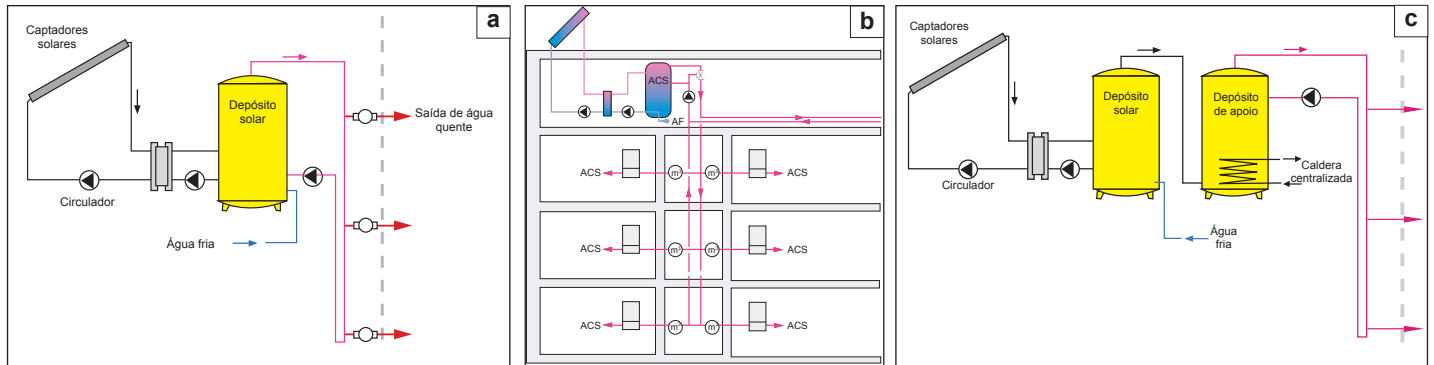


FIGURA 2.11. Detalhes dos componentes de um sistema individual: coletores, reservatórios e medidores de consumo de água.

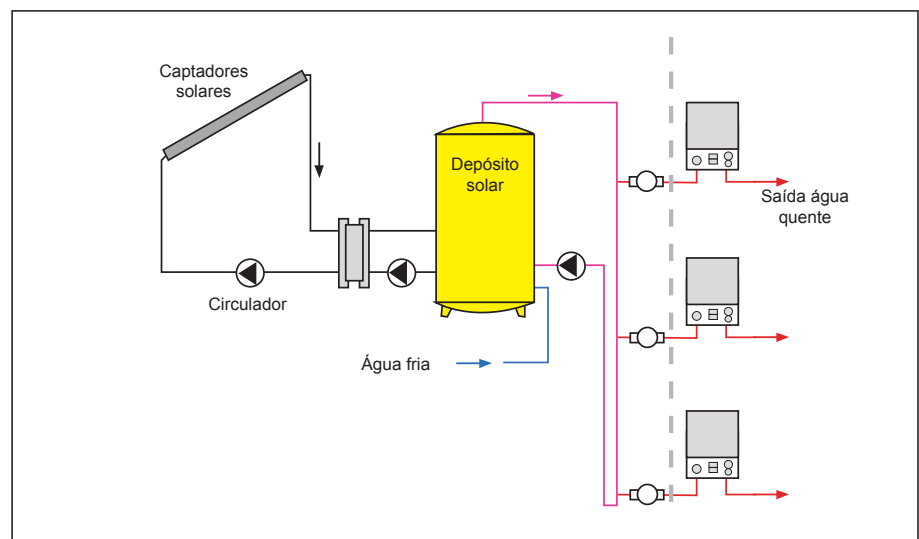
Outra possibilidade é a medição no hidrômetro da rede de água quente de cada apartamento, possibilitando o rateio da cobrança entre os condôminos.



**FIGURA 2.12.** Em (a), detalhe dos componentes: coletor e acumulador instalados na laje. Em (b), detalhes das estruturas da obra e tubulação do sistema com acumulação e apoio coletivo. Em (c), sistema com acumulação e apoio coletivo com trocador de calor.

### Sistema com acumulação central e apoio individual

No sistema com acumulação central e apoio individual, a placa coletora e o reservatório são comuns a todos os apartamentos, porém sistemas auxiliares de aquecimento são instalados em cada apartamento. A água é pré-aquecida no sistema central de aquecimento solar do condomínio e armazenada no reservatório central; como o circuito é aberto ela é distribuída pela tubulação de cada apartamento e quando necessário aquecida por um sistema auxiliar individual, fornecendo calor suficiente para atingir a temperatura ideal para consumo.

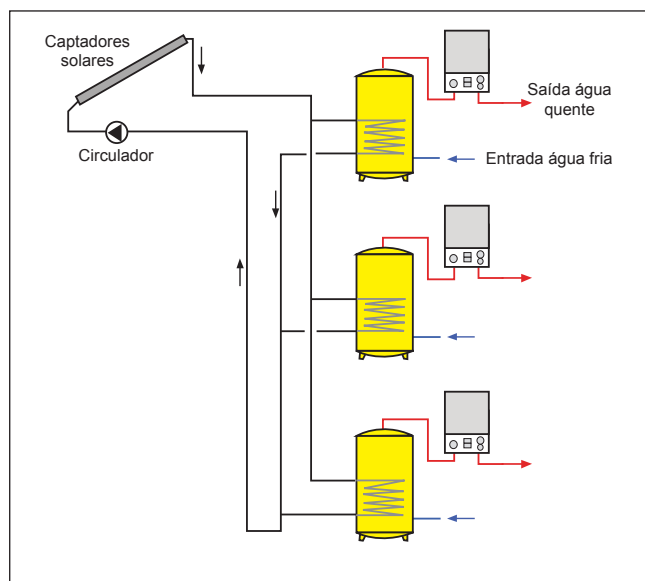


**FIGURA 2.13.** Detalhe dos componentes: coletor e reservatório coletivo e aquecimento individual nos apartamentos.

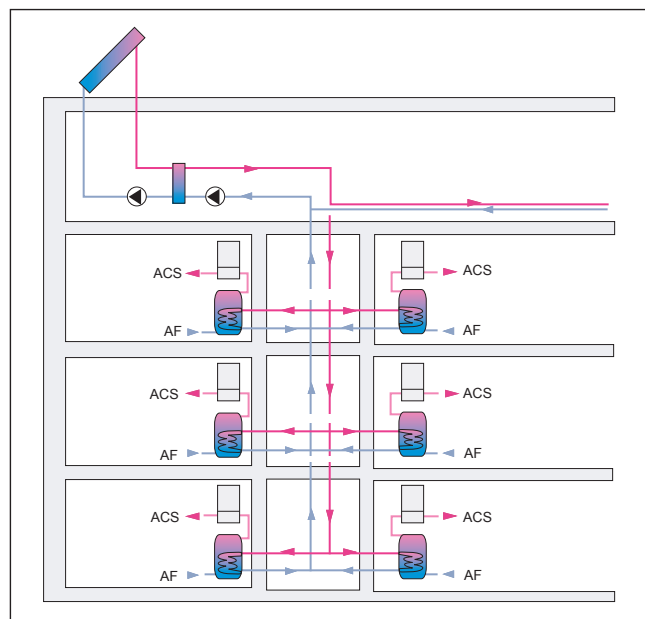


### Sistema com acumulação e apoio individuais

No sistema central com acumulação e apoio individuais, somente a placa coletora é comum a todos os apartamentos. Cada apartamento tem seu reservatório e aquecimento auxiliar. Nessa configuração os apartamentos que utilizam água quente durante o período da tarde, aproveitam mais o pré-aquecimento solar e consomem menos energia do sistema de aquecimento auxiliar, reduzindo o gasto com energia elétrica ou gás. Por outro lado, os que usam mais água quente no período da manhã, quando o pré-aquecimento é menos eficiente, terão um consumo maior com o aquecimento auxiliar.



**FIGURA 2.14.** Detalhe dos componentes: coletor instalado na laje e reservatório e aquecimento auxiliar no interior do apartamento.

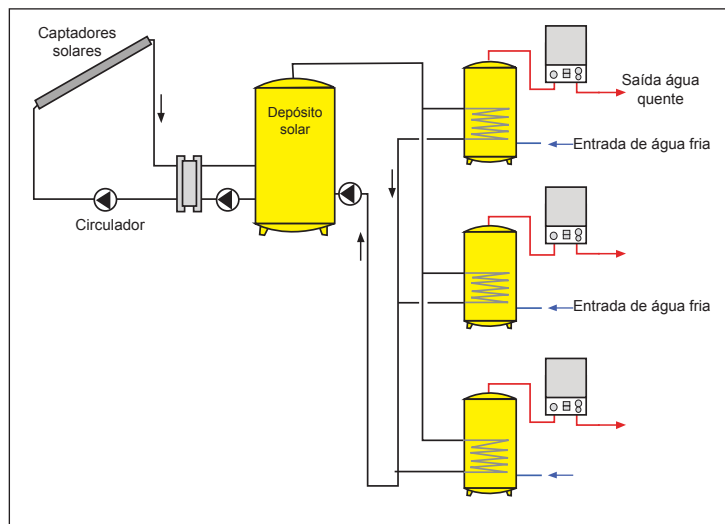


**FIGURA 2.15.** Detalhes da estrutura da obra e tubulação. Observe que todos os reservatórios estão em paralelo.

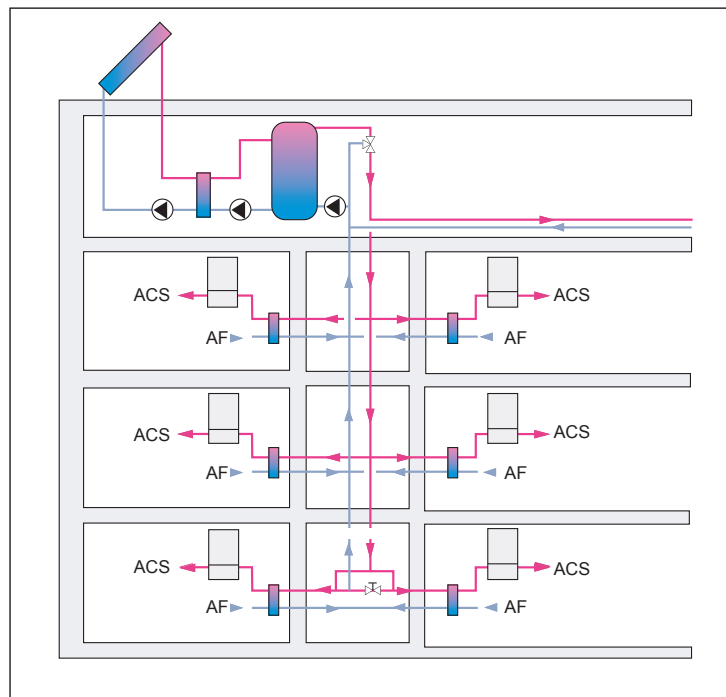
### Sistema com acumulação central e apoio individual

No sistema de acumulação central e apoio individual, a placa coletora e o reservatório são comuns a todos os apartamentos. Cada unidade possui um aquecedor auxiliar para elevar a temperatura da água ao nível desejado pelo usuário, podendo ou não existir um reservatório térmico individual em cada apartamento. A água pré-aquecida do sistema central de aquecimento solar é armazenada no reservatório central. A partir do reservatório alimenta todos os apartamentos.

**FIGURA 2.16.** Detalhe dos componentes: coletor e reservatório instalados na laje e aquecimento auxiliar e reservatório térmico no interior do apartamento.



**FIGURA 2.17.** Detalhes da estrutura da obra dos componentes: coletor instalado na laje e reservatório no andar inferior e o aquecimento auxiliar no interior do apartamento.



## Setor de serviços

O setor de serviços que utiliza água quente abrange academias, clubes, motéis e hotéis, e outros de menor demanda. Estima-se que 20% do faturamento de um hotel é gasto com o aquecimento de água, dessa forma a instalação de equipamentos de sistema solar ajudam a reduzir significativamente os custos de hotelaria. Observe nas Figuras 2.18 e 2.19 alguns exemplos.



**FIGURA 2.18.** Hotel em Porto Seguro, Bahia. Aquecedores solares instalados em diferentes posições.



**FIGURA 2.19.** Senac de Santo Amaro, São Paulo. Sistema com capacidade de 6000 litros.

## Setor industrial

O setor industrial utiliza água aquecida para cozinhas, banho dos funcionários ou ainda como fonte de calor em processos industriais. Nesse segmento as temperaturas podem variar entre 60 °C a 220 °C dessa forma são recomendados coletores planos de alto desempenho, coletores de vácuo com ou sem concentradores.

Observe nas Figuras 2.20 e 2.21 alguns exemplos de instalações em indústrias nacionais.



**FIGURA 2.20.** Fábrica da Natura, Cajamar, São Paulo.



**FIGURA 2.21.** Parque industrial da Petrobrás, Duque de Caxias, Rio de Janeiro.

Observe nas Figuras 2.22 a 2.24 alguns exemplos de instalações industriais em outros países.



FIGURA 2.22. Fábrica Contank, Espanha.



FIGURA 2.23. Fábrica do grupo Bimbo, México.



FIGURA 2.24. Fábrica do grupo NASR, Egito. Nessa indústria utilizam-se espelhos parabólicos ao invés de coletores planos.

Na Tabela 2.1, alguns exemplos de processos industriais que utilizam coletores solares no aquecimento de água.

TABELA 2.1.

SETOR	PROCESSOS	TEMPERATURA (°C)
Cerveja e malte	Fervura do mosto	100
	Limpeza do vasilhame	60
	Arrefecimento	90
	Secagem	60
Laticínios	Pasteurização	62 - 85
	Esterilização	130 - 150
	Secagem	n.d.
Alimentos em conserva	Esterilização	110 - 125
	Pasteurização	<80
	Cozimento	70 - 98
	Escaldamento	95 - 100
	Branqueamento	<90
Carne	Lavagem, esterilização, limpeza, cozimento	<90 90-100
Vinho e bebidas	Limpeza do vasilhame	60 - 90
	Arrefecimento	85
Indústria têxtil (incluindo lanifícios)	Lavagem, branqueamento, tinturaria, cozimento	<90 140 - 200
Indústria de automóvel	Secagem de pinturas, desengorduramento	160 - 220 35 - 55
Indústria do papel	Polpa de papel: Cozimento	170 - 180
	Caldeira da água de alimentação, branqueamento, secagem	<90 130 - 150 130 - 160
Curtumes	Aquecimento de água para processos de tratamento e secagem	Vapor a 165 - 180
Indústria da cortiça	Secagem, cozimento da cortiça, outros	40 - 155

Nota: N.D. = Não Disponível

## Aquecimento de piscina

O aquecimento solar de piscinas difere dos projetos de sistema de água quente para edificações apresentados anteriormente por dois motivos: não necessitam de reservatórios térmicos (a própria piscina é o reservatório) e utilizam coletores do tipo aberto. Esse tipo de coletor pode ser instalado no telhado ou no solo sem necessidade de estruturas metálicas para mantê-los inclinados e direcionados para o Norte. Outra questão interessante é que a tubulação que interliga os coletores à piscina pode ser subterrânea, pois a terra funciona como um excelente isolante térmico.

A área de coletores a ser instalada pode ser estimada em função da área da superfície da piscina. Em Brasília, por exemplo, a relação é 1:1, no Piauí, onde o clima é quente, pode-se reduzir 30% em relação à área da piscina, porém em Porto Alegre estima-se acrescentar 60% de coletores para compensar o clima frio. Em termos de mercado Brasília é a cidade que mais usa aquecedor solar, seguida por Belo Horizonte.

Observe nas Figuras 2.25 a 2.27 exemplos de instalações em piscinas.



**FIGURA 2.25.** Associação do pessoal da Caixa Econômica Federal, Belo Horizonte, Minas Gerais. Observe que as placas estão orientadas em uma única direção e área instalada de coletores é menor que a área da piscina.



**FIGURA 2.26.** Esporte Clube Sírio, Belo Horizonte, Minas Gerais. Observe que as placas estão orientadas para diferentes regiões e a relação entre área da piscina e área instalada de coletores é praticamente 1:1.



**FIGURA 2.27.** Palácio da alvorada Brasília, Distrito Federal. Observe que as placas estão apoiadas no chão e a relação entre área da piscina e área instalada de coletores é praticamente 1:1.

### CONTRATO DE PERFORMANCE

Para o aquecimento de piscinas existe um modelo de negócio chamado de contrato de performance que pode ser sugerido aos proprietários de clubes ou empresas, pois apresenta vantagens econômicas interessantes. Esse negócio é oferecido por empresas de serviço de energia – ESCO –, do inglês, *Energy Services Company*, que vendem serviços de otimização energética para os consumidores. A princípio fazem uma avaliação do consumo atual de energia e apresentam um projeto para reduzir esse consumo. Um exemplo interessante é o Minas Tênis Clube 2, em Belo Horizonte. O complexo de piscinas desse clube era todo aquecido com resistências elétricas. Uma ESCO apresentou um projeto para instalar aquecedores solares e substituir as resistências por uma bomba de calor<sup>1</sup>. A ESCO financiaria o projeto e utilizaria parte da economia obtida no custo de operação por um período de alguns anos para recuperar o investimento inicial, seus custos e lucro.



**FIGURA 2.28.** Minas Tênis clube 2, Belo Horizonte.

Em alguns casos, principalmente quando se trata de uma obra nova, é difícil estimar o consumo real de energia elétrica, dificultando para a ESCO determinar o tempo de retorno do investimento. Uma possibilidade para chegar a um valor aproximado seria uma simulação no funcionamento do sistema: coloca-se o sistema solar em funcionamento, espera-se a água aquecer e então se desliga o sistema solar. Após a água esfriar, liga-se o sistema de apoio até que a água aqueça novamente. Com base na energia gasta pelo sistema de apoio para aquecer esse volume de água é possível calcular a parcela de energia fornecida pelo sistema solar equivalente a energia fornecida pelo sistema de apoio (ex.: eletricidade) possibilitando estimar o tempo de retorno.

## Integração arquitetônica

Pensando em reduzir o consumo de energia, muitos países da Europa têm adotado a integração arquitetônica nas fachadas das edificações para aquecer água e ar ou para gerar energia elétrica. Alguns projetos são feitos com base nos modelos de coletores disponíveis no mercado, outros necessitam de coletores fabricados com dimensões diferenciadas para atender à arquitetura da obra.

Os projetos que visam à integração arquitetônica da energia solar valorizam principalmente a utilização do telhado e das fachadas, pois ambos tem um grande potencial de produção de energia e podem reduzir a carga térmica da edificação. As melhores oportunidades para economizar energia e água são obtidas ainda na fase de design e projeto das edificações. É geralmente neste estágio que decisões fundamentais são tomadas no que diz respeito ao rendimento, funcionamento e escolha dos componentes a serem utilizados.

1. A bomba de calor é um equipamento que retira o calor existente no ambiente e transmite essa energia para um sistema de aquecimento por meio de um circuito fechado de frio (funcionamento parecido com o sistema de refrigeração). Esse processo contínuo pode ser utilizado para transferir energia térmica para um sistema de aquecimento de água.

A maior parte dos projetos preveem a instalação dos aquecedores solares nos telhados ou por meio de estruturas inclinadas na latitude da cidade, pois instalações verticais na fachada apresentam menor rendimento.

Uma forma de melhorar o rendimento de projetos instalados nas fachadas é associar tecnologias que diminuam a entrada de calor ou a radiação direta no interior das edificações. Um exemplo é a instalação de persianas solares que, por meio de um sistema mecânico, acompanham o movimento do Sol durante o dia. Além da tecnologia de aquecimento de água, existem outras relacionadas à geração de energia elétrica. O uso de tintas ou películas especiais na fachada ou na cobertura dos prédios, além de reduzir a absorção de calor, possibilita ganho em eficiência energética. Observe nas fotos a seguir alguns exemplos de arquitetura solar em fachadas e telhados de edificações.



**FIGURA 2.29.** Arquitetura solar na fachada. Alemanha. Sistema para aquecimento de água com capacidade diária de 3000 litros de água.



**FIGURA 2.30.** Arquitetura solar na fachada instalados em apartamentos na cidade de Esslingen, Alemanha. Sistema para aquecimento de água com 282 m<sup>2</sup> de coletores.



**FIGURA 2.31.** Os coletores solares estão apoiados sobre o telhado aproveitando sua inclinação.



**FIGURA 2.32.** Os coletores estão apoiados na fachada do edifício e no telhado formando uma conjunto de baterias. As distâncias entre as baterias de coletores devem levar em conta a projeção da sombra dos coletores.


Observe nas fotos a seguir mais alguns exemplos de arquitetura solar em fachadas e telhados de edificações.



**FIGURA 2.33.** Arquitetura solar no telhado. Alguns coletores solares foram feitas no formato triangular, permitindo a integração aos cantos do telhado.



**FIGURA 2.34.** Arquitetura solar em estádios de futebol. Vistas aéreas dos coletores solares instalados sobre a cobertura das arquibancadas.



Cor	$\alpha_s$
Preta:	0.94
Azul:	0.83
Vermelha:	0.75
Cinza:	0.27
Verde:	0.81

Os coletores podem ser cobertos com vidros coloridos. A cor e a absorvidade da tinta, determinam o desempenho do coletor: quanto menor a absorvidade pior é o rendimento do coletor.



**FIGURA 2.35.** Arquitetura solar no telhado e fachadas, França. Observe que a inclinação evita o acumulo de neve e absorve as radiações solares difusas e diretas.



**FIGURA 2.36.** Arquitetura solar na fachada, Áustria. Observe que os coletores solares estão na fachada. Esse sistema combina duas funções: aquecer o ar e a água.



**FIGURA 2.37.** Arquitetura solar no telhado, Alemanha. Os coletores foram feitos por encomenda no tamanho exato para cobrir o telhado. Nesses casos os coletores tem a função de aquecer água e isolar a edificação, para que não perca calor de dentro para fora.

**FIGURA 2.38.** Planta de energia solar integrada com planta de biomassa.









## O mercado brasileiro e mundial ▷▷ 3

Neste tópico as informações referentes ao mercado mundial e nacional de aquecimento solar serão complementadas, identificando os principais atores do mercado, as tecnologias mais utilizadas e as políticas e diretrizes de desenvolvimento de mercado e mecanismos de criação de cultura solar.

## Mercado internacional

Dados de 2007 da IEA, em inglês, *International Energy Agency*, demonstram que o mercado internacional para aquecedores solares abrange 48 países, somando 182 milhões de metros quadrados de área de coletores instalada. Esse montante mundial de coletores representa 127,8 GW de potência térmica com capacidade de geração aproximada de 70 mil GWh de energia. Toda essa energia gerada por meio de fonte renovável é responsável pela redução de 35 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano que deixam de ser emitidas em termoelétricas.

Um estudo realizado pela *European Solar Thermal Industry Federation* analisou o mercado de cada país e observou um comportamento bastante variado. A exemplo do que acontece em outros países, em várias cidades da China a instalação do aquecedor solar é obrigatória, ocasionando o surgimento do mercado em diferentes segmentos. Cerca de 75% dos sistemas são instalados em residências unifamiliares, 20% em edificações multifamiliares e 5% em edificações comerciais e industriais, sendo a maioria com sistema de tubos de vácuo. Existem em torno de 1000 empresas que fabricam e vendem aquecedores solares, sendo as 33 maiores responsáveis por 50 mil empregos diretos e 100 mil empregos na comercialização, instalação e serviços pós-venda.

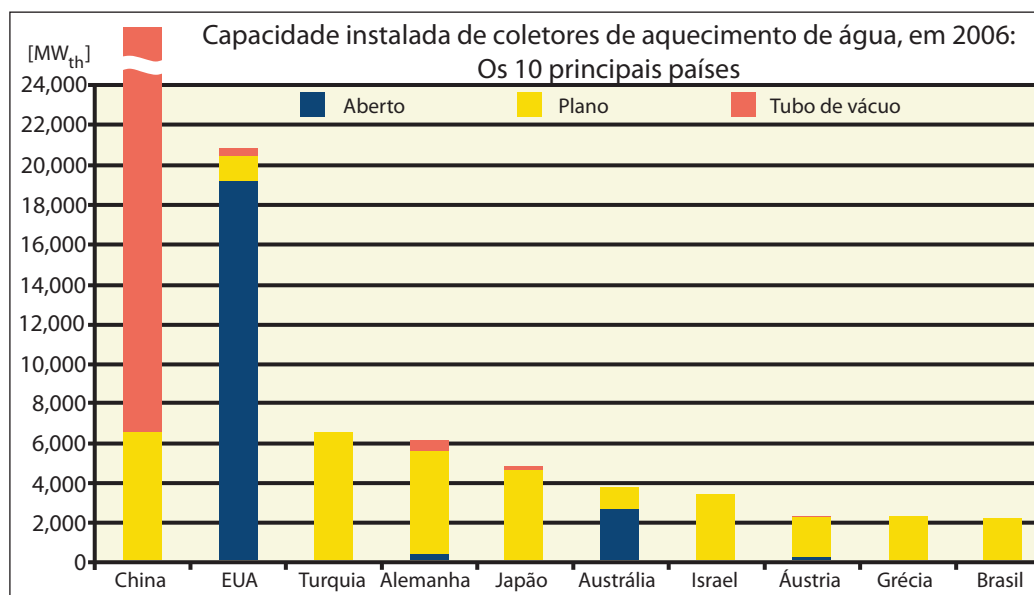
Os EUA vêm em segundo lugar com uma participação 60% menor que a China. Dos 30 milhões de metros quadrados instalados, 90% é para aquecimento de água para piscina. O mercado de coletores planos fechados é pequeno, cerca de 25 mil metros quadrados por ano. Para os próximos anos estima-se um crescimento do mercado para aquecimento de água de banho, pois o governo norte-americano liberou verba para ser utilizada na compra e instalação de aquecedores solares para banho. Na Califórnia o governador Arnold Schwarzenegger aprovou um programa de substituição de gás natural pelo aquecedor solar, sinalizando que os EUA tende a ser o maior mercado de aquecedor solar nos próximos anos.

Os demais países que apresentam área de coletores solares instalada acima de 1 milhão de metros quadrados são a Turquia, Alemanha, Japão, Austrália, Israel, Grécia, Áustria, Brasil, Taiwan e Índia, conforme ilustra a Tabela 3.1.

TABELA 3.1. Mercado mundial de aquecedores solares em 2007.

PAÍSES	ÁREA COLETORA	PAÍSES	ÁREA COLETORA
	m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup>
CHINA	75.000.000	CANADÁ	723.124
ESTADOS UNIDOS	29.141.546	HOLANDA	620.400
TURQUIA	9.000.000	ITÁLIA	533.000
ALEMANHA	7.401.000	DINAMARCA	350.240
JAPÃO	6.999.449	PORTUGAL	285.800
AUSTRÁLIA	5.150.000	SUÉCIA	278.825
ISRAEL	4.800.000	REINO UNIDO	201.160
GRÉCIA	3.047.200	TUNÍSIA	143.000
ÁUSTRIA	3.008.612	POLÔNIA	122.740
BRASIL	2.700.468	BÉLGICA	101.783
TAIWAN	1.425.700	NOVA ZELÂNDIA	93.950
ÍNDIA	1.250.000	BARBADOS	77.232
FRANÇA	913.868	REPÚBLICA THCECA	65.550
ESPANHA	796.951	HUNGRIA	37.700
CHIPRE	784.000	ALBÂNIA	32.680
ÁFRICA DO SUL	781.500	NORUEGA	13.500
MÉXICO	728.644	FINLÂNDIA	10.380

Fonte: Abrava, 2008.



Fonte: Abrava, 2008.

FIGURA 3.1. Principais países que utilizam coletores solares em 2006. Observe o quanto isso representaria em economia se a área de coletores fosse convertida em potência.

Outra análise do mercado mundial possível de ser feita, e útil para analisar as chances de encontrar possibilidades de crescimento, é avaliar a penetração per capita dos aquecedores solares. Para isso, divide-se a área coletora instalada ou a potência térmica dos coletores pelo número de habitantes do país. Analisando os resultados per capita por potência térmica observa-se que os líderes de área instalada China e EUA ficam abaixo dos 10 primeiros e bem distantes do primeiro e segundo lugares: Chipre e Israel, além da Áustria que mesmo tendo condições climáticas desfavoráveis ocupa a terceira posição em potência térmica per capita.

**FIGURA 3.2.** Vista aérea mostrando uma das cidades de Chipre. Estima-se que 95% das residências utilizam aquecedores solares, principalmente os modelos compactos de 200 ou 300 litros.

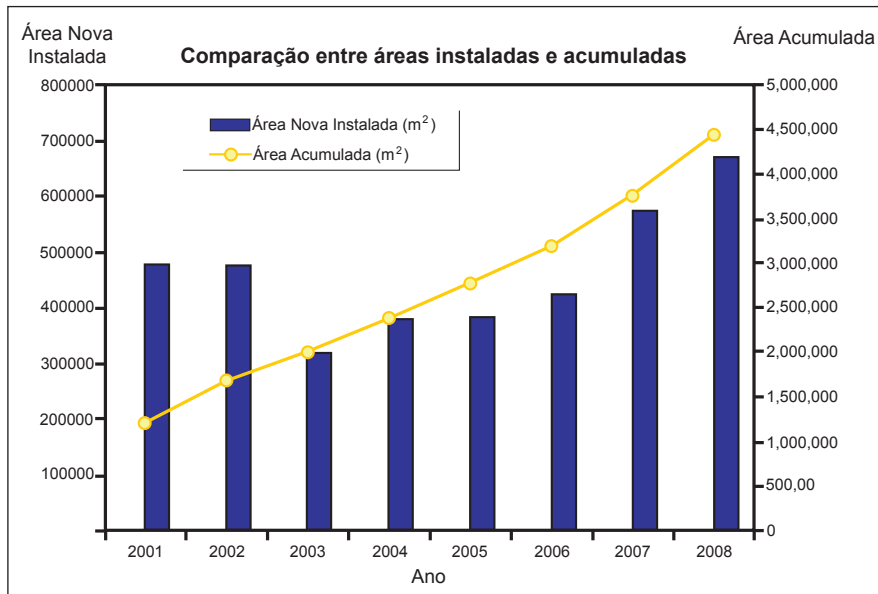


**FIGURA 3.3.** Jack do Reino Unido desenhou fumaça saindo pela chaminé. Alexandre do Chipre desenhou coletor solar no telhado.

Atualmente o Brasil apresenta 10 kW de potência térmica para cada mil habitantes. Estima-se que nos próximos quinze anos esse número venha a ser multiplicado por 20, atingindo valores próximos aos da Áustria. Para atingir essa meta ambiciosa, além dos programas de governo e do trabalho realizado pelo projeto Cidades Solares, há também a necessidade de implementar o uso da energia solar como uma cultura de massa, a exemplo do que é feito em alguns países dos continentes europeu e asiático. Alguns países desses continentes iniciam um trabalho de conscientização com os alunos do Ensino Infantil acreditando que essas crianças se tornem agentes multiplicadores em suas casas e comunidades e, no futuro, sejam os tomadores de decisão destas sociedades. Veja nas ilustrações da Figura 3.3 uma atividade desenvolvida em duas escolas, uma no Chipre e outra no Reino Unido, em que os professores pediram às crianças que desenhassem suas casas.

## Mercado brasileiro

No Brasil, a área instalada de coletores solares, em 2008, era de 4,4 milhões de metros quadrados. A partir de 2007 e até meados de 2009, tem-se observado um crescimento acima de 20%, representando o dobro do crescimento observado nos dois anteriores a 2007. Observe o gráfico da Figura 3.4 a relação entre área acumulada e área instalada no período de 2001 a 2008.

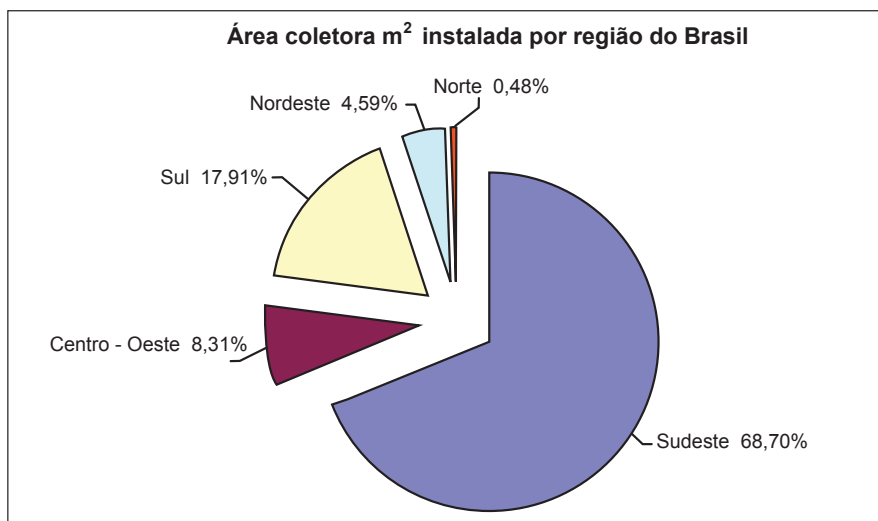


Fonte: Abrava, 2008.

Para afastar a ameaça das mudanças climáticas o mundo precisa reduzir em 50% as emissões de gases de efeito estufa até o ano 2050. No Brasil, lei aprovada em 2009 obriga uma redução de emissões de 37% até 2020. Os sistemas de aquecimento solar têm papel relevante a cumprir para que as metas nacionais e globais sejam atingidas. A adoção massiva destes sistemas no Brasil pode reduzir massivamente a demanda nos períodos de pico do sistema elétrico, reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa do setor.

FIGURA 3.4. Mercado Brasileiro de aquecedores solares. Área instalada e área acumulada no período de 2001 a 2008.

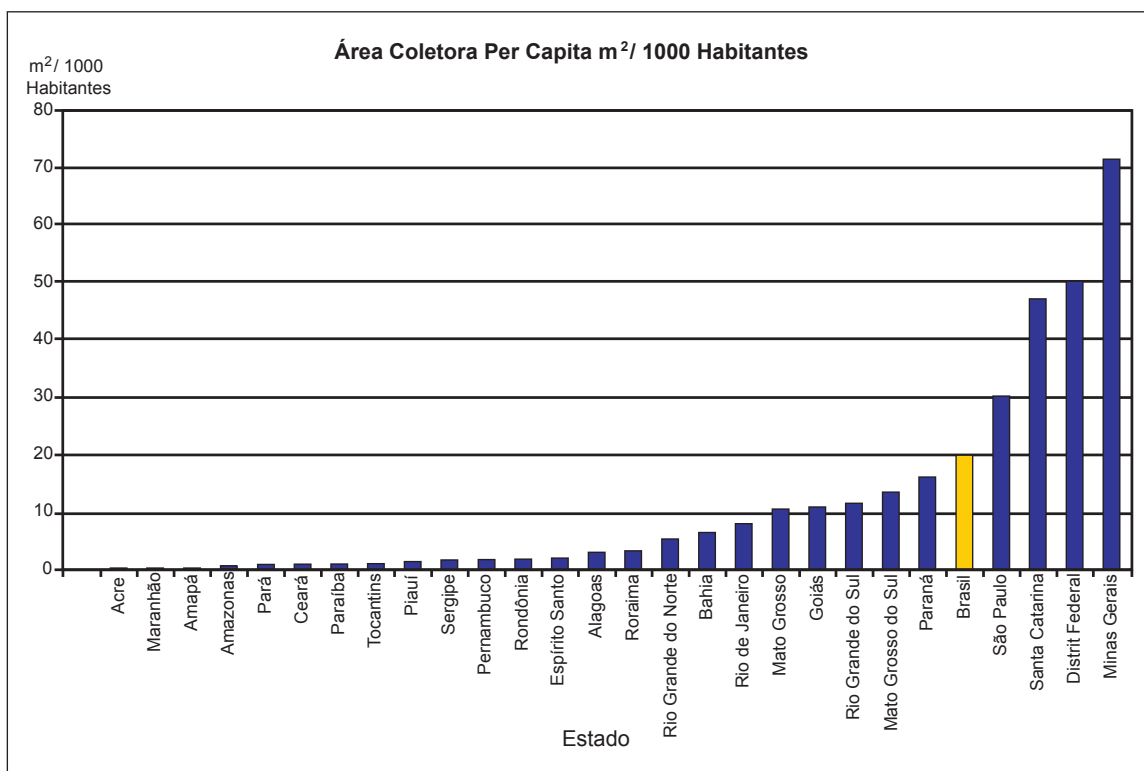
A Figura 3.5 apresenta a distribuição por regiões brasileiras, da área instalada em 2008. Observe que a região Sudeste tem praticamente 70% dos coletores e os 30% restantes e distribuído na região Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte.



Fonte: Abrava, 2008.

FIGURA 3.5. Área instalada de coletor por região no Brasil.

Refinando um pouco mais a análise do mercado é possível avaliar a área per capita por estado. Observe no gráfico da Figura 3.6 que o estado de Minas Gerais é o líder, com aproximadamente 70 metros quadrados para cada mil habitantes. O Distrito Federal aparece em segundo, seguido de Santa Catarina e São Paulo. Esses quatro estados são os únicos que estão acima da média brasileira, que chega a 20 m<sup>2</sup> para cada mil habitantes, os demais estados estão abaixo da média, e notadamente os estados da região Norte são os que apresentam o menor potencial de penetração.



Fonte: Abrava, 2008.

**FIGURA 3.6.** Penetração por estado.

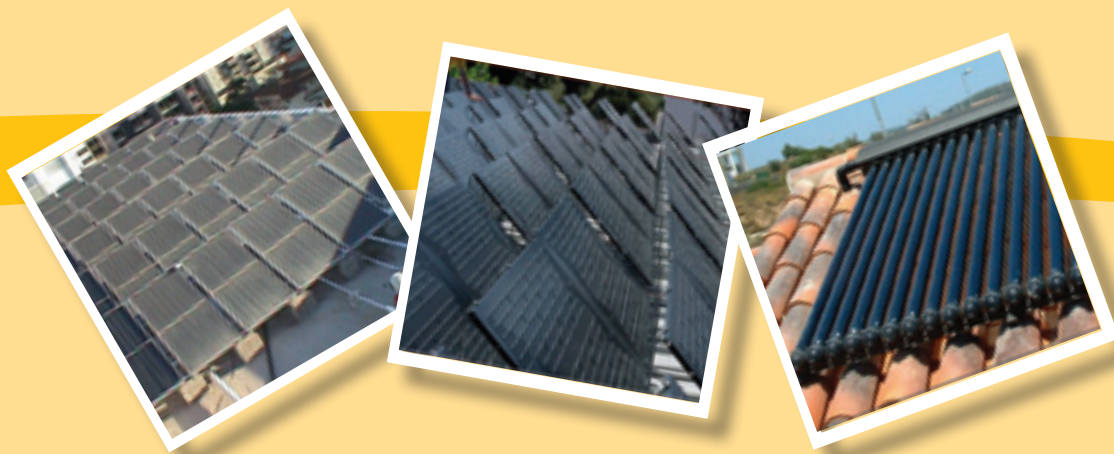
Pesquisa publicada pelo Vitae Civilis em 2006 apontava um relativo desconhecimento da tecnologia de aquecimento solar entre as barreiras para o desenvolvimento rápido do mercado solar no Brasil. Outras barreiras listadas foram o custo de implantação dos sistemas, taxas de juro ao consumidor elevadas e legislações municipais de construção que muitas vezes obrigam o empreendedor a investir em tecnologias energo-intensivas como o aquecimento elétrico, o GLP e o gás natural.

Atualmente 875 mil domicílios brasileiros têm aquecedor solar, porém isso representa somente 1,78% dos domicílios, enquanto no Chile 95% das residências possuem o equipamento e em Israel 90% dos domicílios têm SAS. Alguns estados como Bahia, Rio de Janeiro, Mato Grosso e Goiás, motivados por ações políticas, são os próximos candidatos ao crescimento do mercado, pois estão com a lei de obrigatoriedade de instalação dos aquecedores solares em tramitação na maior parte de suas mais importantes cidades.









## Entendendo um sistema de aquecimento solar ▷▷ 4

Neste tópico será apresentado o sistema de aquecimento solar de água e todos os subsistemas que o compõe, com base na norma brasileira NBR 15569. Serão analisados os principais componentes da instalação de aquecimento solar (coletores e reservatórios) suas funções além dos principais materiais utilizados nos processos de fabricação.

## Premissas para um bom projeto de uso de energia solar

Um dos pontos fundamentais para se desenvolver um bom projeto é conhecer a opinião do seu cliente sobre energia solar. Muitas vezes o consumidor não tem conhecimento do que seja um sistema de aquecimento solar e quais as vantagens e desvantagens que esse equipamento pode lhe oferecer. Essa desinformação não se restringe às classes menos favorecidas, mas está presente em todas as classes sociais, pois a mídia impressa ou digital dificilmente divulga informações que possam ser úteis para a formação da opinião das pessoas quanto ao uso dessa tecnologia.

Em 2009, mais de 20 cidades brasileiras já haviam implementado leis que tornaram obrigatório o aquecimento solar nas residências novas ou reformadas, além das 150 cidades com projeto de lei em andamento.

Após conquistar a simpatia e a confiança do cliente sobre as vantagens de se instalar um sistema de aquecimento solar é fundamental realizar um estudo prévio, de forma a avaliar a viabilidade técnica da instalação. O projeto de um sistema de aquecimento solar de água deve seguir as orientações da norma brasileira NBR 15569, que está em vigor desde o ano de 2008, a qual orienta sobre concepção, dimensionamento, instalação e manutenção de um projeto.

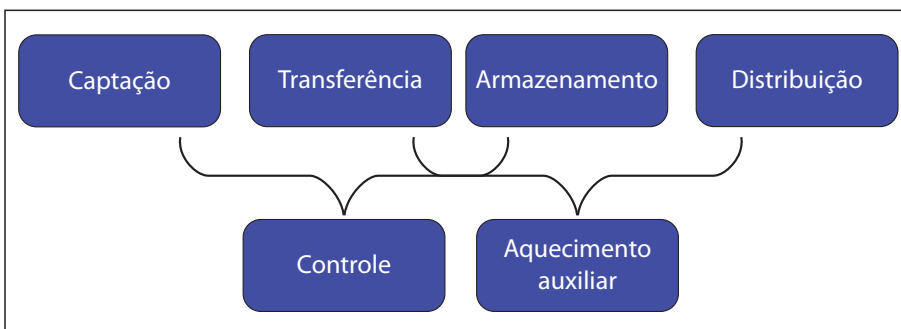
Estima-se que a vida útil do aquecedor solar seja de 20 a 25 anos, porém há relatos de casos que o sistema parou de funcionar em um ou dois anos, por erros de dimensionamento, instalação ou manutenção. Dessa forma, mesmo não sendo obrigatório um projeto nas instalações residenciais, recomenda-se aos projetistas e instaladores que sigam rigorosamente as orientações da Norma NBR 15569, pois é nas instalações residenciais onde se tem o maior número das reclamações.

Uma pesquisa coordenada pela PUC-MG constatou que existem atuando no mercado excelentes profissionais, mas há também muitos profissionais com pouca qualificação atuando no mercado. A pesquisa analisou mil instalações de aquecimento solar no Brasil, um dos resultados encontrados mostrou que obras instaladas trinta anos atrás estão em condições de funcionamento melhores que algumas feitas recentemente. Preocupada em manter a imagem das empresas de aquecedores solares a Associação Brasileira de Ventilação e Ar condicionado (Abrava) em parceria com a PUC-MG, há cinco anos montou uma iniciativa chamada “Rede Brasil de Capacitação”. A intenção era capacitar 5000 instaladores. Além dessa parceria a Abrava já treinou professores e forneceu gratuitamente bancadas para o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) de Brasília e de João Pessoa. Além desses dois estados, a Abrava pretende continuar com esse projeto de treinamento de professores e doação de bancadas em cidades que se inserirem no programa “Minha casa, minha vida”, prevendo a instalação de energia solar.

Mesmo tomando essas medidas quanto à qualificação dos profissionais, cada vez mais as empresas precisam oferecer diferenciais para serem lembradas de maneira positiva, buscando a excelência no atendimento, na instalação, manutenção e assistência técnica de suas instalações. Deve-se ter em mente que o setor de aquecimento solar está num momento de ascensão do mercado, e qualquer falha pode prejudicar a confiança que está sendo creditada por diferentes setores da economia.

## Sistema de aquecimento solar

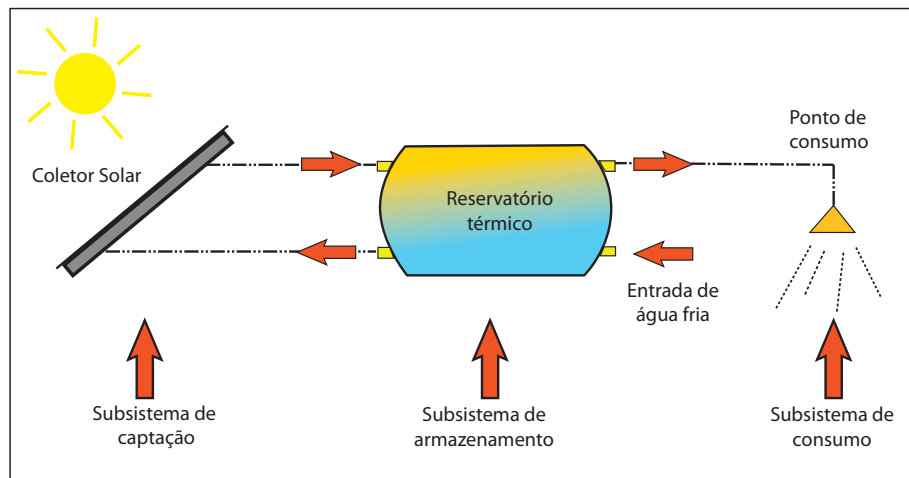
É possível simplificar o funcionamento de um sistema de aquecimento solar de água (SAS), considerando as etapas de: captação da energia solar; transferência da energia para o fluido; armazenamento da energia térmica e distribuição da água aquecida para o sistema. Nas etapas de captação, transferência e acumulação os coletores e o reservatório trabalham em conjunto e na etapa de distribuição os componentes fundamentais são as tubulações e os acessórios hidráulicos.



**FIGURA 4.1.** Fluxograma mostrando as principais etapas do processo de um SAS.

O aquecedor solar entra em funcionamento quando a energia solar radiante ou irradiante, luz visível e infravermelho, incidem sobre a superfície preta dos coletores. A energia absorvida pela placa transforma-se em calor e aquece a água que está no interior dos coletores. A água aquecida diminui sua densidade e começa a se movimentar em direção ao reservatório, dando início a um processo natural de circulação da água, chamado termossifão. Esse processo mantém o sistema em operação, enquanto houver radiação solar incidente sobre as placas ou até toda água do circuito atingir equilíbrio térmico.

FIGURA 4.2. Principais equipamentos utilizados nas etapas do processo.



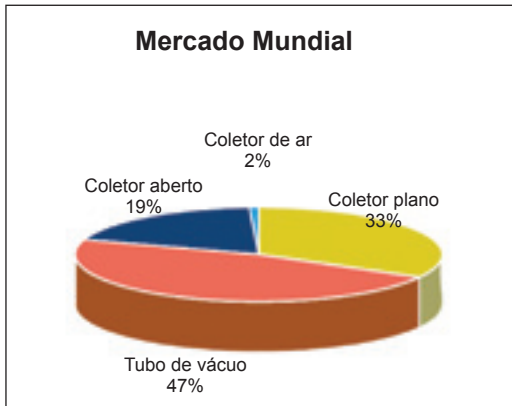
## Modelos de coletores solares

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define como sendo coletor solar todo dispositivo que absorve radiação solar incidente, transferindo-a para um fluido de trabalho, sob a forma de energia térmica. Atualmente existem quatro tipos principais de coletores solares utilizados para aquecer água e ar.

TABELA 4.1 . Principais coletores solares para aquecer água e ar.

TIPO DE COLETOR	COLETOR A AR	COLETOR PLANO	COLETOR PLANO COM CONCENTRADOR PARABÓLICO	TUBO À VACUO
Abreviatura	CA	CP	CPC	CTV
	<p>Cobertura de vidro</p> <p>Isolamento</p> <p>Absorvedor com canais de ar</p> <p>Caixa de coletor</p>	<p>Cobertura de vidro</p> <p>Isolamento</p> <p>Absorvedor com tubos para fluido</p> <p>Caixa de coletor</p>	<p>Cobertura de vidro</p> <p>Refletor</p> <p>Isolamento</p> <p>Absorvedor com tubos para fluidos</p> <p>Caixa de coletor</p>	<p>Tubo de vidro em vácuo</p> <p>Absorvedor com 2 tubos concêntricos (entrada e saída)</p>

Analisando o mercado mundial de aquecimento solar o coletor mais utilizado é o tubo de vácuo, com uma participação de 47%, seguido de 33% de coletor plano e 19% de coletores abertos. No Brasil, o modelo mais utilizado é o coletor plano com 62%, seguido do coletor aberto com 34%, o restante é atribuído ao coletor tubo de vácuo.



Fonte: Abrava, 2008.

**FIGURA 4.3.** O mercado mundial de coletores solares em 2006.



Fonte: Abrava, 2008.

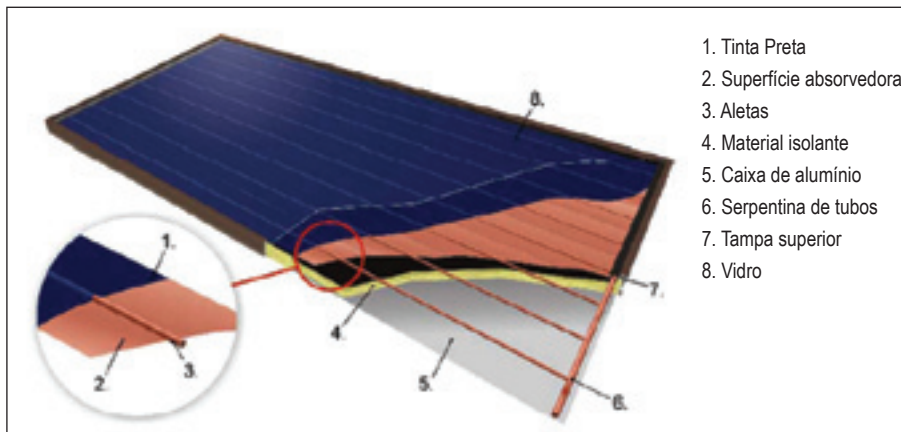
**FIGURA 4.4.** O mercado nacional de coletores solares em 2008.

No cenário mundial considerando a utilização dos coletores solares para aquecimento de água, pode-se atribuir a liderança para a China e os Estados Unidos da América. O Brasil aparece em 10<sup>o</sup> lugar entre os países que utilizam coletor plano para aquecimento de água.

## Coletor solar plano

O coletor solar plano pode ser fechado ou aberto. Os modelos fechados são fabricados com uma série de componentes metálicos e material isolante térmico acondicionando em uma caixa coberta por um vidro.

Observe na Figura 4.5 as partes que compõe um coletor solar fechado.



**FIGURA 4.5.** Principais componentes de um coletor solar plano fechado. Observe os detalhes internos.

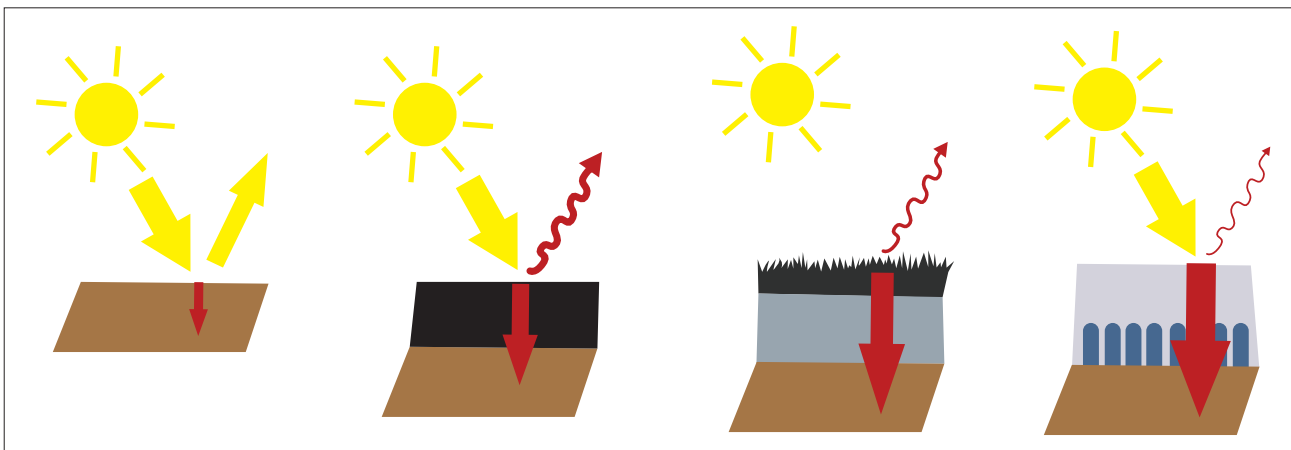


FIGURA 4.6. A eficiência na absorção da chapa absorvedora depende do tipo de tinta utilizada em sua superfície.

Para garantir eficiência na absorção dos raios solares incidentes a chapa absorvedora deve ser pintada com tinta preta. Dependendo do tipo de tinta aplicada na superfície absorvedora ela pode reter até 95% de toda radiação incidente.

A água aquecida circula através de tubos conhecidos por aletas, normalmente cada coletor tem de 8 a 12 aletas que juntas formam a chapa absorvedora. O desenvolvimento tecnológico das máquinas e dos processos industriais tem possibilitado a montagem de diferentes modelos de placas absorvedoras. Porém é necessário selecionar corretamente os materiais utilizados na montagem de placas e aletas, pois nem sempre é possível conseguir bons resultados de condutibilidade térmica, quando se mistura dois ou mais metais diferentes. A eficiência no processo da transferência de calor depende dos materiais utilizados e de detalhes técnicos da junção das aletas à chapa absorvedora. Veja na Figura 4.7 alguns modelos de placas absorvedoras e aletas.

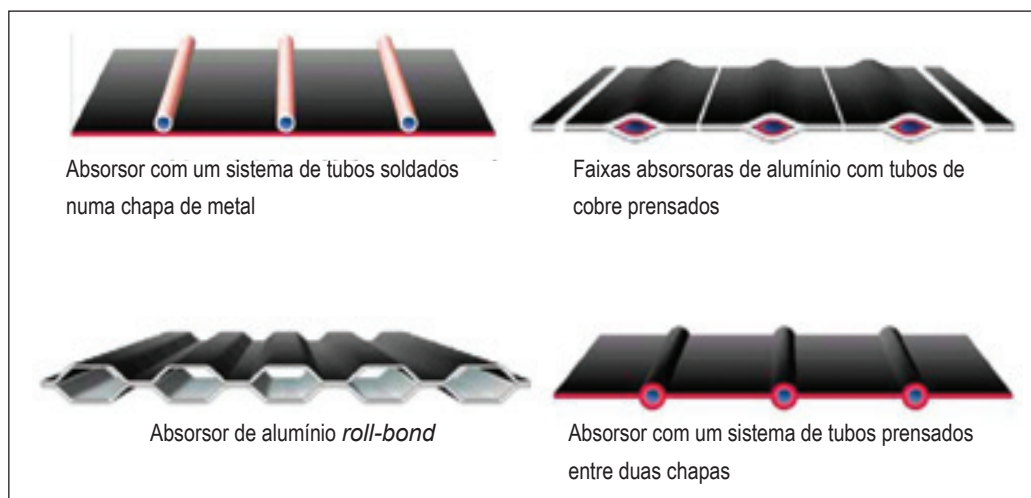


FIGURA 4.7. Quatro modelos de placa absorvedora.



## Cobertura do coletor

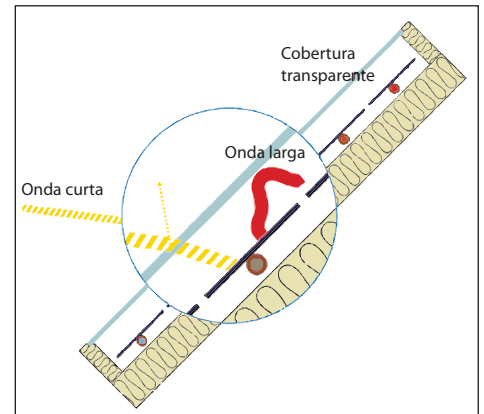
A maioria dos coletores solares planos utiliza vidro como cobertura, mas é possível utilizar material plástico, desde que seja resistente à radiação ultravioleta e suporte variações constantes de temperaturas. A qualidade mais importante que os vidros devem ter é a transmissividade, quanto mais transmissivo for o vidro, mais radiação solar entra no coletor e atinge a placa absorvedora.

O vidro é transparente para a radiação incidente do Sol com comprimento de onda de 0,5 micrometros. Ao atingir a superfície da placa parte dessa radiação é absorvida e o restante é refletida, retornando em direção ao vidro. Esse radiação é refletida com um comprimento de onda de aproximadamente 6,5 micrometros e, para esse comprimento de onda, o vidro é praticamente opaco. É justamente essa radiação refletida que provoca o efeito estufa entre a cobertura de vidro e dificulta a perda de calor por convecção.

No Brasil e em outros países onde o clima é mais quente, pode-se utilizar vidro liso comum, martelado ou canelado, porém em países com variações bruscas de temperatura e valores abaixo de zero o vidro deve ser temperado. Independente do tipo de vidro utilizado espera-se que apresente resistência à pressão do vento, suporte o peso da neve e resista a choques térmicos. Um dos ensaios feitos no laboratório do Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro) o que mais reprova os coletores, é justamente o do choque térmico.

Atualmente o principal fabricante de vidros é uma empresa nacional, que fabrica vidros especiais para aquecedores solares e vidros lisos comuns. Por apresentarem baixo teor de ferro em sua composição, os chamados vidros especiais, demoram mais tempo para envelhecer, mantendo sua transmissividade por 20 a 25 anos.

De um modo geral é importante manter uma rotina de manutenção preventiva a cada 1 ano, observando as borrachas e o silicone para ver se há infiltração de água de chuva e avaliar a sujeira nos vidros. A limpeza dos vidros é fundamental para garantir a eficiência dos coletores, principalmente em cidades onde o nível de poluição por partículas atmosféricas é elevado. Recomenda-se que a limpeza seja feita a cada 6 meses, porém se chove muito na região, não há necessidade dessa limpeza.



**FIGURA 4.8.** Ilustração esquemática do efeito estufa na parte interna do coletor solar.



**FIGURA 4.9.** Três tipos de vidros.

(a) vidro liso

(b) vidro canelado

(c) vidro martelado

Na Figura 4.10 é possível notar a diferença entre um vidro limpo e um vidro sujo.



**FIGURA 4.10.** A lavagem dos vidros é uma das principais manutenções necessárias a de um sistema de aquecimento solar.

Um coletor solar não precisa ser uma caixa hermeticamente fechada, ele deve ter um orifício que possibilite a saída de água, que por motivo de infiltração, tenha se acumulado no interior. O excesso de água na caixa do coletor pode ser absorvida pelo material isolante térmico, reduzindo a eficiência do coletor e causando corrosão nas peças metálicas de alumínio e cobre.

**FIGURA 4.11.** Três tipos de materiais isolantes térmicos.



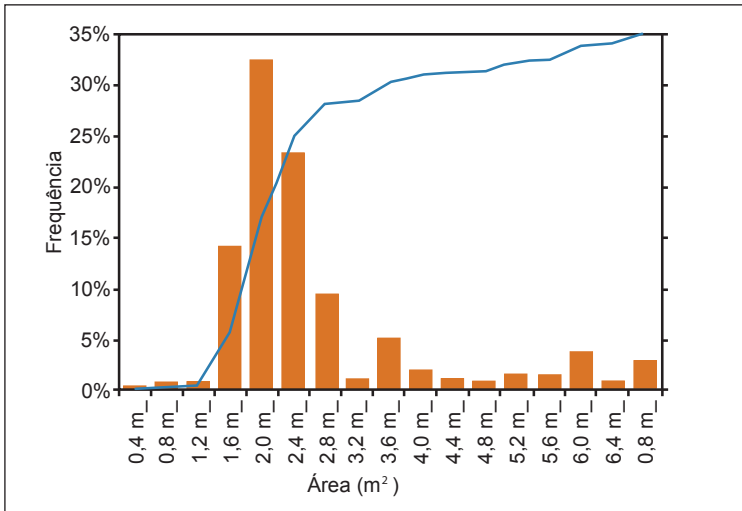
**TABELA 4.2.** Tabela apresentando a condutibilidade térmica e a temperatura máxima de utilização de três materiais isolantes.

MATERIAL	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/mK)	TEMPERATURA MÁXIMA UTILIZADA (°C)	OBSERVAÇÕES
Lã de vidro	0,05	150	Sensível a umidade
Lã de rocha	0,05	150	Sensível a umidade
Poliuretano	0,027	110	Espuma

Fonte: Dados do Fabricante.

Os coletores são fabricados nos modelos verticais ou horizontais. A escolha por um dos modelos depende do tipo de aplicação e funcionamento do sistema.

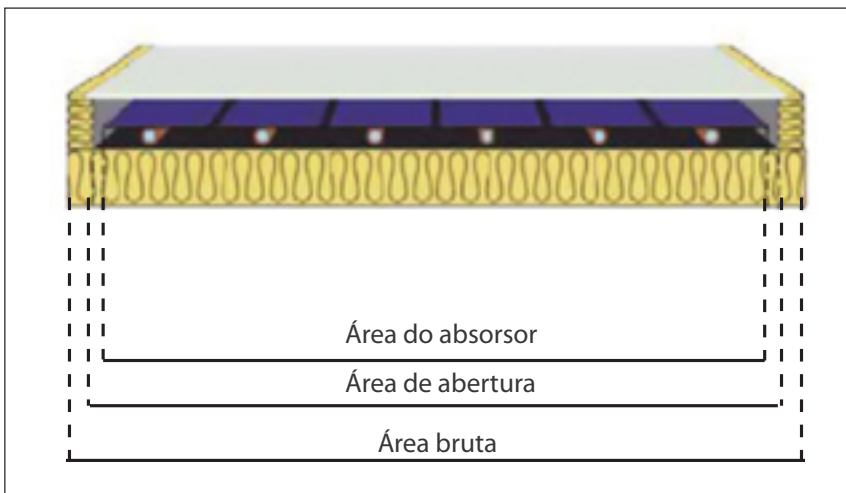
Os fabricantes mundiais de coletores solares trabalham com medidas padrão que variam entre 1,6 e 2,4 m<sup>2</sup> de área. Porém, além dessas medidas de mercado é possível encontrar valores extremos medindo entre 0,4 e 6,8 m<sup>2</sup>, conforme ilustra o gráfico da Figura 4.13.



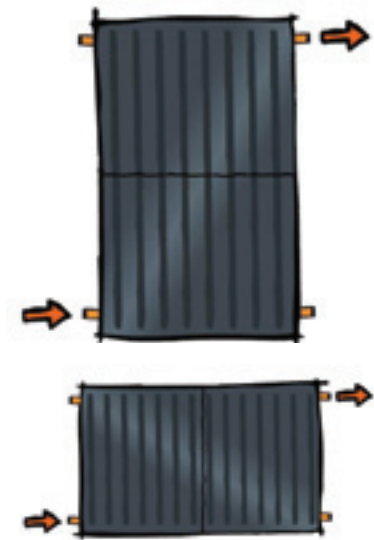
Fonte: Abrava, 2008.

**FIGURA 4.13.** Área dos coletores solares disponíveis no mercado.

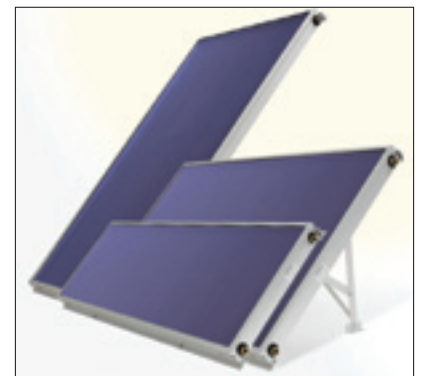
Ao analisar as informações técnicas de um coletor solar, deve-se considerar seu formato e suas dimensões. Os coletores podem ser do tipo vertical ou horizontal e as medidas de área são fornecidas em três especificações, conforme mostra a Figura 4.15, possibilitando atender as premissas de cálculo, de transporte e de instalação.



**FIGURA 4.15.** Detalhe das áreas de absorção, abertura e bruta.



**FIGURA 4.12.** Modelos de coletores horizontais e verticais.

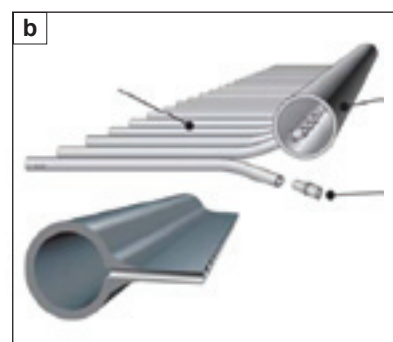
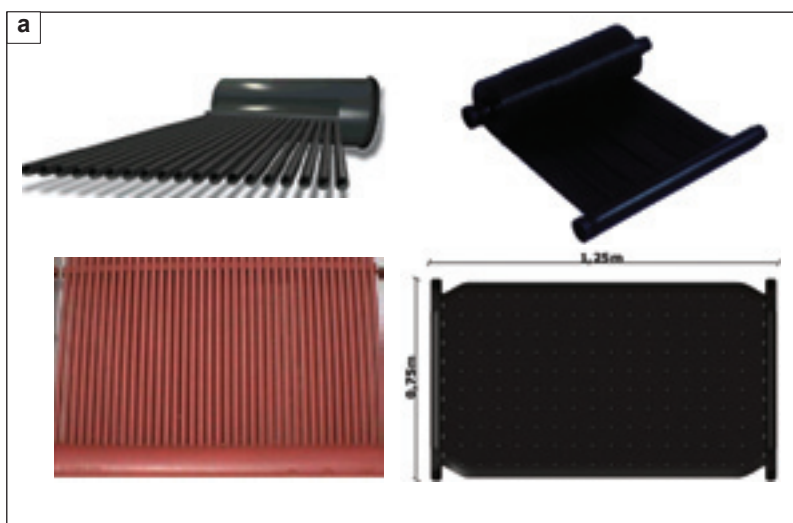


**FIGURA 4.14.** Os coletores podem ser fabricados para serem instalados na horizontal ou na vertical.

### Coletor solar aberto

O coletor solar aberto normalmente é fabricado para aquecer piscinas. Devido à ausência da cobertura de vidro e do isolamento térmico, ele não atinge temperaturas elevadas como o coletor coberto, podendo chegar ao máximo a 40 °C.

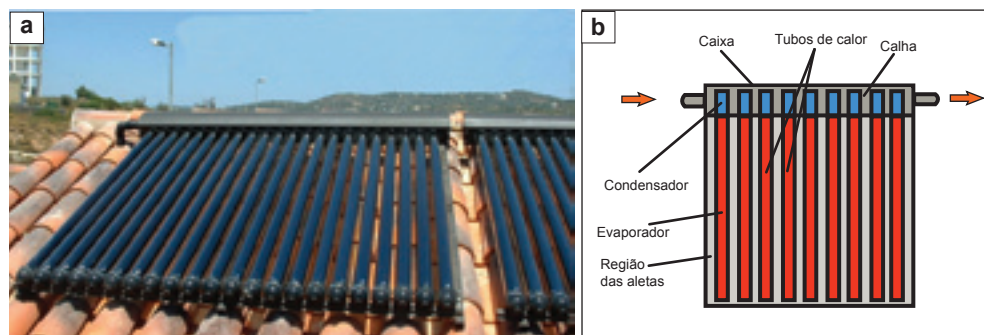
Algumas empresas já desenvolveram coletores plásticos fechados e submeteram aos testes do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o resultado foi surpreendente, conseguiram classificação “A” nos testes do Inmetro.



**FIGURA 4.16.** Em (a) diferentes modelos de coletores abertos. Em (b) detalhe dos tubos e das conexões de um coletor aberto.

### Coletor tubo de vácuo

Os tubos de vácuo são recomendados em regiões com pouca radiação, em clima frio ou quando há necessidade de atingir temperaturas acima de 100 °C. Esses coletores são bastante utilizados na China e nos EUA, porém em nosso país ainda não conquistaram mercado. A grande vantagem desse coletor é que as perdas térmicas por convecção são eliminadas no ambiente a vácuo, porém a desvantagem é o custo e o risco do coletor perder o vácuo com entrada de ar no tubo, reduzindo muito a eficiência do sistema.

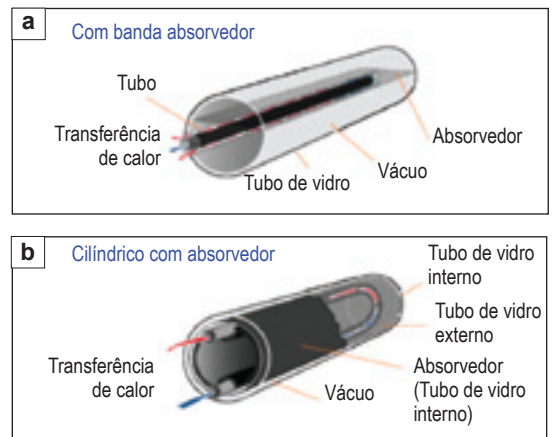


**FIGURA 4.17.** Em (a), coletor tubo de vácuo instalado no telhado. Em (b), ilustração esquemática mostrando o fluxo da água e as partes externas de um tubo de vácuo.

O coletor de tubo de vácuo é formado por um conjunto de tubos verticais ligados entre si na parte superior do coletor. A água ou o fluido circulam por esse conjunto de tubos e transferem o calor à água que circula na parte superior do coletor.

### Painel solar termodinâmico

Existe uma tecnologia que une a bomba de calor (como aquelas usadas para aquecimento de piscinas) e o coletor plano aberto, conhecido por painel solar termodinâmico. O princípio de funcionamento é semelhante ao de uma bomba de calor, que absorve calor do sol e até mesmo da água da chuva, por meio de um fluido refrigerante, como numa geladeira.



**FIGURA 4.18.** Em (a), detalhes internos dos tubos verticais. Em (b), detalhe do tubo horizontal condensador.



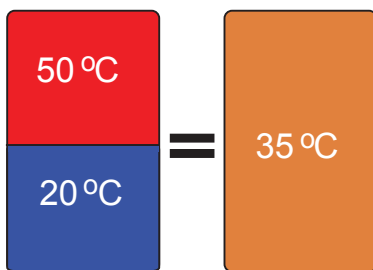
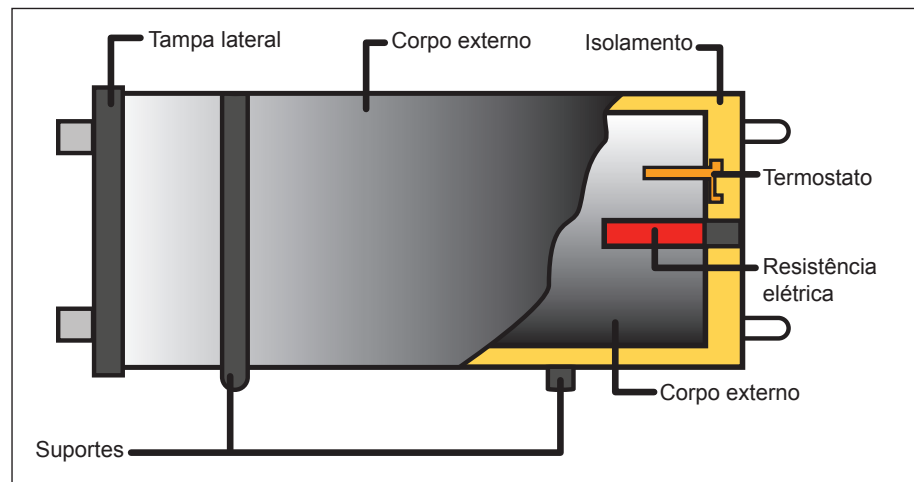
**FIGURA 4.19.** Instalação de painéis solares termodinâmicos.

### Reservatório térmico

Associado ao coletor solar o reservatório térmico é outro componente que requer cuidados especiais para garantir o desempenho do sistema de aquecimento solar. Esse componente deve manter a água aquecida para ser utilizada após algumas horas ou dias. No caso de países como Noruega ou Suécia, existem tecnologias que permitem aquecer água no verão e armazená-la em reservatórios térmicos para serem utilizadas no inverno, em calefação das edificações ou mesmo como água quente. Mas na maior parte dos projetos, principalmente os residenciais, os reservatórios térmicos são dimensionados para manter a água aquecida por algumas horas, considerando o ciclo diário do sol.

Os reservatórios térmicos são tanques utilizados para armazenar água quente proveniente dos coletores solares, de modo a atender a demanda de água aquecida mesmo fora dos períodos de incidência solar. São constituídos de um corpo interno cilíndrico, geralmente de aço inoxidável ou cobre, termicamente isolado para minimizar as perdas de calor para o ambiente. A maior parte dos modelos tem um sistema de aquecimento auxiliar, acionado por um termostato, que aquece a água nos períodos chuvosos ou nublados.

FIGURA 4.20. Detalhes internos e externos de um reservatório térmico.



$$T_m = \frac{m_1 \times T_1 + m_2 \times T_2}{m_1 + m_2}$$

FIGURA 4.21. Estratificação nos reservatórios verticais e horizontais.

Os modelos fabricados no Brasil já evoluíram muito, mas comparados aos modelos importados ainda podem melhorar em alguns aspectos. Acredita-se que é possível elevar o rendimento de um sistema de aquecimento solar investindo em novos modelos de reservatório que melhorem os efeitos de estratificação de temperatura da água e reduzam as perdas de calor das paredes.

A estratificação é um fenômeno natural que se observa na água aquecida armazenada no interior do reservatório térmico. O volume de água a uma temperatura menor sempre tende a ficar abaixo de outro volume de água a temperatura maior, como consequência formam-se diferentes camadas com variações de temperatura a partir da camada superior até a camada inferior desse volume armazenado, conhecidas por faixas de estratificação.

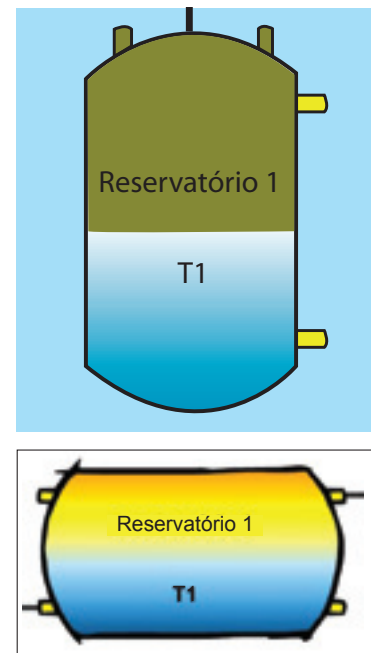
Estima-se que o reservatório térmico, assim como o coletor, deve ter uma vida útil de aproximadamente 20 anos. Infelizmente nem sempre é possível atingir uma década de bom funcionamento em função da qualidade da água que circula em seu interior. A durabilidade do reservatório está diretamente relacionada à qualidade da água que será estocada em seu interior. Recomenda-se que antes de decidir por algum tipo de reservatório se pesquise qual o tipo de água da região em que será instalado o sistema. Por exemplo,

se for no litoral o reservatório recomendado é aço inoxidável, mas se for numa região onde a água não é salobra, pode danificar-se em função de uma dilatação térmica.

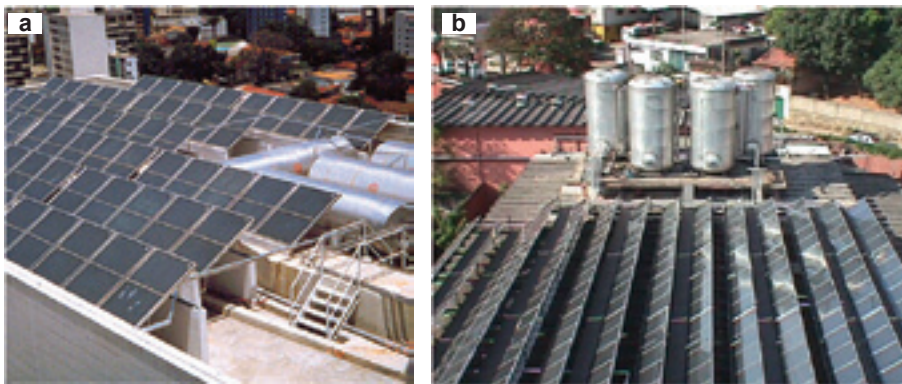
O reservatório tem que ser capaz de suportar grandes pressões e temperaturas de trabalho. Todo projeto de sistema de aquecimento solar deve prever um mecanismo de alívio de pressão, sem a possibilidade de escape para o vapor, o reservatório pode danificar-se em função de uma dilatação térmica.

Os reservatórios podem ser fabricados para instalação na posição horizontal ou vertical. Para melhorar a estratificação recomenda-se a instalação de reservatórios verticais, mas no Brasil predomina o modelo horizontal, principalmente no setor residencial unifamiliar. Observe na Figura 4.23 dois exemplos de grandes projetos utilizando reservatórios vertical e horizontal.

Do ponto de vista térmico o vertical é bem mais eficiente, pois a estratificação ocorre na horizontal em níveis decrescentes de temperatura em função da densidade da água.



**FIGURA 4.22.** A disposição vertical ou horizontal do reservatório interfere nas camadas de estratificação da água armazenada no reservatório.



**FIGURA 4.23.** Em (a), instalação do reservatório na posição horizontal. Em (b), instalação do reservatório na posição vertical. Belo Horizonte, Minas Gerais.

Um cuidado não relacionado às etapas de aquecimento, mas que deve ser comentado tendo em conta a saúde do usuário, é quanto à temperatura mínima de funcionamento e armazenamento dos reservatórios. Os reservatórios devem garantir temperatura mínima de 50 °C ou fornecerem ciclos de aquecimento até esta temperatura, para evitar o possível surgimento da legionella – bactéria que causa pneumonia, pois ela se prolifera em ambientes úmidos, escuros e com temperatura entre 35 e 40 °C.







## Princípios de funcionamento de uma ▷▷ 5 instalação de aquecimento solar

Neste tópico serão abordados os principais atributos e classificações dos sistemas de aquecimento solar e detalhados os principais modos de funcionamento destes sistemas: a circulação natural e a circulação forçada. Detalhes de instalação, funcionamento e projeto também serão abordados neste tópico.

## Classificação dos sistemas de aquecimento solar

Os sistemas de aquecimento solar podem ser classificados, conforme a norma NBR 15569 da ABNT, em três categorias de acordo com os seguintes atributos: arranjo, circulação, regime, armazenamento, alimentação e alívio de pressão, conforme informa a Tabela 5.1.

TABELA 5.1. Classificação dos sistemas de aquecimento de água.

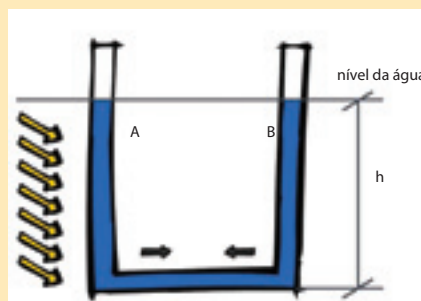
ATRIBUTO	CATEGORIAS		
	I	II	III
Arranjo	Solar mais auxiliar	Somente solar	Pré-aquecimento solar
Circulação	Natural ou termossifão	Forçada	-
Regime	Acumulação	Passagem	-
Armazenamento	Convencional	Acoplado	Integrado
Alimentação	Exclusiva	Não exclusiva	-
Alívio de pressão	Respiro	Conjunto de válvulas	-

O arranjo se refere à necessidade do sistema utilizar ou não aquecimento auxiliar para os dias chuvosos ou nublados. A opção sem apoio auxiliar é característica dos sistemas para aquecimento de piscina residencial, mas pode também ser utilizada em sistemas de aquecimento industrial, onde o sistema solar faz o pré-aquecimento da água, elevando a temperatura da água a ser utilizada no processo industrial.

Em relação à circulação da água, esta pode ser feita de duas maneiras: circulação forçada e circulação natural, conhecida por termossifão. A circulação forçada utiliza uma bomba hidráulica e um circuito eletrônico que controla o fluxo de água no circuito, e é indicada para sistemas de médio e grande porte. O sistema termossifão não necessita de bomba, o fluido circula naturalmente devido à diferença de temperatura em diferentes pontos do sistema. Para o funcionamento adequado desse processo, o fundo do reservatório deve estar em nível igual ou superior ao ponto mais alto do coletor solar.

### DETALHES DO FUNCIONAMENTO DO TERMOSSIFÃO

É fundamental entender o funcionamento e as condições limite de funcionamento do termossifão. Imagine um sistema aberto formado por um tubo cheio de água em formato de U (ver Figura 5.1). Nesse sistema a pressão que atua nas colunas A e B é determinada por  $P = d \cdot g \cdot h$ , e toda a água do sistema está a temperatura ambiente. Nessas condições as colunas A e B estão em equilíbrio com a pressão atmosférica.



Onde:

$$P = d \cdot g \cdot h$$

**P:** é a pressão manométrica estática em pascals

**dens:** é a densidade do fluido em  $\text{kg/m}^3$

**g:** é a aceleração da gravidade (aproximadamente  $9,8 \text{ m/s}^2$ )

**h:** é altura da coluna em metros.

FIGURA 5.1.

Mantendo o sistema aberto e fornecendo calor à coluna A, a temperatura aumenta e, como a densidade é inversamente proporcional à temperatura, a pressão nessa coluna é reduzida (ver Figura 5.2).

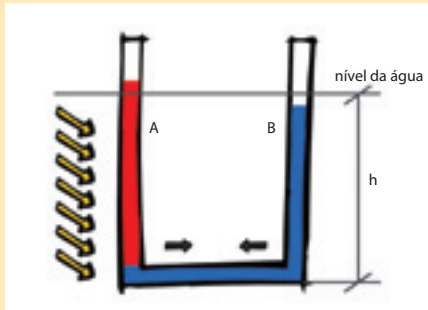


FIGURA 5.2.

Agora, fechando esse sistema de modo que fique cheio de água, se estabelece o fenômeno do termossifão ou circulação natural (ver Figura 5.3).

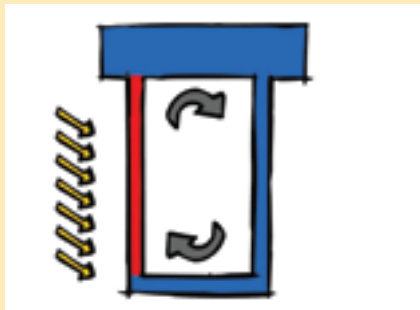


FIGURA 5.3.

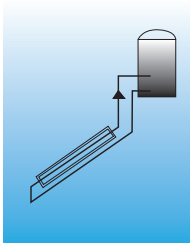
No sistema de aquecimento solar acontece esse mesmo fenômeno. As colunas A e B são os coletores interligados pelas tubulações que levam e trazem a água ao reservatório. Enquanto houver um mínimo de radiação incidindo sobre as placas, esse movimento estará acontecendo. Quanto maior a radiação, maior é a vazão e quanto menor a radiação, menor a vazão; por isso esse mecanismo é autorregulado, não depende de componente elétrico. O princípio do termossifão é usado em centenas de aplicações no mercado de aquecimento solar.

O regime de utilização da água nos sistemas solares pode ser por acumulação ou passagem. A acumulação armazena água quente para ser utilizada em outros horários do dia, já o regime de passagem é utilizado para aquecer a água e utilizá-la, por exemplo, em processos industriais que necessitem elevar a temperatura em um processo de fluxo contínuo.

O armazenamento da água pode ser do tipo: convencional quando o reservatório é separado; acoplado quando o coletor está junto ao reservatório; e integrado quando coletor e reservatório são um corpo único.

A alimentação de água fria que abastece os reservatórios pode ser exclusiva ou não-exclusiva, a escolha por uma dessas opções dependerá de critérios de hidráulica que devem ser definidos desde o projeto da obra.

Circuito Direto



Circuito Indireto

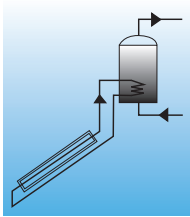


FIGURA 5.4.

Um atributo obrigatório para toda instalação de aquecimento solar é um sistema de alívio de pressão, por meio de respiro ou por um conjunto de válvulas de alívio de pressão. Nenhuma instalação de aquecimento solar funciona de forma 100% segura sem um sistema de alívio.

A transferência de calor pode ser feita por meio de circuito direto ou indireto. No Brasil na maioria das vezes utiliza-se o circuito direto, sendo o fluido a própria água; na Europa e em outros países de clima frio os coletores e o reservatório trabalham em circuito indireto, ou seja, o fluido térmico circula por uma serpentina trocando calor com a água. Observe na Figura 5.4 a diferença entre um circuito direto e um circuito indireto.

### Componentes de um sistema de aquecimento solar de água

Os componentes de um sistema de aquecimento solar podem ser separados em coletores, reservatório, tubulações e caixa da água fria, conforme apresentado na Figura 5.5.

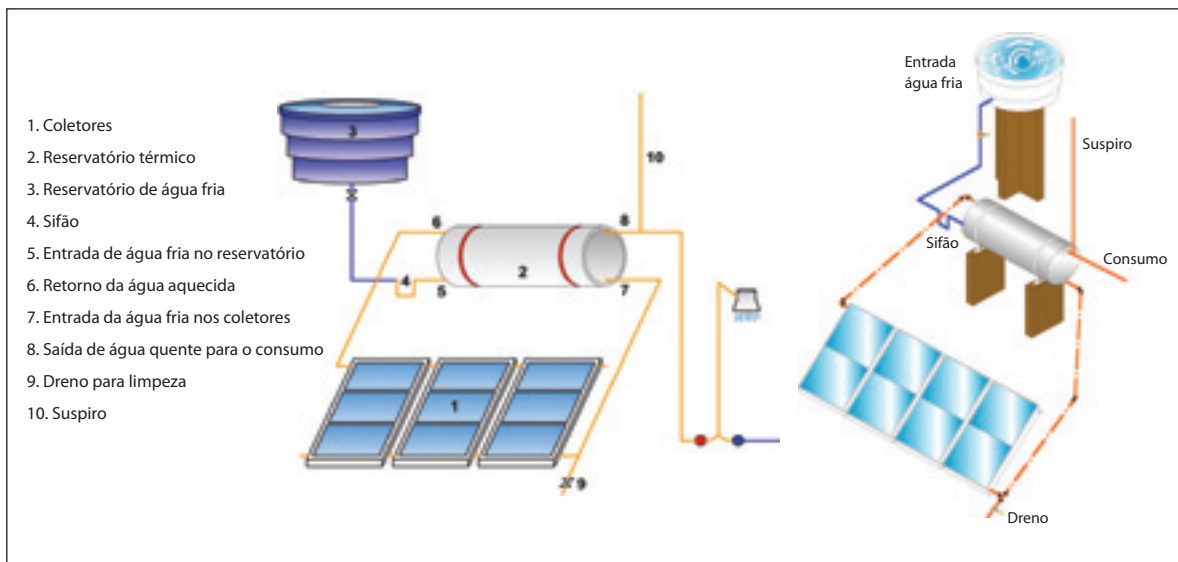
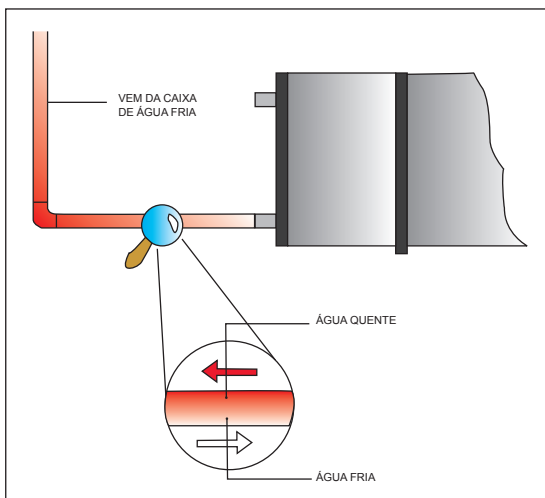


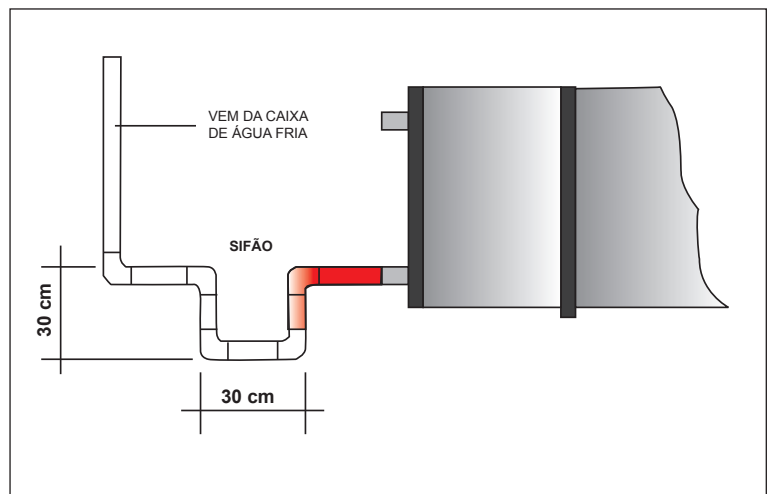
FIGURA 5.5. Principais componentes de um sistema de aquecimento solar.

A caixa de água fria pode ser considerada como um dos componentes do sistema de aquecimento solar, pois serve para reduzir a pressão da água “da rua” e abastecer o sistema. Ao instalar um aquecedor solar recomenda-se não fazer derivação do tubo principal que abastece a hidráulica da casa para alimentar o sistema solar, pois podem surgir problemas hidráulicos, principalmente relacionados ao acionamento da descarga ou retorno de água quente para as tubulações de PVC.

Os fundos da caixa de água fria e do reservatório térmico devem ser interligados por tubulação, formando um sifão. Esse componente é obrigatório, pois evita o fenômeno “sifão tubular”, que ocorre no interior da tubulação horizontal próxima ao reservatório (ver Figuras 5.6 e 5.7). Esse fenômeno que se estabelece devido a diferença de temperatura entre a água do reservatório e a temperatura ambiente, faz com que a água quente do reservatório retorne para a caixa de água fria nos dias nublados, chuvosos ou durante a noite.



**FIGURA 5.6.** A água quente fica na parte de cima do tubo e a água fria na parte de baixo no interior do cano.



**FIGURA 5.7.** O sifão pode ser virado para cima ou para baixo, o importante é que respeite as medidas 30 cm em cada um dos lados.

Na tubulação que interliga o reservatório à ducha deve-se colocar um “T” e na parte superior instalar o respiro, para aliviar a pressão. Esse componente é obrigatório e, em sistema de baixa pressão, deve estar 30 cm acima da caixa de água fria (ver Figura 5.5).

Um componente que não apareceu nas Figuras 5.6 e 5.7, mas está na parte interna do reservatório térmico é o aquecimento auxiliar. O aquecimento auxiliar é controlado por meio de um termostato regulado manualmente, e em muitos casos acaba entrando em funcionamento mesmo em dias de sol, nublados ou chuvosos, mesmo quando a água ainda está quente.

Outro cuidado fundamental para garantir a eficiência de um sistema de aquecimento solar é aplicar isolamento térmico das tubulações. Instalação sem isolamento térmico apresenta baixo rendimento e perde energia para o ambiente.

## Termossifão convencional

O termossifão possibilita a movimentação natural da água em seu sistema de aquecimento de água, porém para que seu funcionamento seja satisfatório é necessário ficar atento a algumas medidas ideais de distância e altura entre a caixa de água fria, o reservatório e os coletores.

A Figura 5.8 apresenta as medidas mínimas e máximas que garantem o funcionamento satisfatório do termossifão para um sistema convencional de aquecimento de água.

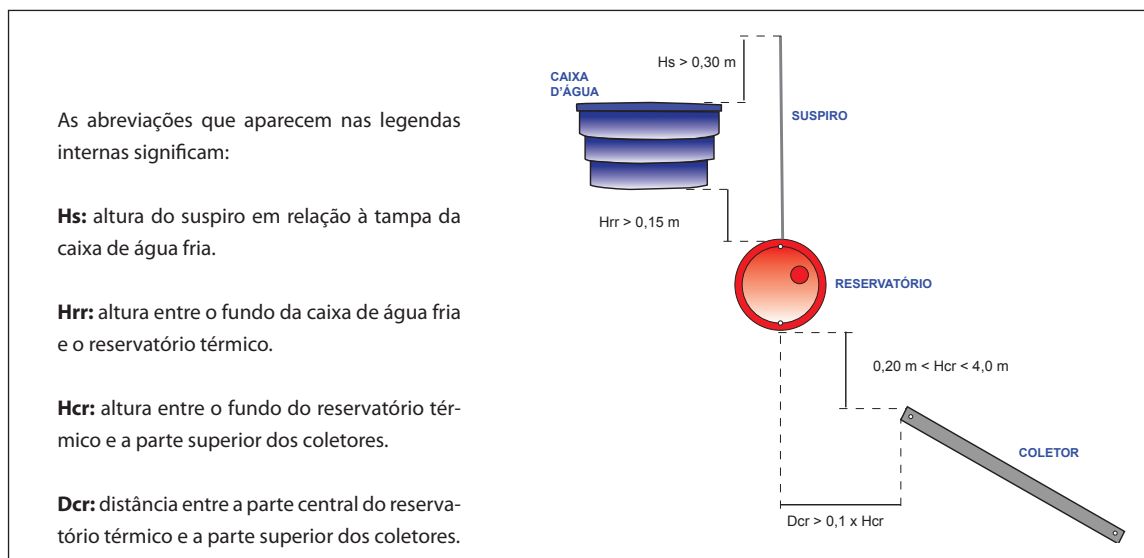
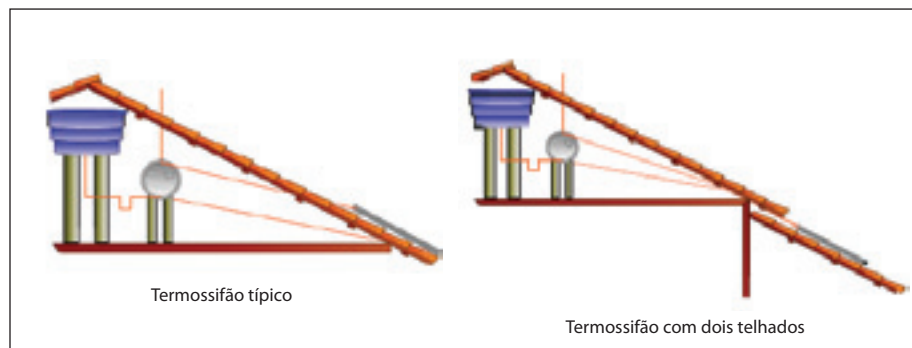


FIGURA 5.8. Ilustração mostrando as medidas para o sistema termossifão.

Observe, na Figura 5.9, duas instalações de sistema convencional instaladas em telhados residenciais que foram projetados para receber um sistema de aquecimento de água.

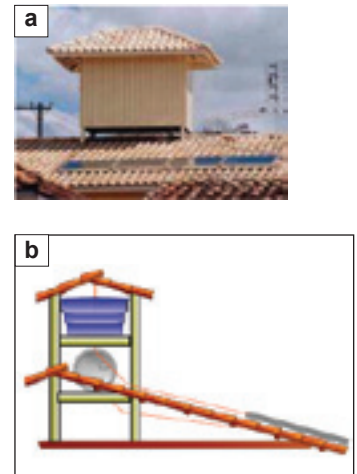
FIGURA 5.9. Duas ilustrações em corte lateral mostrando detalhes da caixa de água fria, reservatório térmico e coletor. Nos dois exemplos a residência foi planejada para garantir que a caixa de água fria e o reservatório térmico fossem instalados no interior do telhado.



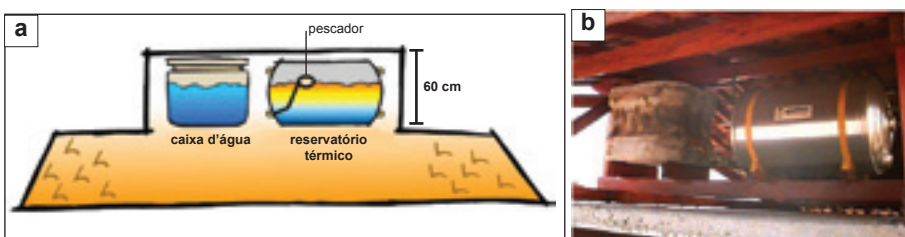
Lembrando a fórmula apresentada na Figura 5.1, a pressão não depende da distância (altura), por isso mesmo o reservatório térmico estando acima de quatro metros em relação aos coletores não melhora o termossifão. Distâncias elevadas, acima dessa medida podem aumentar o custo do sistema, pois demandam maior quantidade de material para isolamento térmico, aumentam as perdas térmicas e as perdas de carga do sistema. O recomendado é seguir as orientações e manter a Hcr (altura entre coletor e reservatório) entre 20 cm e 4 m, considerando que quanto maior essa distância, maior será a força motriz, pois a diferença de temperatura que se estabelece no sistema é maior.

Em instalações unifamiliares o uso de termossifão é recomendado e funciona perfeitamente, porém é necessário garantir os desníveis que favorecem o uso do termossifão, mas na maior parte das habitações unifamiliares brasileiras os telhados não são projetados para essa finalidade. Uma das possíveis soluções, mais comuns e utilizadas em residências novas ou reformadas, é a montagem em torre, conforme Figura 5.10.

Existem sistemas em que a caixa de água fria e o reservatório trabalham em nível, ou seja, a caixa de água fria fica ao lado do reservatório, porém entre o reservatório e os coletores é necessário manter a diferença de altura, caso contrário o termossifão não funciona. Nesses sistemas utilizam-se dois componentes trabalhando em conjunto no interior do reservatório térmico: a tradicional boia e outro chamado pescador (ver Figura 5.11a). O pescador flutua sempre na camada superior da água armazenada no reservatório térmico, dessa forma garante o fornecimento de água quente à ducha. A restrição a essa configuração em nível é que seu sistema pode parar de funcionar se o pescador apresentar defeitos, comprometendo o fornecimento de água quente.

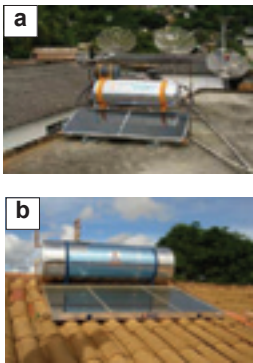


**FIGURA 5.10.** Instalação de sistema de aquecimento solar utilizando torre. Em (a), vista aérea da instalação. Em (b), corte lateral mostrando o conjunto caixa de água fria e reservatório posicionado acima dos coletores instalados no telhado.



**FIGURA 5.11.** Em (a), ilustração em corte lateral mostrando detalhes do conjunto caixa de água fria e reservatório térmico. Em (b), foto mostrando detalhes da estrutura de alvenaria e madeira utilizadas para nivelar o conjunto. Nesse tipo de montagem o conjunto também deve ficar acima do telhado onde serão instalados os coletores.

Pressurizador é um dispositivo que aumenta a pressão da água do banho. Porém, quando se deseja pressurizar o sistema de aquecimento solar é necessário instalar dois pressurizadores, um para a água quente e outro para a água fria, pois a água do banho passa pelo misturador antes de ir para a ducha. Além desse cuidado é necessário utilizar reservatório de alta pressão e válvula de segurança.



**FIGURA 5.12.** Sistema acoplado com reservatório de metal. Em (a), o sistema está sobre uma estrutura inclinada apoiada na laje e recebe água direto do hidrômetro. Em (b), o sistema está apoiado no telhado e a pressão da água da rua é aliviada por meio de uma caixa, antes de abastecer o reservatório térmico.

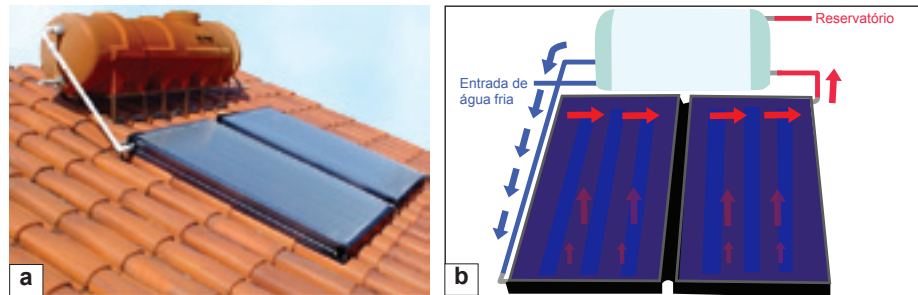
## Termossifão acoplado

A NBR 15569 define sistema acoplado como sendo todo dispositivo formado por reservatório e coletor que esteja montado sobre uma estrutura de suporte comum.

O sistema acoplado necessita somente de quatro conexões hidráulicas e pode ser abastecido com água da rua ou por meio da caixa de água fria, havendo a necessidade somente, em alguns casos, de utilizar uma caixa para quebrar a pressão da água da rua.

Em relação à tecnologia de termossifão acoplado, ainda não se chegou a um consenso sobre trabalhar com o coletor plástico encapsulado em uma caixa fechada (ver Figura 5.13). Ao encapsular o coletor de polímero a temperatura de estagnação pode atingir valores próximos de 100 °C, comprometendo a estrutura dos canos. Os principais problemas são em relação à memória térmica desses canos; ao atingir temperaturas próximas à do momento de extrusão, tendem a deformar. Outro fato importante é em relação às junções que interligam as tubulações plásticas, que dependendo da temperatura, podem dilatar, vazar ou até mesmo romper.

**FIGURA 5.13.** Sistema acoplado fabricado de polímero. Em (a), o sistema apoiado sobre o telhado. Em (b), ilustração mostrando o sentido e a direção do fluxo de água nos coletores.



**FIGURA 5.14.** Dois modelos de sistema integrado.

## Termossifão integrado

A NBR 15569 define como sistema de aquecimento integrado todo equipamento em que as funções de coleta e armazenamento de água quente são realizadas dentro do mesmo dispositivo. Um exemplo óbvio e intuitivo de aquecimento integrado é um saco preto ou um cilindro de água apoiado no chão e exposto à radiação solar. A desvantagem desse sistema é a ausência de isolamento térmico, ou seja, todo calor absorvido durante o período de exposição é dissipado para o ambiente durante o período noturno.



## Regras para garantir o termossifão

Nas instalações residenciais unifamiliares é recomendado utilizar como primeira opção a configuração de circulação natural. Porém, o termossifão oferece restrições que limitam seu uso em instalações residenciais que ultrapassem a demanda de 1200 litros de água de armazenagem ou para arranjo de coletores acima de 12 m<sup>2</sup> de área. Para configurações acima desse volume de água armazenada nos reservatórios ou área de coletores recomenda-se utilizar a circulação forçada.

Para eliminar as perdas de carga é necessário utilizar tubulações com diâmetros apropriados. É possível selecionar o diâmetro correto consultando a Tabela 5.2. Além de procurar minimizar as perdas de carga é necessário cuidar do correto isolamento térmico das tubulações.

**TABELA 5.2.** Diâmetro e comprimento da tubulação em função do volume do reservatório.

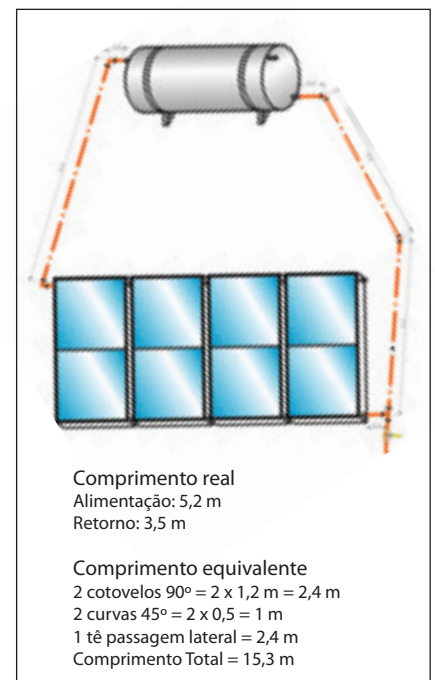
VOLUME DIÁRIO DE ÁGUA QUENTE (LITROS)	DISTÂNCIA TOPO/FUNDO (METROS)									
	0.1		0.2		0.3		0.4		0.5	
	DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO DE INTERLIGAÇÃO (mm)									
	22	28	22	28	22	28	22	28	22	28
Comprimento Max. equivalente na interligação RT/COLETORES/RT (metros)										
200	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
300	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25
400	17	25	20	25	23	25	25	25	25	25
500	13	25	15	25	18	25	20	25	22	25
600	10	25	12	25	14	25	16	25	18	25
700	NR	23	10	25	12	25	13	25	15	25
800	NR	19	NR	22	NR	25	11	25	12	25
1000	NR	11	NR	14	NR	17	NR	20	NR	23

Nota: NR = Não Recomendado; RT = Reservatório Térmico

Para compreender a Tabela 5.2 deve-se considerar um volume de água a ser aquecido diariamente e o desnível entre o coletor e o reservatório. Por exemplo, reservatório de 600 litros instalado com desnível de 10 cm entre topo e fundo. Consultando a Tabela 5.2, para essas condições deve-se utilizar tubos com diâmetro de 22 ou 28 mm. Se a opção for por tubos de 22 mm, seria possível utilizar no máximo 10 m de tubulação, e se utilizarem os de 28 mm, a tubulação poderia medir aproximadamente 25 m. Essa medida compreende todo o sistema de interligação entre coletor e reservatório, inclusive o comprimento das peças de conexões como cotovelo, luva e registros. Por exemplo, um cotovelo ou um joelho de 90° equivale a um tubo reto de 1,20 m, que é preciso abater da medida máxima. Observe na Figura 5.15 um exemplo de um sistema residencial e a equivalência em metros, para as peças de conexão e o comprimento do tubo.

**TABELA 5.3.** Lista de materiais utilizada no exemplo da Figura 5.15.

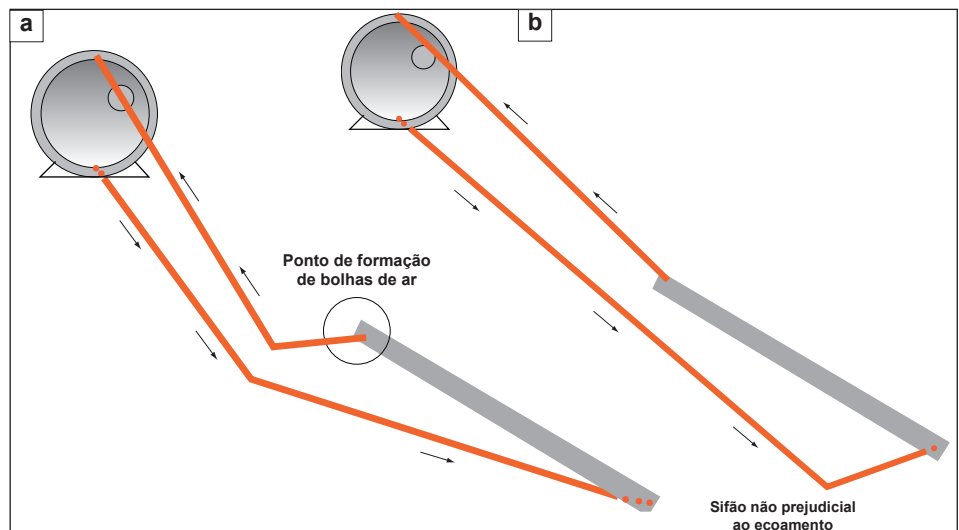
ITEM	DIÂMETRO	QUANTIDADE
Tubo	22 mm	8,7 m
Cotovelo 90°	22 mm	2
Curva 45°	22 mm	2
Tê	22 mm	1



**FIGURA 5.15.**

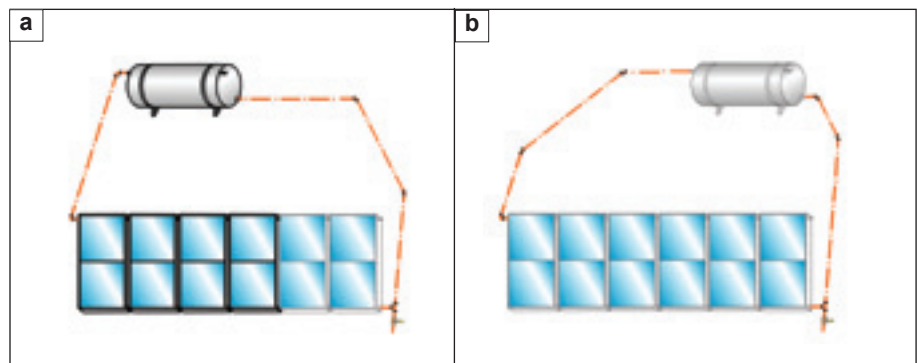
Além de seguir as orientações da Tabela 5.3 é necessário aplicar isolamento térmico de 10 mm de espessura ao redor dos tubos, pois sem isolamento da tubulação, a força motriz do termossifão não se estabelece corretamente, comprometendo todo o funcionamento do sistema. Outro cuidado que se deve ter em relação à tubulação é quanto à sua trajetória. Deve-se evitar configurações que permitam a formação de bolhas de ar no interior dos tubos, pois nesses casos após pouco tempo de funcionamento o sistema para de funcionar.

**FIGURA 5.16.** Duas configurações do sistema de termossifão. Em (a), sifão que possibilita a formação de bolha de ar na tubulação. Em (b), sifão que não prejudica o escoamento.



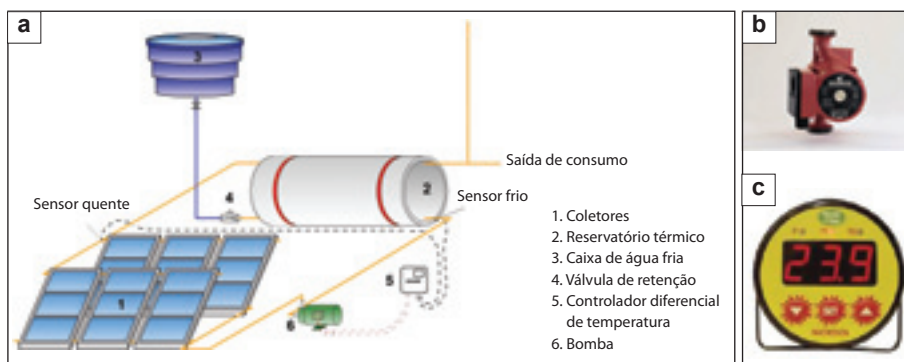
Além de evitar configurações que admitam formação de bolhas deve-se, sempre que possível, optar por projetos em que a distância do retorno de água quente tenha o menor comprimento possível e esteja em linha reta. Por exemplo, na Figura 5.17 a opção A é a melhor, pois o caminho da água quente está em linha reta e é menor, comparado com a opção B. Na prática deve-se sempre instalar o reservatório próximo ao ponto de uso no banheiro, essa medida além de evitar perda térmica, diminui o tempo de espera de água quente.

**FIGURA 5.17.** A opção (a) apresenta vantagens sobre a opção (b).



## Circulação forçada convencional

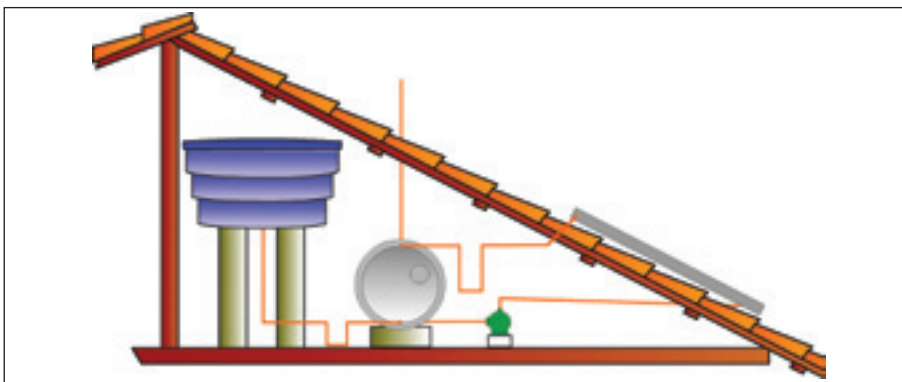
A circulação forçada deve ser utilizada em três situações: quando o volume for superior a 1000 litros de água por dia; quando a área instalada for superior a 12 m<sup>2</sup>, ou quando não for possível conseguir os desníveis mínimos entre o reservatório e os coletores. Na circulação forçada o sistema de aquecimento de água requer novos componentes: a bomba, o controlador diferencial de temperatura (CDT) e a válvula de retenção (ver Figura 5.18a) instalada no lugar do sifão.



**FIGURA 5.18.** Em (a), ilustração esquemática de um sistema de aquecimento solar por circulação forçada. Em (b), foto de uma minibomba e em (c), foto de um CDT, registrando a temperatura de 23,9 °C.

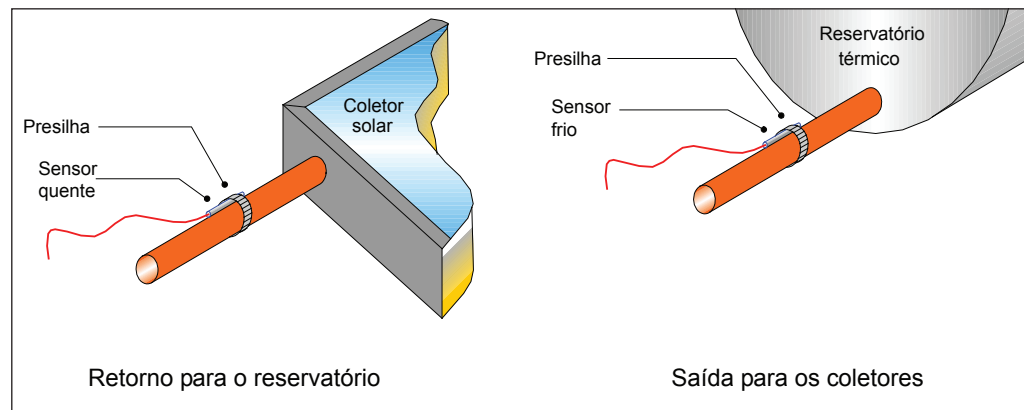
A vantagem da circulação forçada em relação ao sistema de termossifão é a possibilidade de controlar a temperatura da água que circula no sistema, mesmo quando não há consumo de água quente. O valor de temperatura máxima é determinado no CDT, quando os sensores registram esse valor a bomba para de fazer circular a água. No caso do termossifão se houver radiação solar sem que haja consumo, como por exemplo, em casa de praia visitadas somente nos finais de semana, a água pode atingir temperaturas acima de 80 °C, pois enquanto toda água do sistema não atinjam a mesma temperatura o sistema continua em operação.

Outra vantagem é a possibilidade de instalar os coletores no mesmo nível ou acima do reservatório, pois a circulação forçada não depende de desnível entre o reservatório e a base dos coletores, para funcionar. Com isso, é possível instalar o reservatório de água quente do sistema de aquecimento solar mesmo em espaços reduzidos entre o telhado e a laje, conforme ilustra Figura 5.19.



**FIGURA 5.19.** Ilustração mostrando em corte lateral a caixa de água fria, o reservatório e a bomba apoiados na laje e os coletores instalados no telhado. Observe que os coletores estão acima do reservatório térmico.

A bomba utilizada é própria para o sistema residencial, apresentando baixo consumo de energia, pois sua potência é de aproximadamente 33 W. O funcionamento dessa bomba é controlado pelo CDT, que é acionado por meio de sensores instalados nos canos que entram e saem do reservatório. Esses sensores ficam em contato com os tubos, conforme ilustra a Figura 5.20.



**FIGURA 5.20.** Detalhes da posição e fixação dos sensores de temperatura que acionam o CDT.

Quando os sensores identificam a diferença de temperatura determinada, mandam um sinal para o CDT que aciona a bomba. A partir desse momento a bomba só é desligada quando a diferença de temperatura baixar aos valores predeterminados.

Outra maneira de controlar a temperatura da água é por meio de uma válvula termostática na saída do reservatório ou no misturador. Esse dispositivo garante que a água chegue ao ponto de uso na temperatura ideal para o banho. Além desses modelos de válvula termostática existem modelos importados, conhecidos por válvulas anti queimadura. Na Austrália, por exemplo, é obrigatória a instalação dessas válvulas, para garantir que a temperatura da água nunca ultrapasse 50 °C no ponto de uso.

## Sistema anticongelamento para a circulação forçada

No Brasil a maior parte dos sistemas de aquecimento de água é direta, tendo como fluido a água. Nos países de clima frio e em algumas regiões do Brasil é necessário prever a instalação de um componente anticongelamento para evitar que água congele no interior dos coletores.

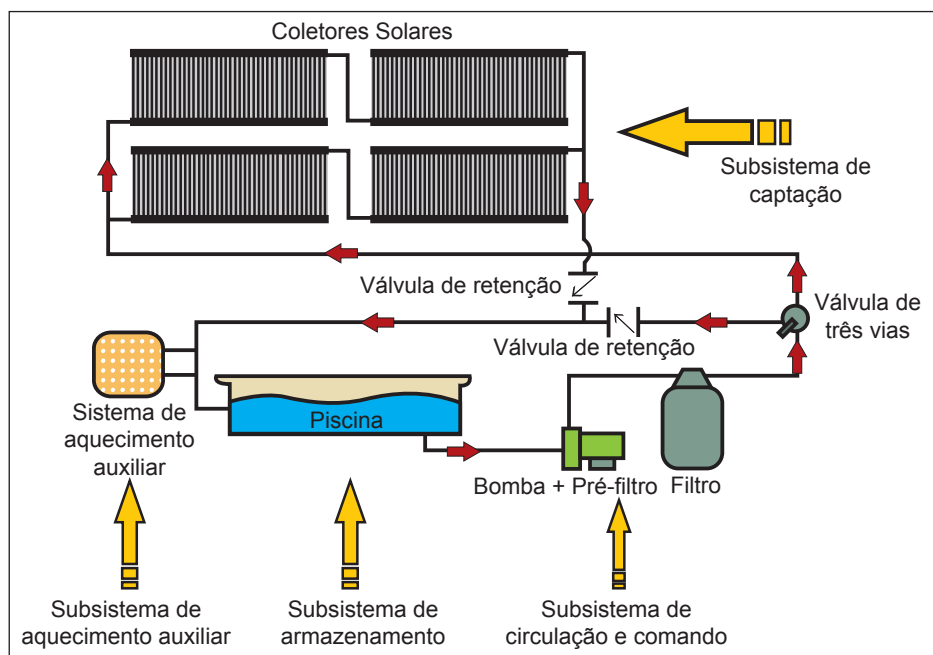
Um dos sistemas de anticongelamento pode ser acionado pelo CDT que também disponibiliza um sensor para esta finalidade. Sua função é controlar a temperatura da água nos coletores e quando chegar próximo a zero grau Celsius ele aciona a bomba e transfere água quente para os coletores.

Outro componente que pode ser instalado e que não depende de energia elétrica é a válvula anticongelamento. Fica instalada na parte inferior de um dos coletores e quando a temperatura está próxima do congelamento da água ela abre e drena toda a água dos coletores.

## Aquecimento de piscina

Podem-se fazer duas observações sobre o aquecimento solar de piscina: primeira, estes sempre são de circulação forçada; segunda, a piscina é o reservatório de água quente. A grande diferença entre o sistema de aquecimento de banho residencial e o de piscina é o volume de água que circular nas placas; no sistema de banho residencial circula em média 1,5 litros por m<sup>2</sup> por minuto, enquanto na piscina circulam 4,5 litros, ou seja três vezes mais.

Tanto para o sistema tipo termossifão quanto para o de circulação forçada, quanto às interligações entre coletores e reservatório térmico, é altamente recomendável a utilização de tubulações que suportem altíssimas temperaturas por longo espaço de tempo e que possam ficar expostas às intempéries sem sofrer deformações.



**FIGURA 5.21.** Ilustração esquemática do funcionamento de um sistema de aquecimento de piscina por circulação forçada.

Em relação aos componentes utilizados para o aquecimento de piscinas, com exceção da capa térmica que elimina mais de 80% das perdas térmicas, todas as demais peças são idênticas às de um sistema de aquecimento residencial. Uma recomendação importante é não utilizar a bomba de filtragem como bomba de circulação de água quente, é melhor utilizar uma bomba exclusiva para cada tarefa.

Para piscinas residenciais o sistema de aquecimento auxiliar é dispensável, porém se for para uso comercial, por exemplo, em clubes e academias, será necessário prever o aquecimento auxiliar. Em piscinas de clubes e academias a água deve estar entre 27 °C e 28 °C. Nesses casos, recomenda-se o uso de bomba de calor (ver página 36) como aquecimento auxiliar.





## Passo a passo de um projeto de 6 instalação de aquecimento solar

Neste capítulo serão analisadas as principais fases e etapas que compõe um projeto de instalação de aquecimento solar. Apresentando a planilha educacional serão realizadas duas simulações estáticas para o dimensionamento de sistemas residenciais unifamiliar e multifamiliar.

## Dimensionamento

A norma NBR 15569 estabelece os requisitos para um sistema de aquecimento solar considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção. Além desses aspectos a norma orienta o usuário quanto aos seus direitos e à documentação que pode exigir das empresas instaladoras. A NBR 15569 informa que o usuário deve solicitar previamente da empresa instaladora o projeto do sistema de aquecimento solar, porém o fornecimento destes projetos não é comum nas empresas brasileiras, principalmente para sistemas residenciais unifamiliares.

Outro direito do usuário é solicitar o manual de operação e manutenção do sistema de aquecimento solar. É fundamental que toda empresa disponibilize aos usuários este manual e oriente os clientes que leiam as orientações antes de colocar o sistema em operação. Caso a empresa não tenha um manual disponível, o instalador deve explicar detalhadamente o funcionamento de todas as partes do sistema, de forma que o usuário se familiarize com o equipamento, principalmente em relação ao acionamento do aquecimento auxiliar.

A Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) de projeto e a ART de instalação devem ser assinadas pelos respectivos responsáveis pela obra, porém, essa documentação é mais comum nas obras de grande porte. Alguns estados e municípios atribuem ao Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (CREA) a responsabilidade de estabelecer qual profissional é habilitado a assinar a ART.

A NBR 15569 estabelece também vinte itens que devem ser seguidos em um projeto de sistema de aquecimento solar. Ao longo deste capítulo, será comentada a relevância desses itens em relação à execução de um projeto de boa qualidade. Observe os principais tópicos na Tabela 6.1.

**TABELA 6.1.** Documentação do projeto.

A documentação do projeto deve contemplar no mínimo os seguintes elementos:					
1	Premissas de cálculo	8	Área coletora	15	Indicação do norte geográfico
2	Dimensionamento	9	Ângulos de orientação e de inclinação dos coletores solares	16	Planta, corte, isométrico, vista, detalhe e diagrama esquemático, necessários para perfeita compreensão das interligações hidráulicas e interfaces dos principais componentes
3	Fração solar	10	Estudo de sombreamento	17	Esquema, detalhes e especificação para operação e controle de componentes elétricos (quando aplicável)
4	Memorial descritivo	11	Previsão de dispositivos de segurança	18	Especificação dos coletores solares e reservatórios térmicos
5	Volume de armazenamento	12	Massa dos principais componentes	19	Especificação de tubos, conexões, isolamento térmico, válvulas e motobomba
6	Pressão de trabalho	13	Considerações a respeito de propriedades físico-químicas da água	20	Tipos e localização de suportes e métodos de fixação de equipamentos, quando aplicável.
7	Fontes de abastecimento de água	14	Localização, incluindo endereço		

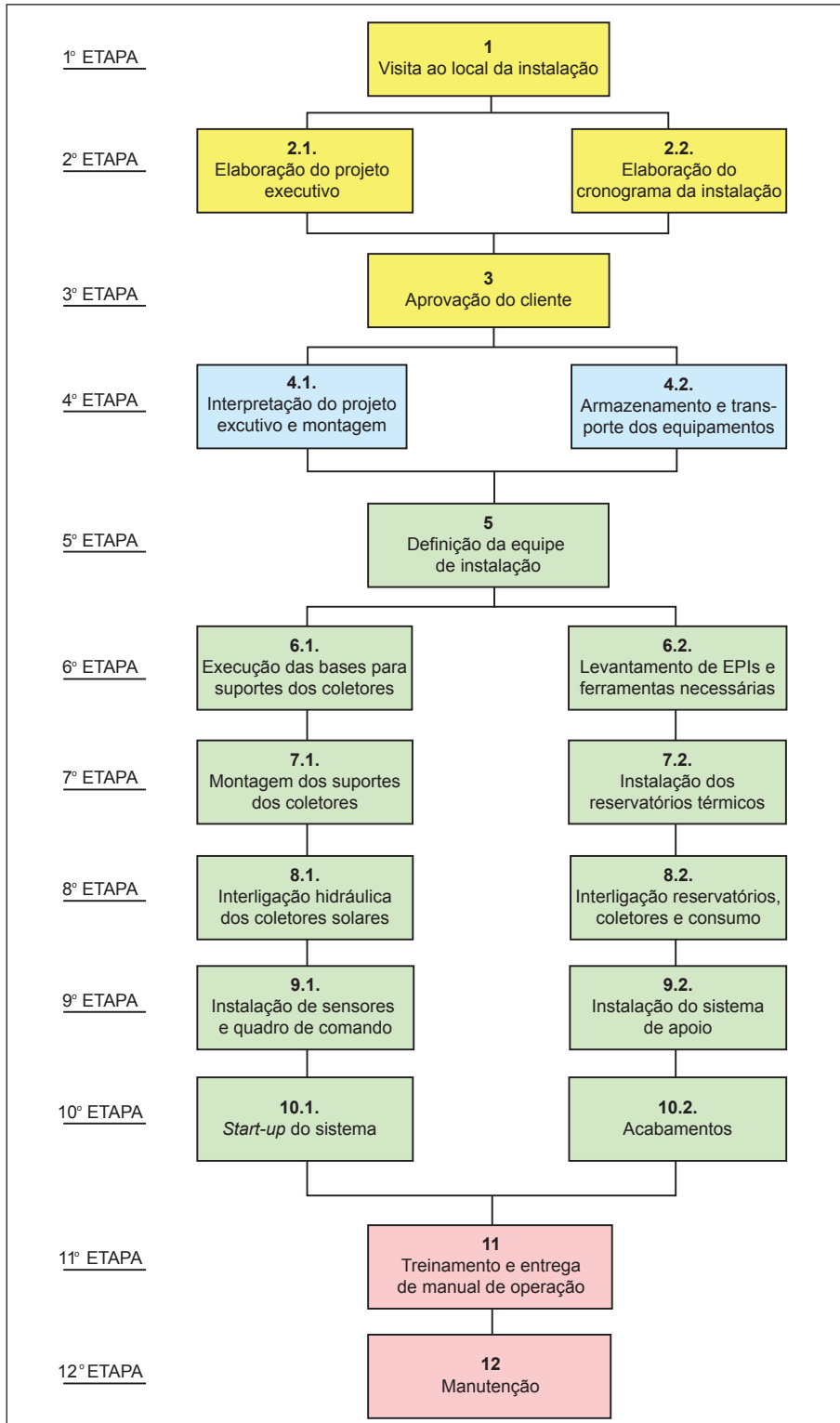
Fonte: NBR 15569.

É recomendado que a opção pelo aquecimento solar de água seja definida na fase de projeto das edificações, pois é nessa fase que decisões fundamentais a respeito do conceito energético da edificação são tomadas. Optar antecipadamente pelo aquecimento solar possibilita que os profissionais envolvidos na obra possam contribuir para o melhor desempenho da instalação solar, além de reduzir de 30 a 50% o custo da instalação em relação ao custo da adaptação pós-construção.



## Etapas do projeto de sistemas de aquecimento solar

O projeto de sistema de aquecimento solar pode ser dividido em quatro fases compostas por doze etapas. Observe no Fluxograma 6.1 essas divisões e etapas.



**FLUXOGRAMA 6.1.** Fases e etapas de um projeto de um sistema de aquecimento solar.

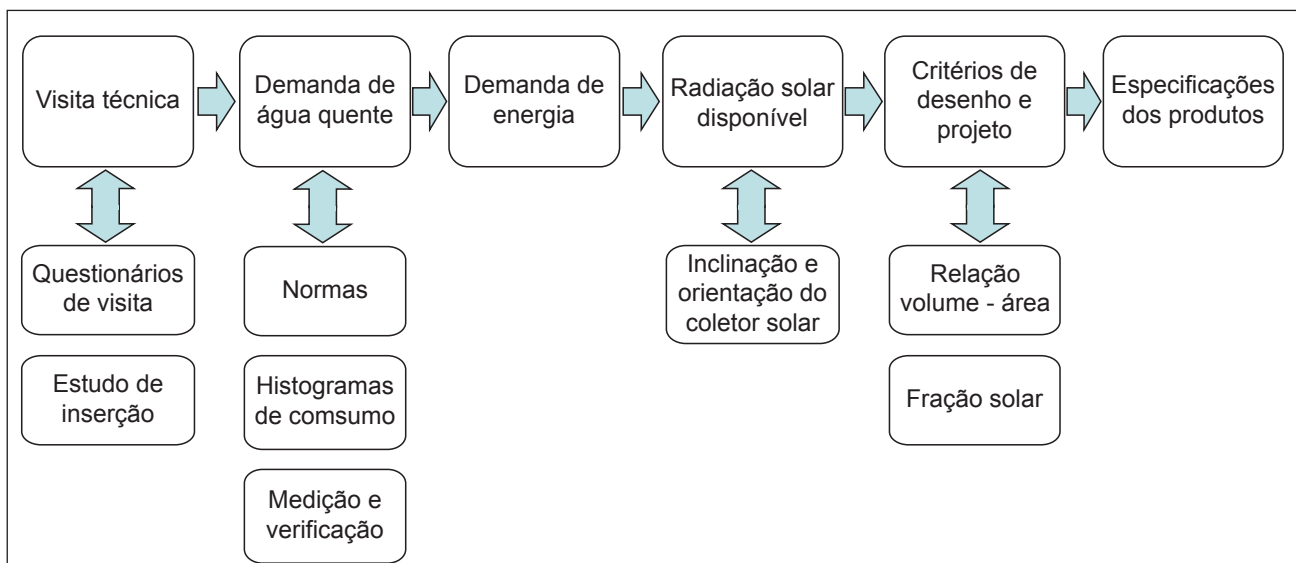
A primeira fase é composta pelas etapas 1 a 3. Nessa fase, o revendedor visita o local para colher informações para elaboração do projeto e do cronograma de obra, para após realizar os cálculos e, submetê-lo à aprovação do cliente. A visita ao local é importante e fundamental, pois é necessário avaliar o consumo (futuro) da residência, a estrutura da edificação, a existência de árvores ou edifícios nas imediações que possam interferir na insolação diária e o acesso ao imóvel e ao local de instalação.

Após a aprovação do cliente, inicia-se a fase dois, onde o instalador interpreta o projeto, seleciona os profissionais que participarão da montagem, separa os equipamentos e ferramentas necessárias, armazena e transporta os equipamentos.

A terceira fase é a montagem dos equipamentos, suportes e tubulações hidráulicas na obra, etapa que se finaliza com o sistema operando e em funcionamento. Após a verificação do funcionamento chega-se à fase final que é a entrega do manual de operação e o esclarecimento sobre os cuidados de manutenção preventiva.

### Detalhes da visita técnica

A visita técnica é a fase que garante o correto dimensionamento do sistema de aquecimento solar. Nessa etapa, o revendedor deverá seguir um roteiro para avaliar os hábitos de consumo de água quente de seu cliente, nível de conforto almejado e detalhes técnicos da hidráulica da casa ou projeto. Deverá avaliar também as condições climáticas da região e a fração solar, ou seja, a expectativa de economia que ele espera atingir, conforme demonstra o Fluxograma 6.2.



**FLUXOGRAMA 6.2.** Premissas básicas que devem ser questionadas no momento da visita técnica.

## Dimensionamento de água

A norma NB 128, escrita na década de 1970, prevê consumo de água quente de 36 litros per capita por dia, para as moradias populares. Porém, comparada às normas Europeias observam-se variações em relação a esse valor. Por exemplo, na Espanha o valor de consumo de água quente para uma casa popular é de 70 litros per capita.

**TABELA 6.2.** Consumo de água quente conforme a NB 128.

EDIFICAÇÃO	CONSUMO (l/dia)
Alojamento provisório	24 per capita
Casa popular ou rural	36 per capita
Residência	45 per capita
Apartamento	60 per capita
Quartel	45 per capita
Escola internato	45 per capita
Hotel (s/cozinha e s/lavanderia)	36 por hóspede
Hospital	125 por leito
Restaurante e similares	12 por refeição
Lavanderia	15 por kg roupa seca

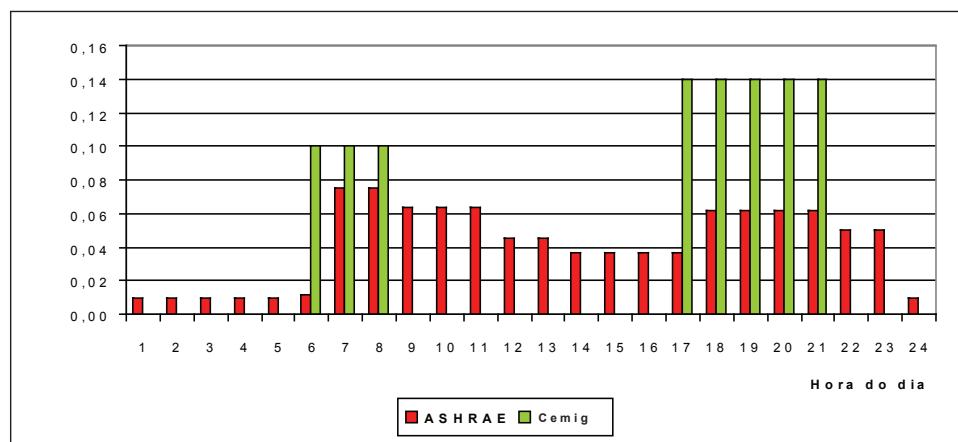
**TABELA 6.3.** Consumo de água quente com base na norma em vigor na Espanha.

TIPO DE EDIFÍCIO	CLASSIFICAÇÃO	UNIDADE DE CONSUMO	CONSUMO UNITÁRIO (l/dia)
Residencial	Vivenda	peessoa	40
Estabelecimento hoteleiro ou alojamento turístico	Hotel de menor ou igual a 3 estrelas	peessoa	55
	Hotel de 4 estrelas	peessoa	80
	Hotel de 5 estrelas	peessoa	100
	Camping	peessoa	30
Centro comunitário	Quartel	peessoa	40
	Centro penitenciário	peessoa	40
	Centro desportivo	peessoa	30
Centro sanitário	Hospital, clínica	peessoa	80
Residência	Residência de estudantes, internado	peessoa	40
	Residência de anciões	peessoa	60
Centro educativo	Escola, colégio	peessoa	6
Restauração	Restaurante	comida	12
	Cafeteria	café da manhã	2
Lavanderia		kg de roupa	9

Para garantir estimativas mais adaptadas ao momento presente, a maior parte das empresas brasileiras trabalha com referências próprias, pois é muito difícil padronizar o consumo de água quente no Brasil, devidos a fatores climáticos e diferentes níveis de insolação encontrados no país.

Além das referências fornecidas pelas normas, que nem sempre apresentam valores próximos aos das demandas atuais, é possível fazer o dimensionamento tomando como base o histórico de consumo de unidades residenciais que foram monitoradas com essa finalidade. Um exemplo de acompanhamento foi realizado pela empresa de energia elétrica Cemig, com o objetivo de descobrir o perfil de demanda de água quente ao longo do dia, em 100 prédios localizados na cidade de Belo Horizonte. Observe no Gráfico 6.1 a comparação dos dados obtidos pela Cemig com os de um estudo realizado pela empresa norte-americana ASHRAE.

**GRÁFICO 6.1.** Perfil de consumo diário de água quente. Observe que entre 6 e 8 horas e 17 e 21 horas são os períodos em que ocorrem os maiores consumos de água quente nas residências monitoradas pela Cemig e pela ASHRAE.



Fonte: Abrava, 2008.

### Exemplo de dimensionamento

O objetivo do dimensionamento é determinar qual a área coletora e o volume do sistema de armazenamento necessário para atender à demanda de energia útil de um determinado perfil de consumo. Para isso, utilizam-se a NBR 7198 e as informações da visita técnica, além da experiência profissional e do bom senso prático.

Uma forma de calcular o dimensionamento é por meio de planilhas eletrônicas. O exemplo dos histogramas da Figura 6.1 é de uso exclusivo educacional. O que diferencia uma planilha educacional de um *software*<sup>1</sup> profissional de dimensionamento de consumo é a possibilidade de realizar simulações, que permitem alterar os perfis de consumo diários, semanais e mensais. Essa ferramenta possibilita que seu projeto trabalhe com cenários realistas, considerando a sazonalidade diária, semanal e por estações.

1. O *software RETScreen* é um programa de análise de projetos de energia limpa que possibilita avaliar a produção e economia de energia, os custos durante o tempo de vida, a redução das emissões, análise financeira e de risco para vários tipos de tecnologias eficientes ou renováveis, além de incluir banco de dados de produtos, custos e clima; e manual de usuário detalhado.

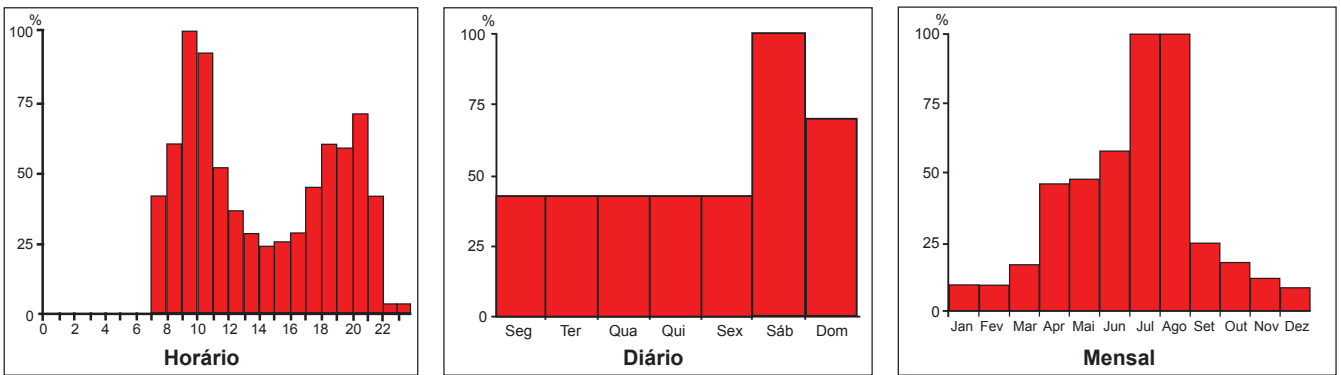


FIGURA 6.1. Exemplos de histogramas de consumo de água quente horário, diário e mensal.

Elaborar o dimensionamento com base no histograma de consumo é a maneira mais correta de trabalhar, principalmente em sistemas nos quais ocorrem picos elevados de consumo em determinadas horas do dia, por exemplo, em vestiário de indústrias durante a troca de turno ou em motéis, durante o final de semana. Nesses setores de serviços, o dimensionamento não pode ser feito com base nos consumos de pico, mas sim calculado com base na média, caso contrário, altera-se a relação custo-benefício e o tempo de retorno se torna muito longo, o que desaconselharia a instalação.

Com base nas informações obtidas na visita técnica e nos hábitos de consumo, preenche-se as células dos campos amarelos da planilha educacional. Após o término do preenchimento se obtém o valor da fração solar, ou seja, a economia que você vai proporcionar para o usuário.

Observe na Tabela 6.4 um exemplo utilizando a planilha educacional de dimensionamento para uma residência unifamiliar.

TABELA 6.4. Dados da obra para uma residência unifamiliar utilizando planilha educacional.

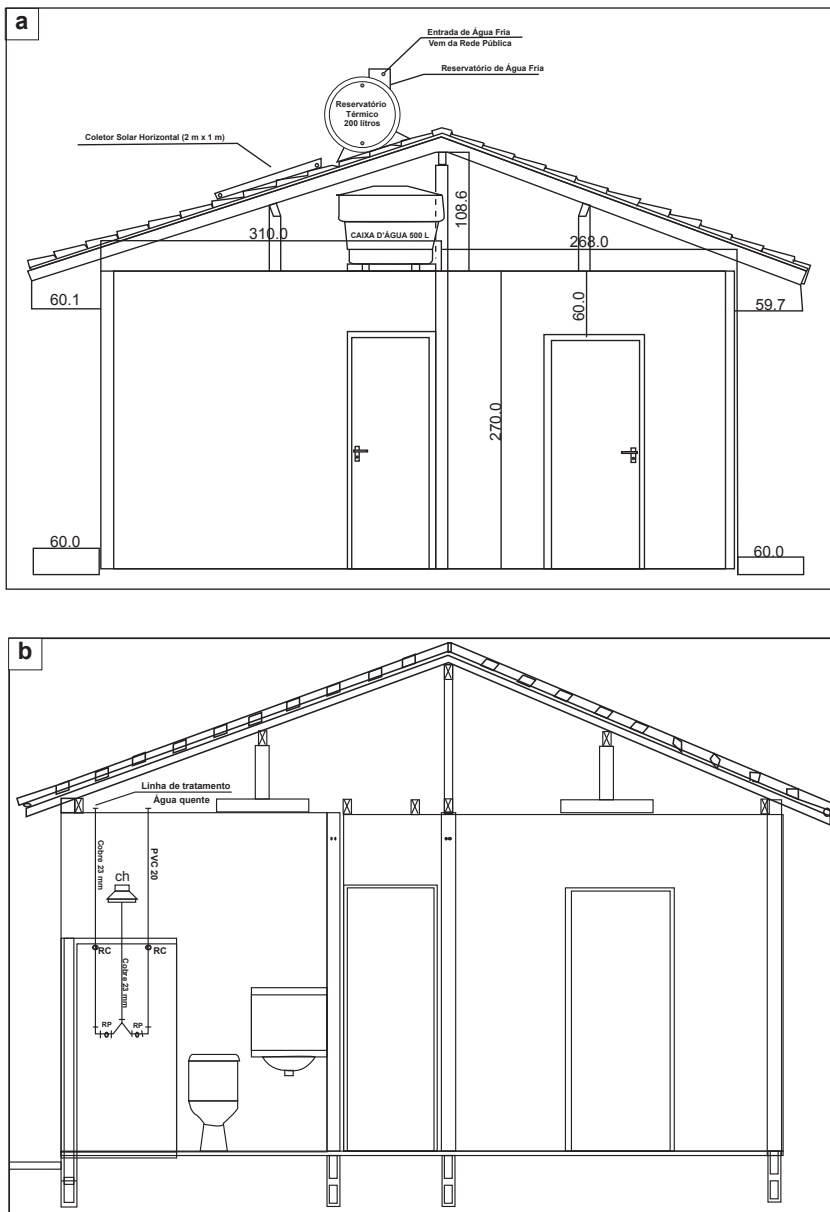
- As células em azul são calculadas pela planilha ou fornecidas de outra parte.
- As células em amarelo devem ser preenchidas pelo usuário.

<p>A planilha simula com dados climáticos da cidade de São Paulo</p> <p><b>DADOS DA OBRA</b></p> <p>Inserir a inclinação do telhado ou do suporte no qual serão instalados os coletores solares → Local</p> <p>Inserir desvio que o telhado escolhido para inserir os coletores solares tem em relação ao Norte Geográfico → Desvio do norte geográfico (graus)</p>		<p><b>SÃO PAULO</b></p> <p>20</p> <p>0</p>	<p>Radiação solar no plano Inclinado (MJ/m<sup>2</sup>/ano)</p> <p><b>5285,41</b></p>
<p><b>DADOS DOS PRODUTOS</b></p> <p>Valor calculado na planilha de demanda de água quente → Demanda diária de água quente a 40 °C</p> <p>Volume do consumo diário de água quente armazenada → Volume reservatório (litros)</p> <p>Recomenda-se entre 45 e 60 °C → Temperatura de armazenamento</p>		<p>Modelo</p> <p>997,6</p> <p>600</p> <p>53,1</p>	<p>Radiação solar no plano Inclinado (kWh/m<sup>2</sup>/ano)</p> <p><b>1468,17</b></p> <p>Radiação solar diária média no plano inclinado (kWh/m<sup>2</sup>/ano)</p> <p><b>4,02</b></p>
<p>Especificar o modelo do coletor solar segundo descrição no site do INMETRO e apresentar relatório completo de ensaios do produto</p> <p>Entrar com valor da área do modelo do coletor solar proposto</p> <p>Entrar com valor segundo indica o relatório de ensaios do INMETRO. Usar vírgula para preencher a planilha</p> <p>Deve estar entre 50 e 180</p>		<p>1,5</p> <p>Área do coletor solar (m<sup>2</sup>)</p> <p>FrUL</p> <p>Fr(ta)</p> <p>Número de coletores solares</p> <p>Área coletora total (m<sup>2</sup>)</p> <p>0</p> <p>Relação Volume/Área (lt/m<sup>2</sup>)</p>	<p><b>DADOS DO RESERVATÓRIO TÉRMICO</b></p> <p><b>16816,8</b></p> <p>Demanda anual de energia (MWh)</p> <p><b>8,36</b></p> <p><b>CRITÉRIOS DE DESEMPENHO</b></p> <p>Fração solar (%)</p> <p><b>0,0</b></p>



### Exemplos de aplicação em habitações de interesse social

As instalações de aquecedores solares das habitações unifamiliares do programa “Minha casa, minha vida” deverão ser atendidas por sistema acoplado, composto por um reservatório térmico e um conjunto de placas coletoras com capacidade de produção de no mínimo 152 kWh mensais por m<sup>2</sup>. O sistema acoplado será posicionado sobre o telhado, sem a necessidade de alteração da posição da caixa de água fria, conforme apresentam as imagens da Figura 6.2.



**FIGURA 6.2.** Em (a), desenho técnico em corte lateral mostrando detalhes do sistema acoplado e a posição da caixa de água; e em (c), desenho técnico em corte lateral mostrando detalhes dos pontos de uso final de água quente.







## Fundamentos de solarimetria e geometria solar ▷▷ 7

Neste tópico serão abordados itens fundamentais de solarimetria como modelos de radiação solar e a radiação disponível em diferentes planos inclinados, assim como implicações para o projeto de sistemas de aquecimento solar, como o posicionamento dos sistemas de captação da energia solar (orientação e inclinação) e a inserção dos coletores solares nas edificações.

## Solarimetria

A energia solar é gerada no núcleo do Sol, por meio de reações de fusão nuclear que liberam grande quantidade de energia. No interior da estrela a temperatura é estimada em  $15 \times 10^6$  °C, enquanto na superfície é de  $6 \times 10^3$  °C, sendo que esta energia é emitida para o espaço em um variado espectro de ondas eletromagnéticas.

Todos os corpos emitem radiação eletromagnética como consequência de sua energia interna que, em condições de equilíbrio, é proporcional à temperatura do corpo. O espectro eletromagnético da luz solar parte do ultravioleta, passa pela luz visível e vai até o infravermelho, conforme ilustrado na Figura 7.2.

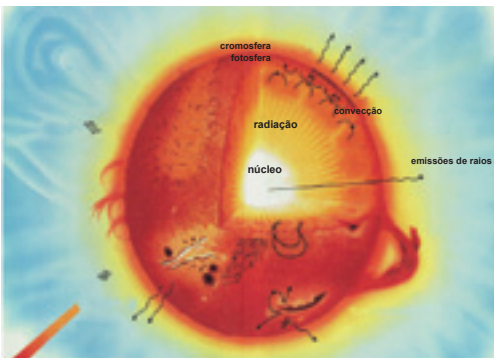


FIGURA 7.1. Ilustração mostrando detalhes internos e externos do Sol.

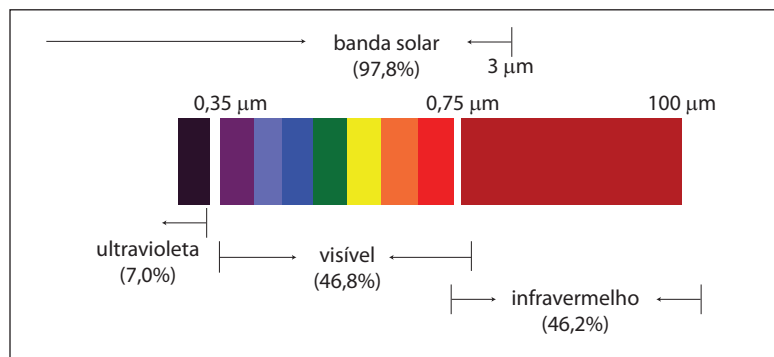


FIGURA 7.2. Espectro eletromagnético da Luz.

Após percorrer aproximadamente  $150 \times 10^6$  km, a luz solar atinge a atmosfera da Terra com uma energia de  $1370 \text{ W/m}^2$ . Esse valor, conhecido por constante solar (GSC), é a energia incidente por unidade de tempo e área, em uma superfície instalada na face externa da atmosfera da Terra, de modo a receber os raios solares com incidência normal (*perpendicular a esta superfície hipotética*). Uma tecnologia que aproveita essa radiação solar constante na atmosfera são os painéis fotovoltaicos dos satélites artificiais.

A radiação solar, ao atravessar a atmosfera do planeta, começa a diminuir de intensidade, atingindo valores próximos a  $1000 \text{ W/m}^2$  na superfície do planeta. Esse valor, conhecido por radiação global, é composto por uma fração solar direta (GB) e outra difusa (GD). A GB é definida como a fração da radiação solar que atravessa a atmosfera terrestre sem sofrer qualquer alteração em sua direção original e GD refere-se à componente da radiação solar que, ao atravessar a atmosfera, é espalhada pelos gases componentes da atmosfera, por aerossóis, poeira.

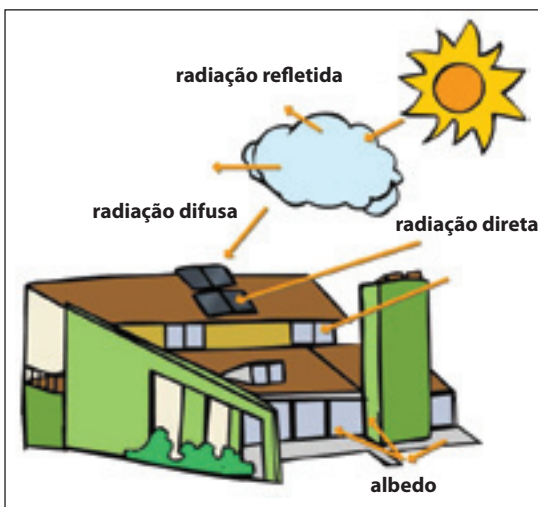
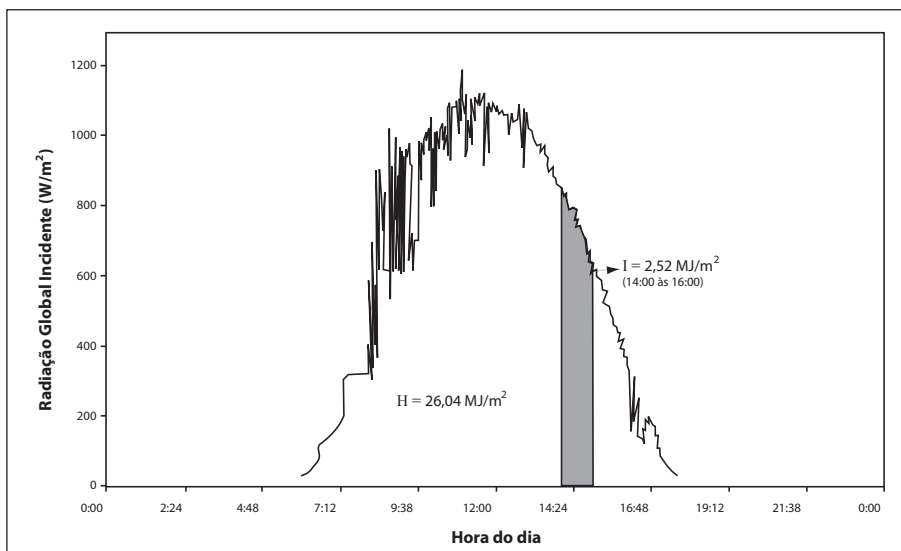


FIGURA 7.3. Ilustração esquemática mostrando a fração direta e a difusa da radiação global próxima à superfície da Terra.

Existem instrumentos apropriados para avaliar a intensidade solar na superfície terrestre, os principais são o heliógrafo, que registra as horas de incidência da luz solar, e os actnógrafos - piranômetro e piroheliômetro - utilizados para medir a radiação solar. Por muito tempo os heliógrafos foram utilizados para medir as horas de insolação, em diversas regiões do Brasil, porém somente essa informação não era suficiente para determinar a radiação solar na superfície do coletor, pois era necessário converter essa informação em radiação solar. Ao longo dos anos foram sendo desenvolvidos modelos que possibilitaram a conversão das horas de sol em radiação na superfície dos coletores. Esses modelos consideravam os valores das componentes direta e difusa multiplicados pelo fator chamado de “claridade do céu”, no caso do Brasil, adota-se o valor parcialmente nublado.

Hoje, as estações de medição de radiação possuem actinógrafos, piranômetros, piroheliômetros, que medem as radiações difusa, direta e global, possibilitando determinar com precisão qual a área de coletores a ser instalada. Para isso, devem-se posicionar os instrumentos no plano inclinado em que os coletores serão instalados e verificar o valor registrado ao longo de uma hora de exposição. O valor da radiação global diária varia ao longo do dia, atingindo em algumas regiões do país, picos em torno de  $1200 \text{ W/m}^2$ . Observe no gráfico da Figura 7.4 a variação diária da radiação global incidente durante o período das 7 às 18h.



**FIGURA 7.4.** Analisando o gráfico é possível obter os valores instantâneos ( $G$ ), integrados em média horária ( $I$ ), integrados em média diária ( $H$ ).

Outra maneira de conhecer os dados referentes à radiação solar de uma região é por meio de consulta ao Atlas Solarimétrico do Brasil.<sup>1</sup> Esse documento reúne dados fornecidos por estações solarimétricas localizadas em diferentes estados e municípios brasileiros. Por exemplo, o Atlas Solarimétrico do Brasil editado em 2000 e atualizado em 2006, apresenta cartas de isolinhas da radiação solar global diária e mensal, além da radiação solar diária e anual para todos os estados brasileiros.

1. Disponível em: [www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/publicacoes/atlas\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/publicacoes/atlas_solar.htm).

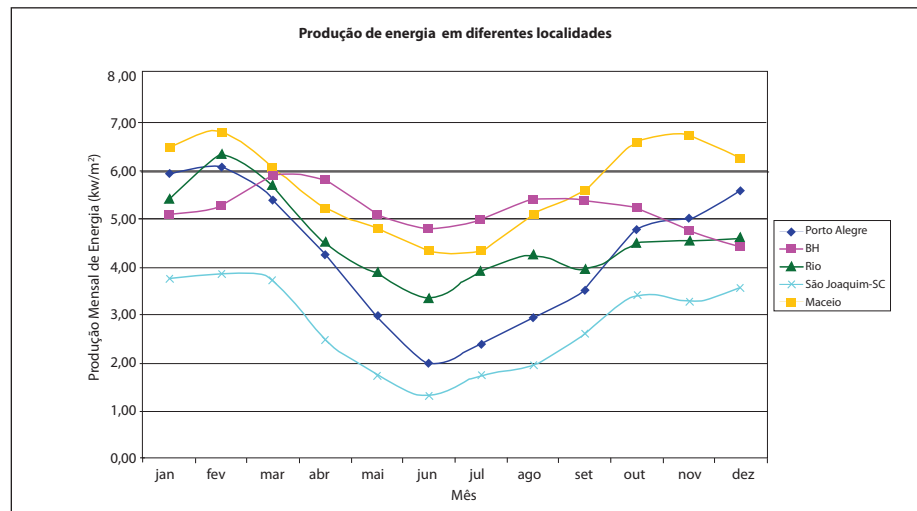
FIGURA 7.5. Radiação solar global diária, média mensal em MJ/m<sup>2</sup>, dia.



Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000. (Adaptado).

Analisando o mapa é possível observar que existem regiões acima da média nacional, como norte de Minas, interior da Bahia, Nordeste e Belo Horizonte. Por outro lado, é possível notar também que estados como Santa Catarina e Rio Grande do Sul apresentam valores abaixo da média nacional, o que não significa que nesses estados o uso dessa tecnologia seja desaconselhável. Para se ter uma idéia da quantidade de energia disponível no Brasil ao longo dos 280 dias de insolação anuais, a menor média anual de radiação solar no Brasil, a de Santa Catarina, é cerca de 30% superior à da maior média de radiação anual da Alemanha, um dos países líderes em utilização da energia solar para aquecimento de água na Europa.

FIGURA 7.6. Produção mensal de energia em diferentes localidades brasileiras.



## Geometria solar

O modelo de radiação solar é utilizado mundialmente pelos profissionais que trabalham com instalação de aquecimento solar. A partir dos dados do mapa solarimétrico, latitude e a longitude da região, é possível chegar ao valor exato da radiação solar daquele local.

### Diferença entre Latitude e Longitude

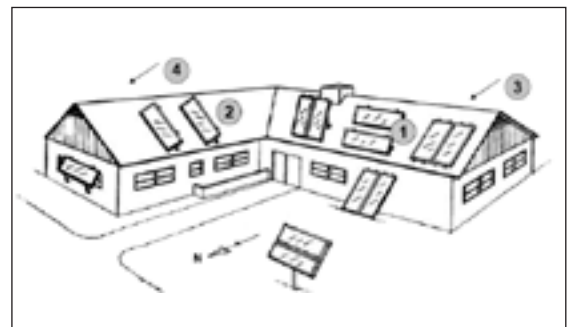
Latitude Geográfica ( $f$ ) corresponde à posição angular em relação à linha do Equador, considerada de latitude zero. Cada paralelo traçado em relação ao plano do Equador corresponde a uma latitude constante: positiva, se traçada ao Norte e negativa, se posicionada ao sul do Equador. Os Trópicos de Câncer e de Capricórnio correspondem às latitudes de  $23^\circ 27'$  ao Norte e ao Sul, respectivamente, compreendendo a região tropical.

Longitude geográfica ( $L$ ) é o ângulo medido ao longo do Equador da Terra, tendo origem no meridiano de Greenwich (referência) e extremidade no meridiano local. Na Conferência Internacional Meridiana foi definida sua variação de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  (oeste de Greenwich) e de  $0^\circ$  a  $-180^\circ$  (leste de Greenwich). A Longitude é muito importante da determinação dos fusos horários e da hora solar.

Conforme comentado anteriormente, as atividades fundamentais que devem ser realizadas na visita técnica são: analisar a edificação e os telhados, observar o entorno da edificação e conferir as informações sobre hábito de consumo dos moradores. O objetivo dessa análise é determinar qual deve ser o correto posicionamento dos coletores solares sobre o telhado, de forma a garantir o melhor aproveitamento diário de insolação sobre o conjunto de coletores ou a maior captação da radiação solar em determinadas épocas do ano.

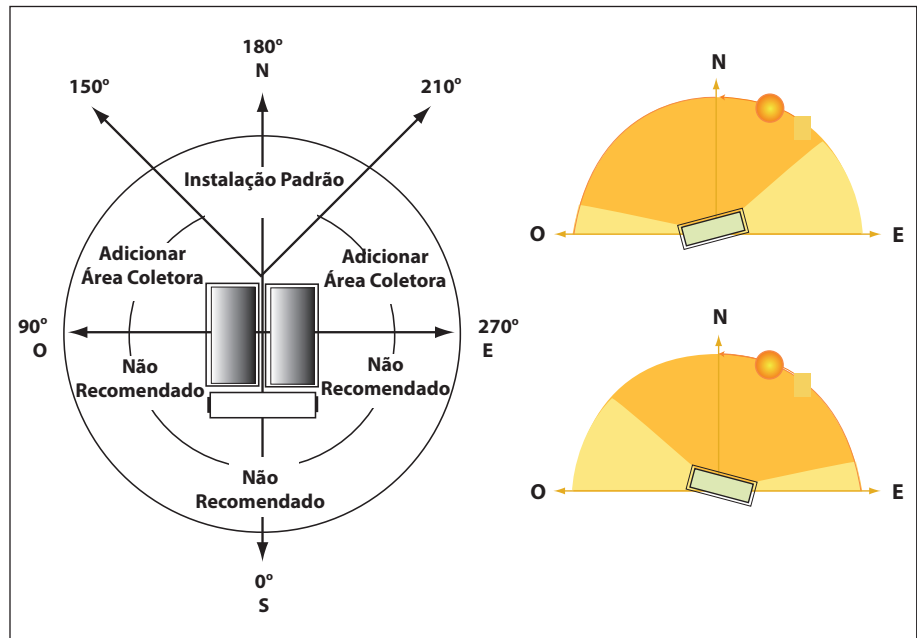
Durante a visita técnica é necessário avaliar a possibilidade de utilizar o telhado que esteja posicionado para o Norte geográfico para instalar o conjunto de coletores solares. Observe na ilustração da Figura 7.7 uma residência que apresenta quatro possibilidades de águas no telhado. Além da configuração padrão posicionada para o Norte geográfico é possível direcionar os coletores em outras direções, para atender casos especiais como o pico de consumo de água quente ao meio dia ou final da tarde e o favorecimento do inverno.

A ilustração da Figura 7.8 mostra como se deve proceder quanto ao direcionamento dos coletores solares. Por meio da análise da ilustração entende-se que além da instalação padrão, com coletores direcionados para o Norte, pode-se em alguns casos, orientar os coletores para Leste ou Oeste, considerando um acréscimo na área coletora para suprir a deficiência de radiação incidente.



**FIGURA 7.7.** Sempre que possível deve-se procurar direcionar os coletores para o Norte geográfico. Dessa forma o sistema de aquecimento solar recebe radiação solar durante o ano todo.

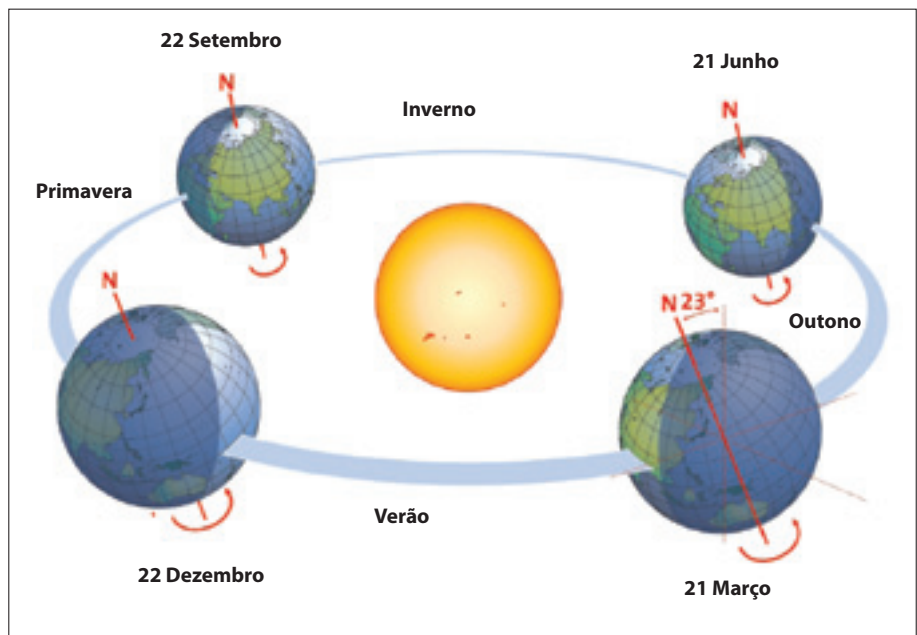
**FIGURA 7.8.** Ilustração esquemática demonstrando a orientação correta para o posicionamento dos coletores solares. Não é recomendada a instalação de coletores solares direcionados para o Sul.



### Movimento aparente do Sol

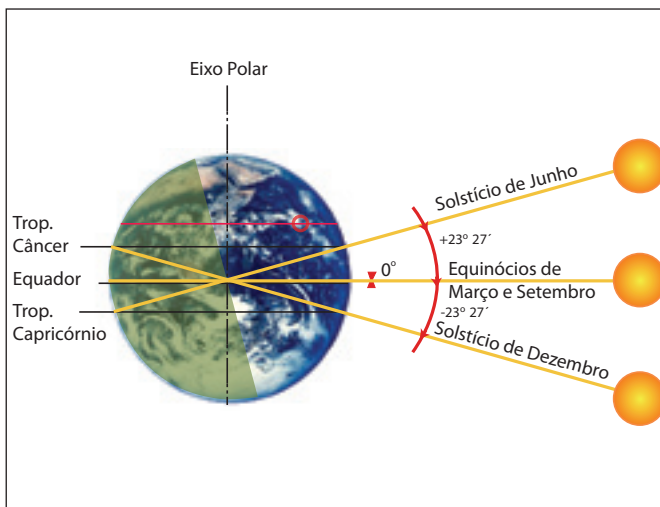
Para um observador aqui na Terra o Sol parece se mover diariamente de Leste para Oeste. Devido o movimento de rotação da Terra é possível observar a sucessão diária dos dias e noites. Além do movimento de rotação, a Terra descreve um movimento de translação ao redor do Sol, que demora em média 365 dias para completar uma volta. A órbita da Terra ao redor do Sol parece uma circunferência, mas na verdade é uma elipse. O Sol se localiza em um dos focos dessa elipse em torno do Sol.

**FIGURA 7.9.** Ilustração esquemática mostrando a trajetória da Terra ao redor do Sol. Observe que ao longo do movimento de translação se estabelecem quatro estações: Primavera, Verão, Outono e Inverno.

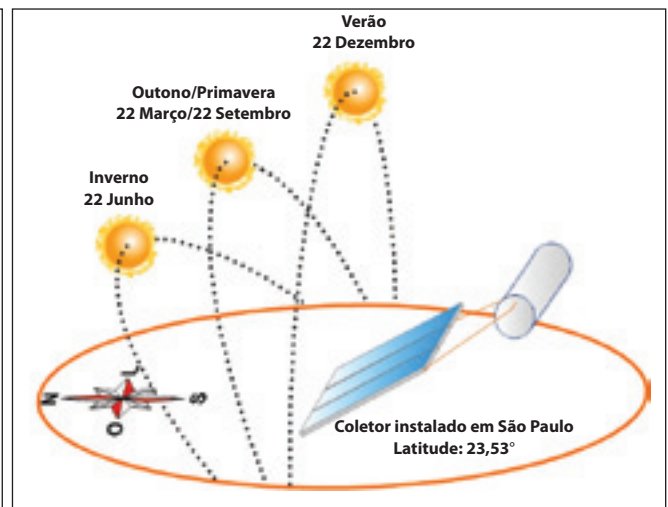


A Terra gira ao redor de um eixo imaginário que vai de um Pólo ao outro atravessando seu interior. O eixo da Terra, ou seja essa linha imaginária, é inclinada em aproximadamente  $23,5^\circ$  (veja na Figura 7.10) em relação a uma linha perpendicular à órbita da Terra. O formato quase esférico da Terra, a inclinação de seu eixo e o movimento de translação fazem surgir ao longo do ano variação de temperatura, alternância na duração dos dias e noites, alteração no regime de chuvas e variação na inclinação dos raios solares sobre a superfície terrestre.

Após determinar a direção na qual o coletor solar será posicionado, com preferência para o Norte geográfico, é necessário determinar a inclinação do conjunto de coletores sobre o telhado. As Figuras 7.10 e 7.11 demonstram que devido ao movimento aparente do Sol é possível determinar valores máximos positivos e negativos em relação à latitude da cidade na qual será instalado o aquecedor solar. Essas informações permitem ao projetista decidir se deseja otimizar o sistema para determinada época do ano ou se deseja favorecer a incidência o ano inteiro. Se for para favorecer o ano inteiro o correto é inclinar o conjunto de coletores com ângulo igual ao da latitude local mais  $10^\circ$ , dessa forma nas estações inverno, primavera e outono os raios solares irão incidir praticamente perpendiculares ao plano dos coletores solares.



**FIGURA 7.10.** Ilustração esquemática mostrando a variação máxima positiva e negativa da inclinação dos raios solares em relação à superfície da Terra nas estações primavera, outono, inverno e verão. Essa análise favorece o cálculo da declinação solar.



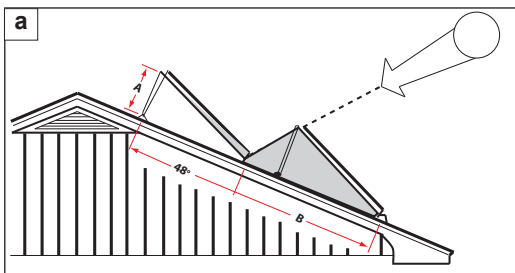
**FIGURA 7.11.** Ilustração esquemática mostrando a inclinação dos raios solares em relação à superfície da Terra para a cidade de São Paulo. Essa inclinação favorece os coletores a “enxergarem” o Sol por mais horas, principalmente nas estações da primavera, outono e inverno.

**Diferença entre Norte geográfico e o Norte magnético**

Os coletores solares devem ser direcionados para o Norte geográfico, porém quando a localização é feita com o uso de bússola é necessário fazer um ajuste em graus para encontrar a posição correta, pois a agulha da bússola se orienta a partir do campo magnético da Terra, ocasionando diferença entre o Norte geográfico e o Norte magnético. Observe na tabela abaixo a declinação magnética em graus para as principais cidades brasileiras.

Capital	Declinação magnética (em graus)	Capital	Declinação magnética (em graus)
Porto Alegre	-14,74	Teresina	-21,4
Florianópolis	-17,46	São Luis	-20,7
Curitiba	-17,3	Belém	-19,5
São Paulo	-19,6	Macapá	-18,5
Belo Horizonte	-21,5	Palmas	-19,9
Rio de Janeiro	-21,4	Manaus	-13,9
Vitória	-22,8	Boa Vista	-14,0
Salvador	-23,1	Porto Velho	-10,6
Aracajú	-23,1	Rio Branco	-7,34
Maceió	-22,9	Goiânia	-19,2
Recife	-22,6	Cuiabá	-15,1
João Pessoa	-22,4	Campo Grande	-15,2
Natal	-22,1	Brasília	-20,0
Fortaleza	-21,6		

Antes de finalizar os cálculos referentes a radiação no plano inclinado é necessário determinar se os coletores serão instalados diretamente sobre as telhas aproveitando a inclinação do telhado ou serão apoiados em suportes inclinados instalados na laje ou sobre as telhas.

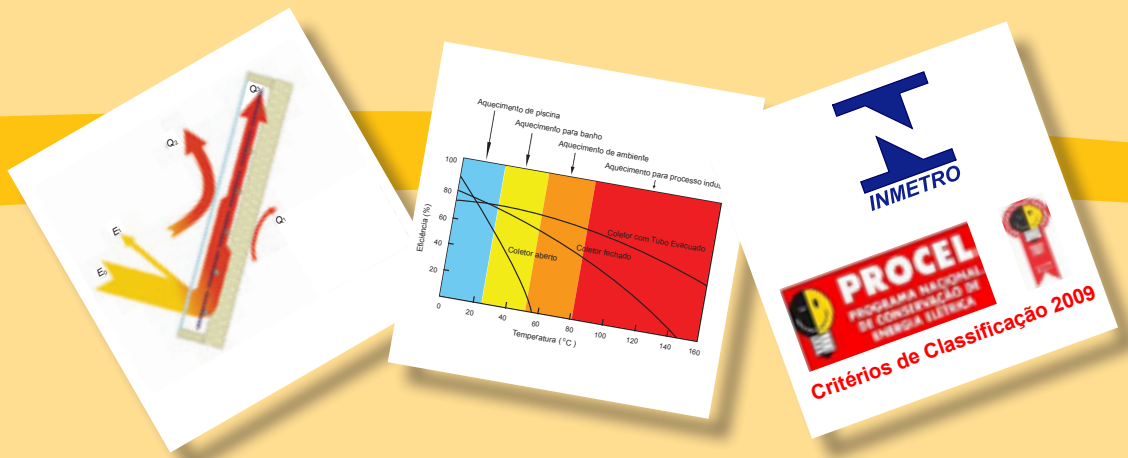


**FIGURA 7.12.** Em (a), coletores apoiados em suporte inclinado sobre o telhado. Em (b), coletores apoiados em suporte inclinado apoiado sobre a laje.









## Seleção de componentes ▷▷ 8

### Coletores solares e reservatórios térmicos

Neste tópico será apresentado o balanço de energia do coletor solar e a maneira de selecionar um coletor solar no mercado a partir dos resultados de ensaios realizados no Inmetro. Com isto será possível avaliar as diversas tecnologias disponíveis e sua adequação às diferentes aplicações.

## Balço de energia nos coletores

O coletor solar é um equipamento que transforma energia solar em energia térmica por meio de um processo que envolve as etapas de captação, armazenamento e transferência. Porém em todo processo de transferência de energia térmica ocorrem perdas por condução entre os componentes e por convecção para o meio ambiente. No caso do coletor solar, além da qualidade dos materiais, alguns aspectos técnicos aumentam as perdas térmicas, reduzindo a eficiência dos coletores.

De um modo geral a eficiência de um coletor é determinada em função da potência térmica disponível dividida pela radiação que atinge a área do coletor, conforme descreve a equação 1.

$$\eta = \frac{Q_N}{E}, \text{ (equação 1);}$$

Na qual:

$\eta$  = rendimento;

$Q_N$  = Potência térmica disponível ( $W/m^2$ );

$E$  = Irradiação na superfície do coletor ( $W/m^2$ ).

Analisando a equação 1, pode-se notar que a irradiação na superfície do coletor ( $E$ ) é um valor que depende exclusivamente da região onde o coletor será instalado, uma vez definido, esse valor é constante, dependendo somente da área instalada. Agora, a potência térmica disponível ( $Q_N$ ) depende de fatores técnicos como a transmissividade do vidro ( $\tau$ ), absorvidade da superfície ( $\alpha$ ), perdas térmicas e diferença de temperatura entre coletor e ambiente, conforme apresenta as equações 2, 3 e 4.

$$Q_N = E_N - Q_V \text{ (equação 2);}$$

$$E_N = E \times \tau \times \alpha \text{ (equação 3);}$$

$$Q_V = U_L \times \Delta T \text{ (equação 4).}$$

Nas quais:

$E_N$  : Energia disponível na placa ( $W/m^2$ );

$Q_V$  : Perdas térmicas ( $W/m^2$ );

$U_L$  : Coeficiente global de perdas térmicas nas laterais, topo e base ( $W/m^2 \cdot K$ );

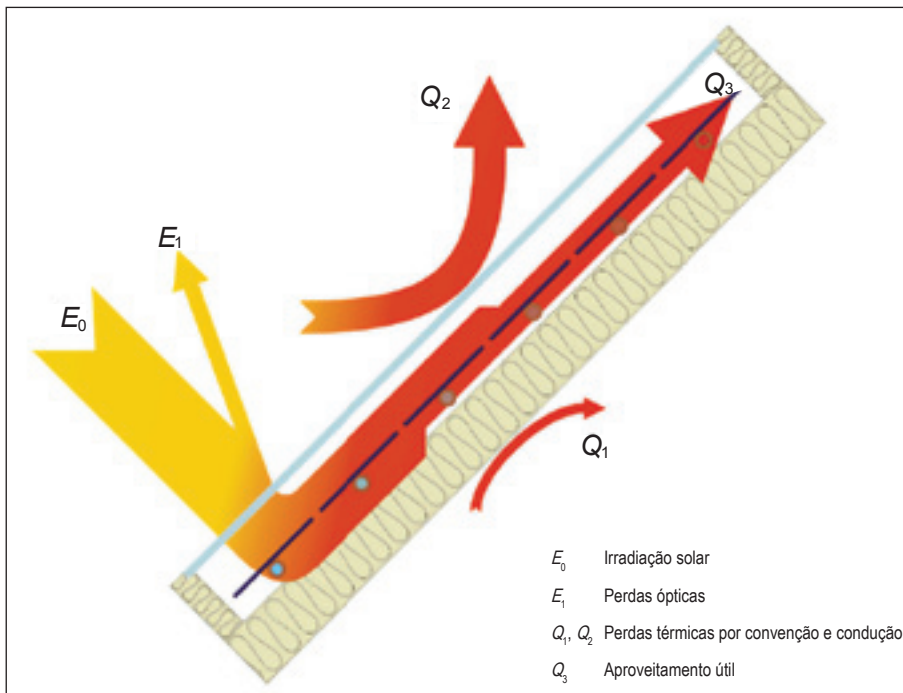
$\Delta T$  : Diferença de temperatura do ar e da placa absorvedora ( $^{\circ}C$ );

$\tau$  : transmissividade do vidro;

$\alpha$  : absorvidade da tinta da placa absorvedora.

Estas variáveis técnicas relacionadas às perdas térmicas por convecção e reflexão da luz são verificadas por meio de ensaios quando da submissão do coletor aos testes no laboratório do Inmetro. Um bom coletor deve garantir altos valores de transmissividade e absorvidade e apresentar baixas perdas térmicas nas laterais, superfície e fundo da caixa coletora. Para isso, é fundamental utilizar vidros com baixo índice de reflexão, pintar a placa absorvedora com tinta seletiva e cuidar do isolamento térmico dos coletores, pois perdas térmicas são influenciadas pela diferença de temperatura entre a caixa absorvedora e temperatura ambiente. Para garantir perdas térmicas ( $U$ ) baixas é necessário utilizar bons isolantes térmicos e evitar a infiltração de água no interior da caixa coletora, além de buscar a excelência no processo de fabricação das placas absorvedoras e das aletas.

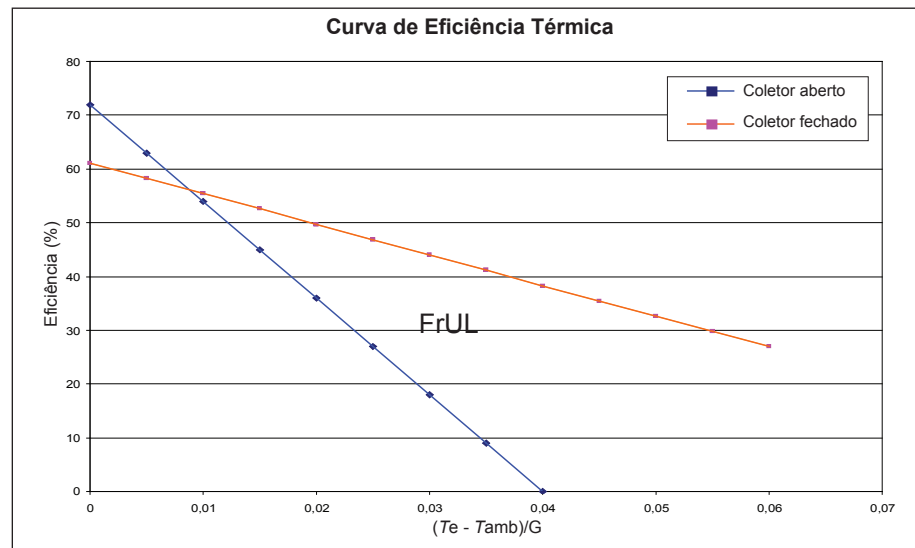
É possível determinar a eficiência de um coletor solar a partir dos resultados obtidos em ensaios realizados pelos fabricantes. Porém ao serem encaminhados ao Inmetro, além de outros testes, são realizados dois ensaios que influenciam na curva de eficiência do coletor. Um deles testa o rendimento óptico  $F_r (\tau, \alpha)$  e o outro, avalia as perdas térmicas  $F_r (U_L)$ . Ambos os resultados podem ser obtidos consultando o manual do fabricante ou, no caso dos coletores testados em laboratório público, estão disponíveis na tabela do Inmetro.



**FIGURA 8.1.** Parte da radiação incidente é refletida pela cobertura de vidro e outra parcela é refletida pela superfície absorvedora.

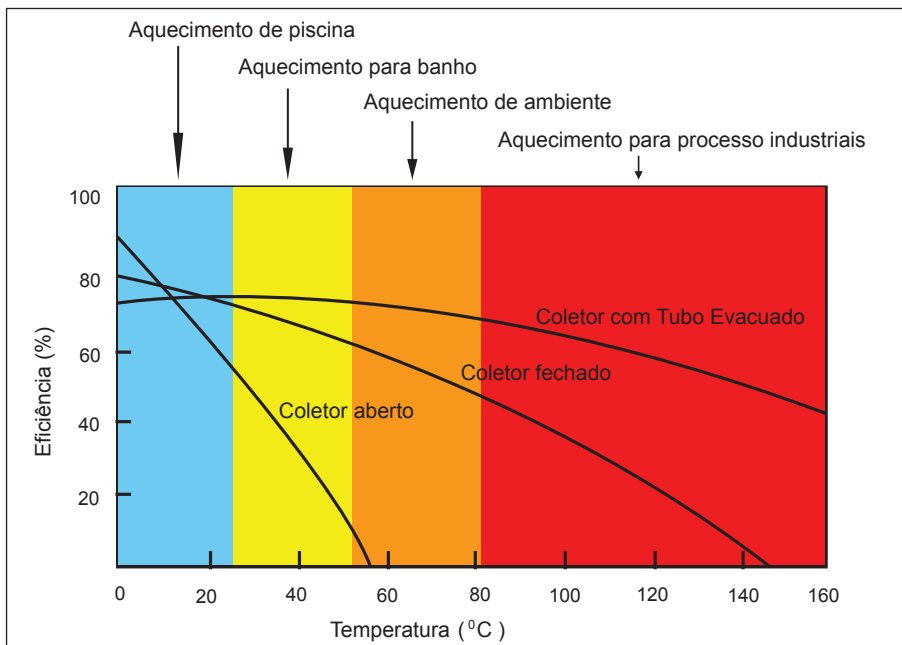
O ensaio referente ao rendimento óptico testa a eficiência térmica do coletor por meio de uma situação real. Inicialmente o coletor é posto em operação com água a temperatura ambiente. Ao longo do dia a temperatura da água vai se elevando gradativamente até atingir 60°. O gráfico da Figura 8.2 apresenta os resultados de dois coletores: o aberto e o fechado, para várias condições de radiação.

**FIGURA 8.2.** O coletor fechado reduz seu rendimento de maneira menos abrupta que o coletor aberto.



O fator de remoção de calor ( $Fr$ ) depende de características técnicas relacionadas à fabricação do coletor, como a qualidade da solda entre o tubo e a aleta; espessura da aleta; quantidade de aletas, ausência de infiltração de água no interior da caixa; espessura do isolante, absorvidade da tinta e transmissividade do vidro.

A curva de eficiência de um coletor varia em função da diferença de temperatura da água. Os coletores abertos apresentam um rendimento próximo a 90% no início de operação. Nesse momento a diferença de temperatura é baixa, porém conforme a diferença de temperatura aumenta, o rendimento diminui e quando a diferença atinge 60 °C, o rendimento chega a zero. No caso dos coletores fechados quando a diferença de temperatura está baixa apresentam rendimento próximo a 80% e ao atingirem diferença de temperatura acima de 140 °C, seu rendimento diminui. Já os coletores de tubo de vácuo, apresentam um desempenho inicial por volta de 75%. Conforme a temperatura vai aumentando seu desempenho se mantém constante, mesmo quando a diferença de temperatura está próxima à 50 °C, porém, a partir desse valor seu desempenho vai diminuindo obedecendo a uma declinação quadrática. Esse desempenho estável dos tubos de vácuo é justificado por não ocorrerem perdas térmicas para o ambiente, como ocorre com os coletores abertos e fechados. Observe o rendimento dos coletores abertos, fechados e tubo de vácuo, no gráfico da Figura 8.3.



**FIGURA 8.3.** Após entrar em operação o coletor solar vai reduzindo seu rendimento, conforme a diferença de temperatura da água vai aumentando.

Analisando os resultados entre o coletor aberto e o fechado é possível notar que o coletor aberto é mais eficiente em baixa temperatura. Por esse motivo ele é recomendado para aquecer piscinas. A ausência de cobertura de vidro possibilita que esse tipo de coletor tenha o máximo índice de transmissividade, ou seja, não há perdas por reflexão. O coletor fechado é recomendado para aquecimento de água de banho, pois mesmo quando a diferença de temperatura atinge 60 °C, o coletor mantém rendimento entre 60 e 75%.

O uso de coletores tubo de vácuo é recomendado para aquecimentos que requerem alta temperatura. Outra vantagem dos tubos de vácuo é a área de operação reduzida e o fato de poderem ser usados em fachadas. Num futuro próximo, a tecnologia de tubo de vácuo vai ser utilizada no Brasil principalmente para o aquecimento de ambientes, processos industriais e refrigeração solar.

## Tabela do Inmetro

A escolha do coletor é feita com base na tabela do Inmetro, que é atualizada mensalmente. A tabela apresenta divisões por **Classificação** de “A” a “E” e por **Aplicação**, por exemplo, “banho”. Observe que os coletores classificados em “E” são os que apresentam os maiores valores de perdas térmicas ( $FrUL$ ) ou de rendimento óptico  $Fr(\tau, \alpha)$ .

Além dessas informações principais é possível consultar outras informações como: os fabricantes que tem etiqueta, a marca do coletor, o modelo, as pressões de trabalho, a área externa, a produção média mensal de energia e a eficiência. Observe a Tabela 8.1 dos coletores solares para banho.



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA  
NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL

Programa Brasileiro de Etiquetagem

32 Empresas  
45 Marcas  
205 MODELOS ETIQUETADOS  
124 C/SELO PROCEL 60,49%



Critérios de Classificação 2009

Produção de Energia Mensal Específica em m<sup>2</sup> (kWh/mês.m<sup>2</sup>)

**SISTEMAS E EQUIPAMENTOS PARA AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA - EDIÇÃO 08/2009**  
**1 - COLETORES SOLARES**

CLASSES	ÍNDICE BANHO / ACOPLADO	ÍNDICE PISCINA	BANHO		ACOPLADO		PISCINA		TOTAL (B+A+P)
			TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%	
A	$P_{me} > 77,0$	$P_{me} > 95,0$	81	62,3	0	0,0	43	58,9	124
B	$77,0 \geq P_{me} > 71,0$	$95,0 \geq P_{me} > 87,0$	38	29,2	1	50,0	25	34,2	64
C	$71,0 \geq P_{me} > 61,0$	$87,0 \geq P_{me} > 79,0$	10	7,7	1	50,0	2	2,7	13
D	$61,0 \geq P_{me} > 51,0$	$79,0 \geq P_{me} > 71,0$	0	0,0	0	0,0	2	2,7	2
E	$51,0 \geq P_{me} > 41,0$	$71,0 \geq P_{me} > 63,0$	1	0,8	0	0,0	1	1,4	2
			130		2		73		205

**APLICAÇÃO: BANHO**

1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	
					PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MÉDIA							
FABRICANTE	MARCA	MODELO	PRESSÃO DE FUNCIONAMENTO (kPa)	ÁREA EXTERNA DO COLETOR (m <sup>2</sup> )	Por Coletor (kWh/mês)	Por m <sup>2</sup> (Específica) (kWh/mês.m <sup>2</sup> )	(%)	CLASSIFICAÇÃO	MATERIAL SUPERFÍCIE ABSORVEDORA	F <sub>r</sub> (T <sub>u</sub> ,Jh)	F <sub>r</sub> UL	SELO PROCEL (1)	
AQUECEMAX	AQUECEMAIS	LMPV 1.2	392,0	40,0	1,21	92,6	76,5	55,5	B	ALUMÍNIO	0,719	6,513	
		LMPV 1.5	392,0	40,0	1,52	116,3	76,5	55,5	B	ALUMÍNIO	0,719	6,513	
		LMPV 1.8	392,0	40,0	1,82	139,2	76,5	55,5	B	ALUMÍNIO	0,719	6,513	
		LMPV 2.0	392,0	40,0	2,01	149,7	74,5	54,0	B	ALUMÍNIO	0,695	6,182	
		SKE 2.0	600,0	61,2	2,37	198,6	83,8	59,9	A	COBRE	0,711	4,016	SIM
BOSCH	BUDERUS	SKN 3.0	600,0	61,2	2,37	210,0	88,6	63,2	A	COBRE	0,743	3,933	SIM
		BELOSOL	20,0	2,0	0,79	33,0	41,8	39,1	E	PVC	0,958	28,342	
CONTINI & PORTO	THERMOTINI	CSV16	392,0	40,0	1,56	111,7	71,6	51,0	B	ALUMÍNIO	0,678	6,039	
		PL100RE	400,0	40,8	1,30	82,0	82,0	58,8	A	ALUMÍNIO	0,759	7,199	SIM
COLSOL	COLSOL	PL130RE	400,0	40,8	1,30	106,6	82,0	58,8	A	ALUMÍNIO	0,759	7,199	SIM
		PL150RE	400,0	40,8	1,50	123,0	82,0	58,8	A	ALUMÍNIO	0,759	7,199	SIM
		PL200RE	400,0	40,8	1,92	157,4	82,0	58,8	A	ALUMÍNIO	0,759	7,199	SIM
		100	400,0	40,8	1,00	74,6	74,6	53,7	B	COBRE	0,703	6,788	
		140	400,0	40,8	1,42	106,8	75,2	54,7	B	COBRE	0,709	6,527	
CUMULUS	CSC SUPER	200	400,0	40,8	1,95	146,6	75,2	54,7	B	COBRE	0,709	6,527	
		100	400,0	40,8	1,00	87,1	87,1	62,4	A	COBRE	0,755	4,716	SIM
		140	400,0	40,8	1,42	123,7	87,1	62,4	A	COBRE	0,755	4,716	SIM
		200	400,0	40,8	1,95	169,8	87,1	62,4	A	COBRE	0,755	4,716	SIM
		200H	400,0	40,8	1,96	170,7	87,1	62,4	A	COBRE	0,755	4,716	SIM
CSC PREMIUM	CSC PREMIUM	140	400,0	40,8	1,42	93,2	65,6	48,1	C	ALUMÍNIO	0,646	6,979	
		200	400,0	40,8	1,95	127,9	65,6	48,1	C	ALUMÍNIO	0,646	6,979	
		100	400,0	40,8	1,00	81,5	81,5	57,9	A	COBRE	0,646	6,979	SIM
CSA SUNPOP	CSA SUNPOP	140	400,0	40,8	1,42	115,7	81,5	57,9	A	COBRE	0,708	4,635	SIM
		170	400,0	40,8	1,68	136,9	81,5	57,9	A	COBRE	0,708	4,635	SIM
		200	400,0	40,8	1,95	158,9	81,5	57,9	A	COBRE	0,708	4,635	SIM
CSC UL TRA	CSC UL TRA	170	400,0	40,8	1,68	136,9	81,5	57,9	A	COBRE	0,708	4,635	SIM
		200	400,0	40,8	1,95	158,9	81,5	57,9	A	COBRE	0,708	4,635	SIM

(1) Selo de Eficiência Energética, concedido pelo PROCEL ([www.elektrobras.com.br/procel](http://www.elektrobras.com.br/procel))

O Custo/Benefício dos coletores pode ser avaliado pelo resultado da divisão do Custo do Coletor Individual pela Produção Média Mensal de Energia (coluna 6 desta tabela) deste mesmo coletor. Quanto melhor o valor encontrado, melhor será a relação custo/benefício para o usuário.

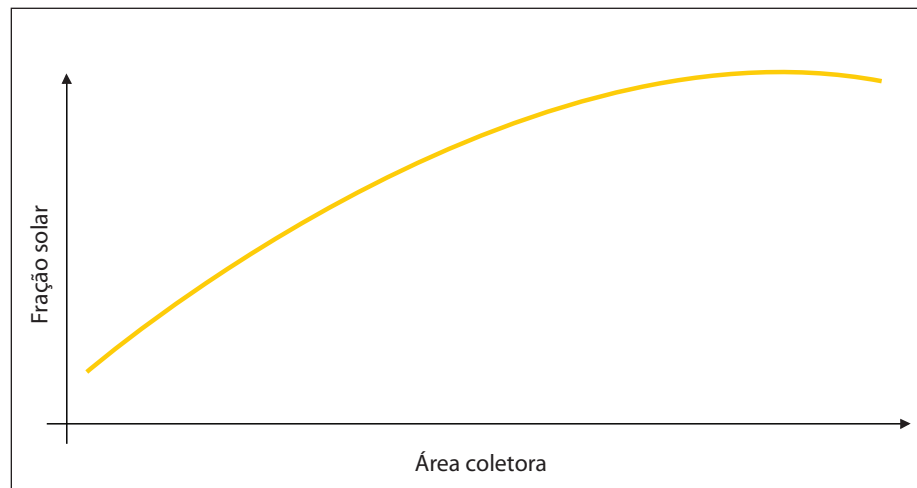




## Cálculo da fração solar unifamiliar

A fração solar de um sistema de aquecimento solar descreve a fração de energia consumida para o aquecimento da água que foi fornecida pelo sistema solar ao longo do ano. A fração solar varia em função da localização e da disponibilidade física da instalação, da aplicação e temperatura de utilização do sistema, da análise econômica e de outros fatores. A fração solar ideal deve atender entre 60 a 80% da energia solar requerida para aquecimento de água, sendo que a fração restante será fornecida pelo aquecimento auxiliar. Porém, em função do custo total do projeto, nem sempre é possível garantir a fração solar de aproximadamente 70%, uma vez que a fração solar é diretamente proporcional à área de coletores instalada, conforme apresenta o gráfico da Figura 8.4.

**FIGURA 8.4.** A fração solar aumenta em função da área de coletores instalada, atingindo um valor máximo, no qual não é mais vantagem aumentar a área instalada, pois a fração solar atinge o valor máximo.



Uma solução prática é adotar um valor de fração solar que, além de atender as especificações técnicas da Norma NBR 15569, proporcione o retorno do investimento ao cliente. É importante também que a fração solar seja igual ou superior ao valor estipulado pela prefeitura da cidade, caso a obra esteja sendo construída em município que tenha esse critério estimado por lei.

Com base nas informações referentes ao coletor retiradas da tabela do Inmetro e das informações colhidas na visita técnica sobre o consumo de água, pode-se determinar a fração solar. Para esse cálculo deve-se estimar o volume do reservatório, por exemplo reservatório de 400 litros aquecido a 50 °C. Para esse volume de água quente é comum partir de uma estimativa de 1 m<sup>2</sup> pra cada 100 litros. Dessa forma, para os coletores tipo “C” seria necessário:  $3 \times 1,50 = 4,50 \text{ m}^2$ .







## Cuidados práticos de projeto, instalação e manutenção de sistemas de aquecimento solar ▷▷ 9

Neste tópico serão abordadas diversas questões relacionadas ao projeto adequado de uma instalação de aquecimento solar: critérios de qualidade do programa QUALISOL, sombreamento, associação de baterias de coletores solares, associação de reservatórios térmicos, proteção contra congelamento, tubulações e materiais isolantes, válvulas e acessórios, sistemas de proteção e alívio de pressão, cargas de vento, interligação com sistema de aquecimento auxiliar, tópicos de manutenção, etc.



FIGURA 9.1. Linha de montagem de uma fábrica de aquecedor solar.



FIGURA 9.2. Selo do Procel.

Energia (Solar)	
Fabricante	COLETOR SOLAR PLANO
Marcas	ABODEP ENDSLAGE
Modelo	908
Pressão de Funcionamento (MPa)	0,12
Aplicação (P.A.E)	120
Mais eficiente	120
Menos eficiente	120
Produção Mensal de Energia:	
- Por m <sup>2</sup> de coletor (kWh/mês.m <sup>2</sup> )	96,8
- Por coletor (kWh/mês)	96,8
Área externa do Coletor (m <sup>2</sup> )	96,8
Eficiência Energética Média (%)	XY,Z
<small>Regulamento Brasileiro para Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água - RB07/000-015, Instituto de Metrologia e Normalização de São Paulo e Manual de aplicação.</small>	
<small>IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTA EM DEACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR</small>	

FIGURA 9.3. Etiqueta de classificação do produto. Esse etiqueta indica que o coletor recebeu classificação A.

## Programa Brasileiro de Etiquetagem

Atualmente, existem 200 empresas nacionais que fabricam sistemas de aquecedores solares, sendo que 40 delas detêm mais de 80% do mercado. Estima-se que existam 2500 revendedores e distribuidores espalhados em diferentes regiões do país, porém a maior parte dos pontos de venda não são representantes dedicados à venda exclusiva de energia solar, mas lojas que comercializam diferentes tipos de materiais de bricolagem, construção, decoração e acabamento. Essa diversidade de produtos divide espaço nas lojas com a tecnologia solar, impedindo uma dedicação maior por parte do vendedor em conhecer melhor o produto e reunir argumentos para convencer o consumidor das vantagens dessa tecnologia quando comparada com as outras opções de aquecimento de água.

Em 2008, a capacidade produtiva da indústria nacional era estimada em 2 milhões de m<sup>2</sup>, porém nesse mesmo ano foram vendidos somente 700.000 m<sup>2</sup>, ou seja, somente 1/3 da capacidade produtiva foi comercializada, o restante 2/3 do tempo disponível de produção, as empresas mantiveram suas linhas de montagem ociosas.

As indústrias brasileiras desenvolveram tecnologia 100% nacional ao longo dos últimos 40 anos e, desde 1997, os fabricantes podem submeter seus produtos para avaliação do desempenho térmico de sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) avalia o desempenho do equipamento por meio de um sistema de aferição, medição e controle coordenado pelo Inmetro. Especificamente, o que se verifica é a informação prestada pelo fabricante quanto à produção média de energia e/ou a eficiência energética de coletores solares planos, abertos ou fechados, sistemas acoplados e reservatórios térmicos.

Os coletores aprovados em ensaios e etiquetados com classificação “A”, conforme disposto no regulamento do Inmetro, estão aptos a receber o Selo Procel de Economia de Energia, concedido pelo programa da Eletrobrás, podendo divulgar esse selo nas suas propagandas individuais. Os reservatórios térmicos aprovados em ensaios e etiquetados, que atingem um nível ótimo de desempenho conforme disposto nesse regulamento, recebem o Selo Procel-Inmetro de Desempenho, que é concedido pela Eletrobrás/Procel e pelo Inmetro, conjuntamente, a equipamentos submetidos a ensaios de aprovação.

No início dos testes, em 1997, o laboratório de ensaio dependia unicamente da radiação solar e das condições mínimas de clima exigidas em norma, sem essas condições o teste não era válido, ocasionando demora de até um ano para executar todos os testes. Desde 2005, com o apoio da Ele-

trobrás, o laboratório de certificação recebeu o simulador artificial, um conjunto de lâmpadas que emite a radiação espectral do Sol, e os ensaios que demoravam de seis meses a um ano, passaram a ser feitos em dois ou três dias, com exceção do teste de envelhecimento que demora entre 80 a 90 dias no laboratório.

Alguns pesquisadores que trabalham na certificação dos equipamentos dos sistemas solares atribuem que a melhoria na qualidade de alguns fabricantes foi motivada pelo interesse em adquirir a classificação máxima fornecida pelo Inmetro. Dessa forma existe um estudo dentro do Inmetro que visa incluir além dos atuais critérios de desempenho, outros como robustez, teste de torção e resistência a impacto como maneiras de melhorar cada vez mais a qualidade dos equipamentos.

Além dos ensaios laboratoriais o Inmetro realiza auditorias nas fábricas e revendas para garantir a confiabilidade dos produtos e evitar fraudes de vendedores e fabricantes inescrupulosos. Anualmente, entre março e novembro, são reavaliados 70 produtos de fabricantes que foram certificados, com o intuito de verificar se esse produto realmente corresponde à classificação apresentada.

Desde sua implantação o PBE não é obrigatório, porém a partir de 2011 o programa passou a ser compulsório, o que significa dizer que fabricar ou comercializar produtos sem a etiqueta do Inmetro, será infração cabível de punição, podendo acarretar fechamento da fábrica. Essa medida ocasionará uma enorme procura por parte dos fabricantes pela certificação de seus produtos, pois sem essa classificação serão impossibilitados de permanecer no mercado e participar de editais do governo.

## Programa Qualisol

O Qualisol é um programa de qualificação de fornecedores de sistemas de aquecimento solar. Empresas que atuem como fornecedora desses sistemas no território brasileiro podem solicitar sua inscrição nesse programa, além dos instaladores, projetistas ou empresas de manutenção. A intenção do programa é agregar mais segurança nas instalações de sistemas de aquecimento solar oferecendo garantia de que o serviço prestado esteja de acordo com os critérios estabelecidos pelo Qualisol.

Após o término da obra a empresa instaladora registra esse serviço em seu portfólio no *site* da Qualisol. Essa obra poderá receber uma visita de um representante do Qualisol, ou uma ligação telefônica para avaliar o nível de satisfação por parte do cliente. Atualmente é possível acessar o site da Qualisol<sup>1</sup> e conhecer todas as empresas que têm o selo.



**FIGURA 9.4.** Simulador de teste instalado no laboratório do Green Solar, PUC-MG.

1. [www.qualisol.org.br](http://www.qualisol.org.br)



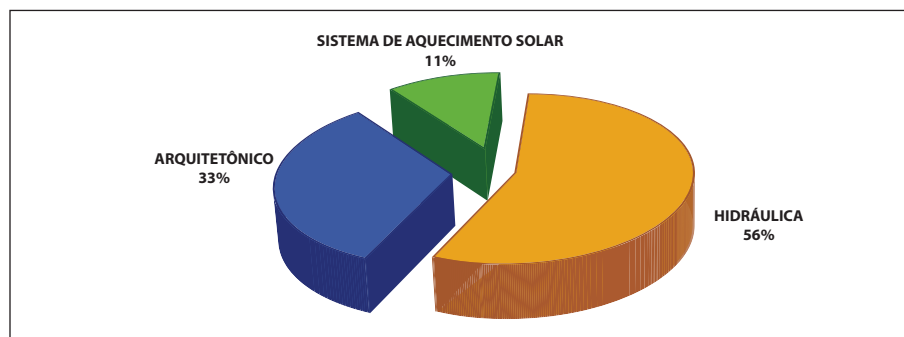
FIGURA 9.5. Selo do Programa Qualisol.

## Principais problemas em instalações solares

O Qualisol é um programa de qualificação de fornecedores de sistemas de aquecimento solar. Empresas que atuem como fornecedoras de sistemas de aquecimento solar no território brasileiro podem solicitar sua inscrição nesse programa, e também os instaladores, projetistas ou ainda empresas de manutenção. A intenção do Qualisol é agregar mais segurança e confiabilidade às instalações dos sistemas de aquecimento solar, oferecendo garantia de que o serviço prestado está de acordo com os critérios estabelecidos pelo programa.

O Qualisol se divide por categorias e em aplicações de aquecimento central e aquecimento de piscina. Essas categorias são classificadas em escopos de acordo com o volume armazenado. Pertencem ao escopo 1 as instalações com volume máximo de 1000 litros. Nessa categoria estão instalações residenciais, pequenos hotéis e motéis. No escopo 2 o volume de armazenamento máximo é de 3000 litros. Nessa categoria estão instalações residenciais de alto padrão, médios e grandes hotéis e motéis. Acima de 3000 litros, a obra de aquecimento central é considerada de grande porte e, no caso de piscinas, acima de 100 m<sup>2</sup>.

Além do Qualisol outras entidades também se preocupam em melhorar a qualidade das instalações de sistemas de aquecimento solar. Uma destas é a Cemig, empresa do setor elétrico de Minas Gerais que desde a década de 1970 incentiva o uso de energia solar em instalações residenciais. Uma pesquisa realizada pela Cemig acerca dos problemas encontrados em 100 prédios residenciais com aquecedores centrais solares na cidade de Belo Horizonte é referência até hoje, mesmo tendo sido realizada há 25 anos. O gráfico da Figura 9.6 apresenta os resultados da pesquisa da Cemig.



Fonte: Cemig

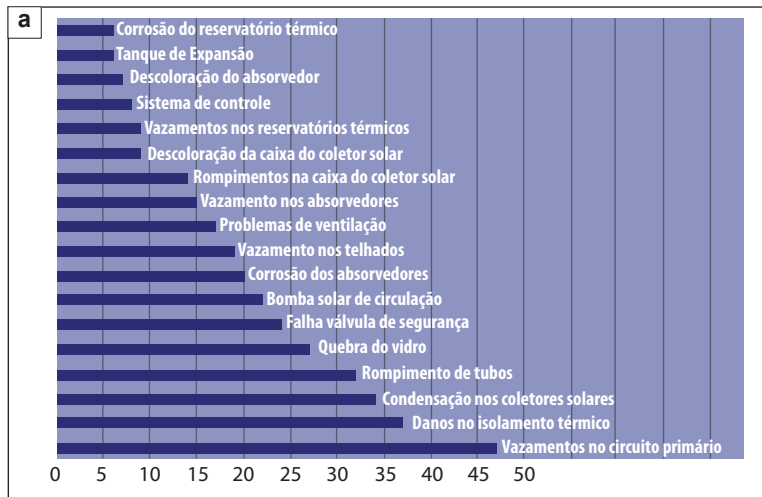
FIGURA 9.6. Principais problemas nas instalações solares.

Analisando o gráfico podem-se observar que os principais problemas eram de origem hidráulica seguidos de problemas arquitetônicos. Os equipamentos foram os que apresentaram a menor porcentagem de problemas. A integração entre o revendedor, o arquiteto e o projetista é fator essencial para a minimização de alguns dos problemas encontrados, como, tubulação com diâmetro superior ao adequado, área sombreada e equipamentos com peças

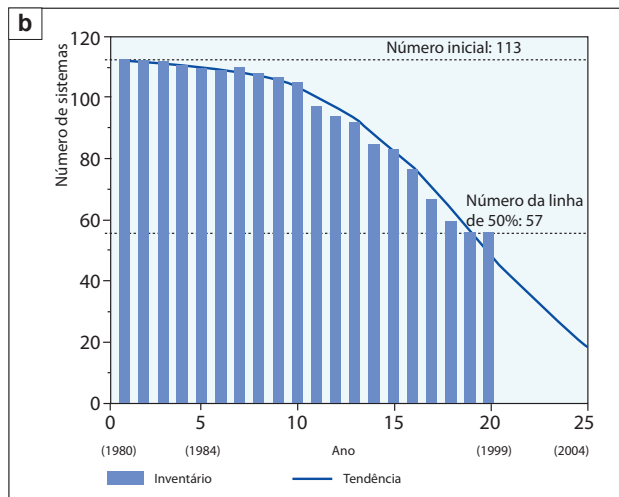


defeituosas, que poderiam ter sido evitados ou postergados com a integração dos profissionais citados.

Outra pesquisa, realizada pelo governo alemão entre 1978 e 1983, conhecida pesquisa *Solarge 2000*. Para essa pesquisa foram monitorados 113 sistemas instalados em prédios residenciais.



Fonte: Solarge, 2000.



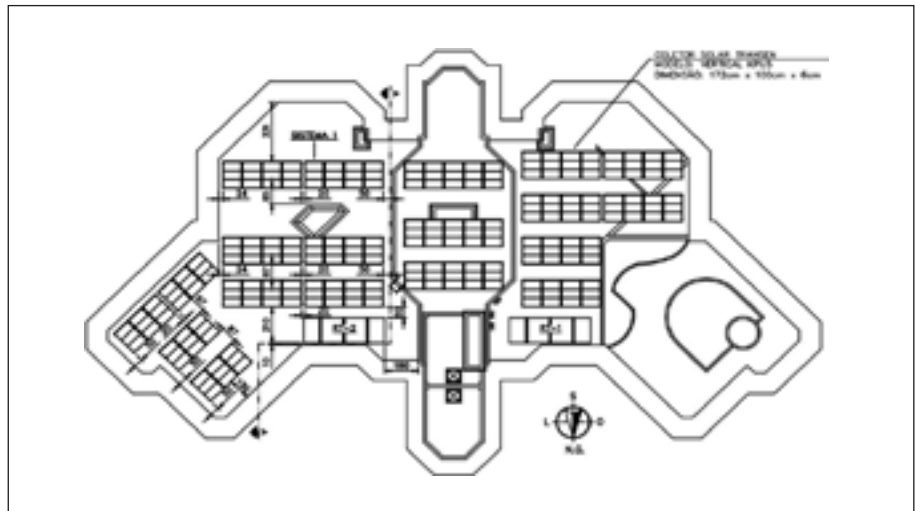
Fonte: Solarge, 2000.

**FIGURA 9.7.** Pesquisa Solarge 2000. Em (a), principais problemas nas instalações solares. Em (b), comportamento dos sistemas ao longo dos anos (1980 a 1999).

Analisando os resultados da Figura 9.7 pode-se observar no gráfico (a) que foram identificadas 18 categorias de problemas, sendo que os mais importantes eram vazamento de fluido tóxico no circuito primário, danos no isolamento térmico, falhas mecânicas e desgastes naturais das peças. No gráfico (b) observa-se que durante os primeiros de anos de funcionamento os sistemas apresentavam baixo índice de problemas, porém com o passar dos anos os defeitos foram aumentando e em 1999, aproximadamente metade dos sistemas monitorados já haviam apresentado problemas ou não estavam mais em operação.

## Estrutura e instalação

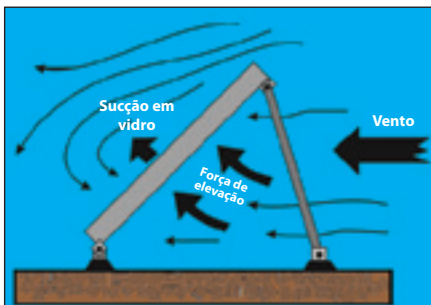
Retomando a importância de integrar os profissionais que serão envolvidos em um projeto de sistema de aquecimento solar, principalmente quando se deseja realizar uma grande obra, é fundamental que todos os envolvidos no projeto avaliem o espaço disponível para execução do empreendimento. Durante essa avaliação é importante observar o entorno do espaço no qual será instalada a obra, a fim de verificar a formação de sombra; o direcionamento para o Norte; o acesso ao local etc.



**FIGURA 9.8.** Vista aérea de uma cobertura mostrando a distribuição dos coletores e o reservatório térmico.

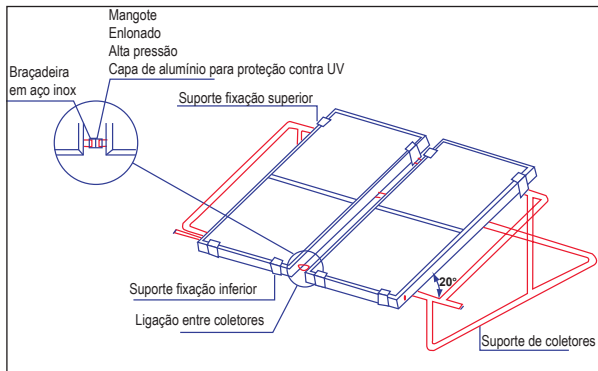
Ao avaliar o espaço onde a obra será realizada deve-se também avaliar a necessidade de instalar os coletores sobre estruturas de suporte. A norma NBR 15569 especifica que os suportes devem resistir ao peso do coletor solar, componentes e reservatório térmico, além das sobrecargas, incluindo vento, a expansão e a contração das tubulações.

Geralmente os suportes são feitos de material metálico, caso não seja uma obra nova é necessário avaliar o estado de conservação das coberturas para saber se estas suportam a sobrecarga a que serão submetidas. Imagine um sistema de aquecimento solar residencial individual com área de coletores de 2 m<sup>2</sup>, pesando aproximadamente 25 kg mais, 230 kg do reservatório com água, apoiado no telhado. O madeiramento de apoio das telhas deve estar seguro e bem estruturado para suportar a pressão. Em algumas casas lajes são assentadas somente sobre o teto do banheiro, podendo ser uma opção de apoio para reforçar a estrutura do telhado e aliviar o peso do equipamento solar. Além desses cuidados é necessário fazer a impermeabilização dos furos nas telhas ou nas lajes, para evitar goteiras e infiltração de água de chuva nos cômodos da residência.



**FIGURA 9.9.** O coletor apoiado no suporte está sujeito a ação dos ventos por todos os lados.

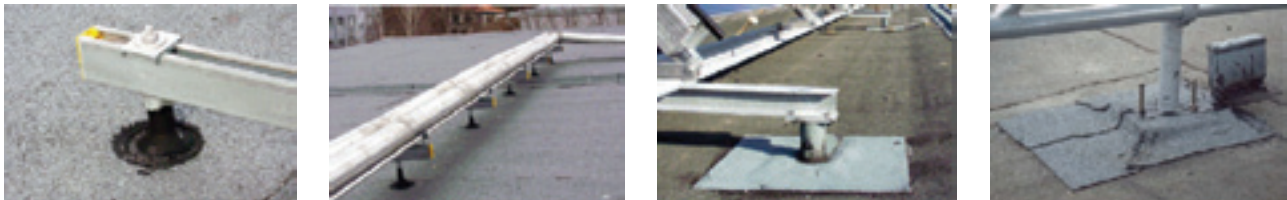
Os apoios das estruturas de suporte devem resistir às agressões do ambiente e a cargas como ventos, tremores, chuva, neve e gelo, de tal forma que o sistema não prejudique a estabilidade da edificação. Se o ponto de fixação do coletor solar e seu suporte forem feitos de metais diferentes, eles devem ser isolados de forma a impedir a eletro-corrosão. O sistema de aquecimento solar e seus componentes não devem comprometer o escoamento de água, a impermeabilização da cobertura e a resistência estrutural.



**FIGURA 9.10.** Ilustração mostrando a conexão do suporte dos coletores com a inclinação. No detalhe, a conexão dos coletores com braçadeira e aço inox, sempre isolados



**FIGURA 9.11.** Estrutura metálica com plano inclinado para suportar duas baterias de coletores solares. Essa configuração é uma solução satisfatória para evitar o sombreamento entre coletores instalados em telhados ou em lajes com espaço reduzido.



**FIGURA 9.12.** As estruturas de apoio do suporte aplicam elevadas pressões na superfície da laje ou telhado. Observe os diferentes formatos e posições em alguns sistemas instalados em lajes.

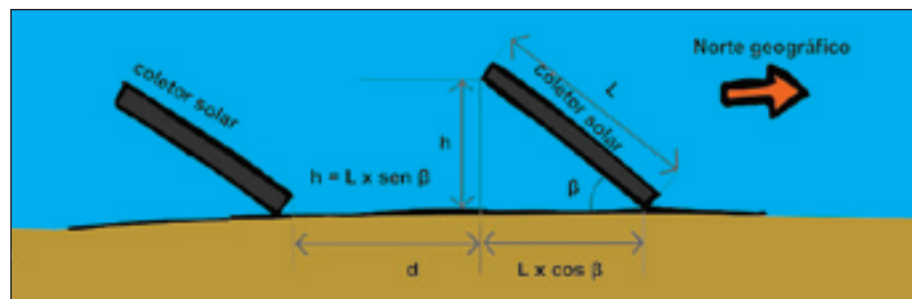
## Sombreamento

O sombreamento é um assunto fundamental e um item de projeto da norma NBR 15569. Os coletores solares devem ser instalados de forma a evitar locais sujeitos a sombras projetadas pela vegetação do entorno, por edificações vizinhas, elementos arquitetônicos, reservatório térmicos, outros coletores etc. A maior parte das observações listadas anteriormente podem ser identificadas em visita técnica. Outras como sombreamentos projetados por componentes do sistema de aquecimento solar podem ser evitadas por meio de um projeto inteligente.

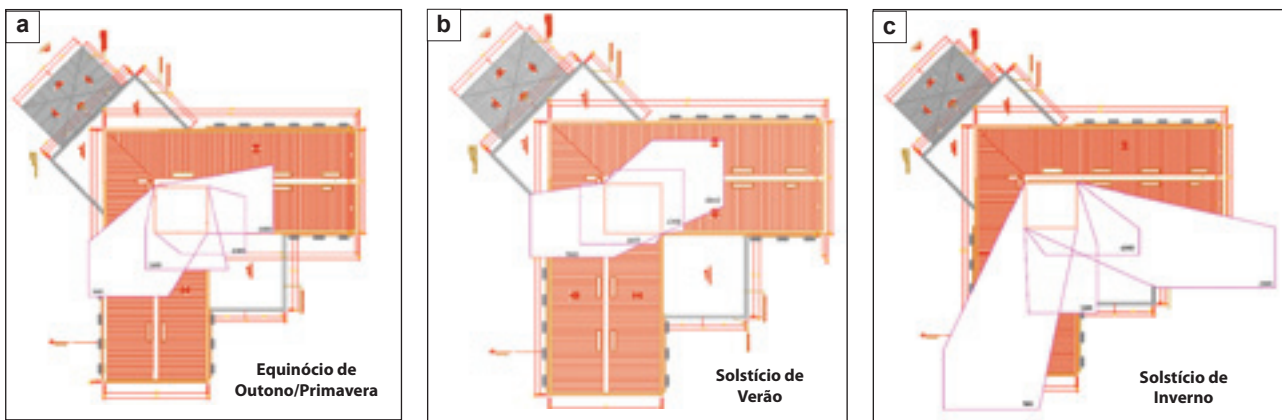
Os cuidados com o sombreamento são aplicados para sistemas que funcionam em regime de termossifão. Nesse caso, se houver sombra, mesmo que seja parcial, a água para de circular, pois a força que move a água depende da diferença de temperatura da água do sistema. Se uma placa ou uma bateria de coletores estiver em uma área sombreada sua circulação natural cessa.

No caso do sombreamento por coletores é possível utilizar uma distância mínima que assegure a luminosidade em todos os coletores sem que haja a projeção de sombra nos coletores laterais e posteriores. Observe na Figura 9.13 a distância mínima entre os coletores.

**FIGURA 9.13.** Distância mínima e inclinação dos coletores para evitar o sombreamento.



No caso da Figura 9.14, o estudo do sombreamento foi feito às 9 h, 11 h, 13 h e às 15 h, para analisar a posição e área de sombra que ocorrem durante o solstício de inverno, de verão e no equinócio. Nesse caso o estudo de sombreamento foi recomendado por haver uma caixa de água e um telhado projetando sombras na área prevista para instalação das placas.



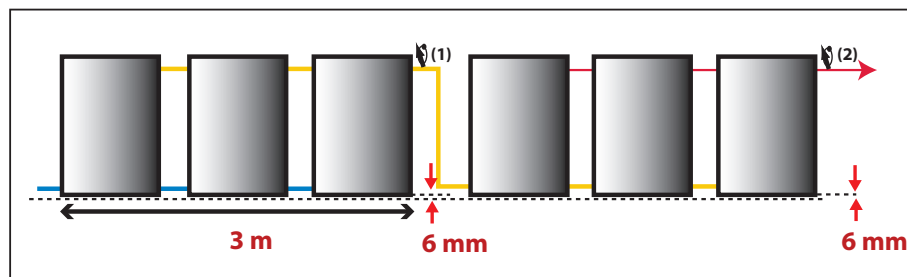
**FIGURA 9.14.** Resultados do estudo do sombreamento para o equinócio e solstício de verão e inverno simulados para uma empresa de aeronaves em São Carlos, São Paulo.

## Arranjo hidráulico

O arranjo hidráulico é uma das fases mais importantes em projetos de grande porte. Nessa etapa desenha-se como será a interligação dos coletores com os demais componentes, visando a correta distribuição hidráulica e o menor comprimento das tubulações, o que resultará na escolha das bombas, vasos de expansão, purgadores de ar e sistema de drenagem.

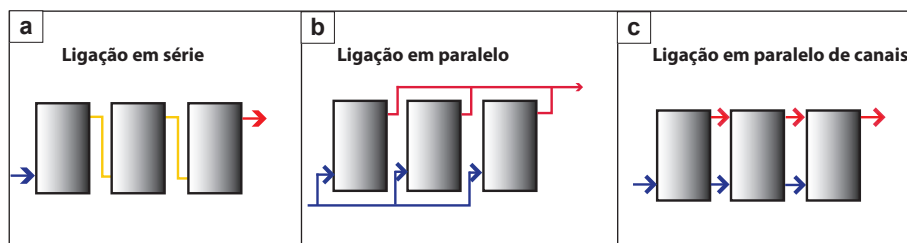
### Interligação dos coletores

A interligação dos coletores deve seguir algumas orientações básicas para garantir a operação por termossifão ou circulação forçada. Um dos cuidados é manter a bateria de coletores com inclinação positiva no sentido da saída da água quente. O valor mínimo recomendado é de 2 mm para cada metro de comprimento linear. Essa prática direciona as bolhas de ar para o ponto mais alto do sistema, evitando o acúmulo de bolhas em diferentes pontos da bateria, o que poderia resultar em perdas térmica e de carga.



**FIGURA 9.15.** Ilustração mostrando a inclinação na bateria dos coletores. Nos sistemas de circulação forçada é necessário instalar purgadores de ar, sempre que houver descida na tubulação e na ligação entre cada bateria de coletor e a tubulação. Observe os purgadores, conhecidos também por ventosas, identificados por (1) e (2) na ilustração.

O arranjo hidráulico ideal deve oferecer a menor perda térmica e assegurar perda de carga reduzida. As configurações possíveis são em série, em paralelo e paralelo de canais.



**FIGURA 9.16.** Em (a), coletores conectados em série, em (b), conectados em paralelo e em (c), conectados em paralelo de canais. Observe que na conexão em paralelo de canais as saídas do coletor são conectadas nas entradas do coletor seguinte diferente do que ocorre na configuração em paralelo apresentada em (b).

Nas associações em série a saída do coletor é interligada na entrada do coletor seguinte, formando uma espécie de “serpentina”. Para os sistemas em série é recomendado no máximo três coletores por associação, ou seja, no máximo quatro coletores por bateria. É possível aumentar número de coletores por bateria em associações em série. Para isso, consulte a curva de

eficiência do coletor que deseja utilizar e estime a temperatura de entrada da água e o valor da radiação, assim pode-se avaliar a eficiência ao longo do dia.

Nas ligações em paralelo as saídas e entradas dos coletores são interligadas, formando um “único coletor”, recomenda-se que as configurações em paralelo sejam feitas com no máximo quatro coletores por bateria, essa medida evita que a água circule onde a diferença de pressão é maior. Caso exceda o número máximo, a água tende a circular somente no início e no final do circuito, ficando estagnada nos coletores localizados no meio da bateria. Para evitar a estagnação da água nas ligações em paralelo deve-se fazer a ligação em paralelo de canais, no entanto para essa configuração cada coletor deve ter duas entradas e duas saídas.

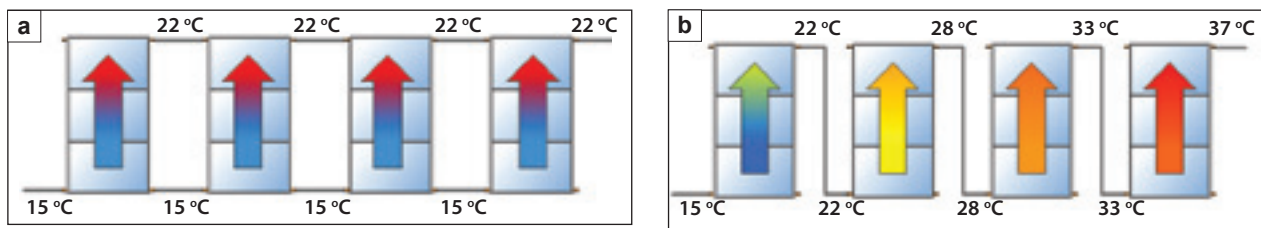


FIGURA 9.17. Em (a), coletores conectados em paralelo de canais. Em (b), os coletores estão conectados em série.

#### PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS LIGAÇÕES SÉRIE E PARALELOS PARA COLETORES SOLARES:

##### COLETORES EM SÉRIE

- máximo 4 coletores (limitado pelo rendimento do coletor)
- instalação simples
- baixo rendimento em função da queda de eficiência dos coletores
- maior perda de carga
- a elevação de temperatura pode ser maior que 100%

##### COLETORES EM PARALELO

- máximo 4 coletores (limitado pelo arranjo hidráulico equilibrado)
- requer mais detalhe na instalação
- rendimento depende do tipo de coletor
- menor perda de carga
- a elevação de temperatura é da ordem de 50%

As ligações em paralelo por canais evita a estagnação da água nos pontos de baixa pressão e possibilita equilíbrio do arranjo hidráulico, principalmente quando obedece ao número máximo de quatro coletores por bateria. Partindo dessa premissa é possível montar associações mistas conectando baterias de coletores em série-paralelo até atingir o número previsto no dimensionamento da obra.

Considere uma obra de grande porte que necessite de 24 coletores. Como 24 é múltiplo de quatro pode-se montar seis baterias com quatro coletores cada. Feito isso se deve procurar distribuir as baterias na menor área possível e de forma que possibilite um arranjo hidráulico com menor perda de carga. Observe na Figura 9.18 duas possíveis configurações. Em (a), o circuito não está equilibrado hidráulicamente, pois cada grupo de baterias está recebendo água a vazões diferentes. A configuração correta aparece em (b), pois, cada bateria está sendo alimentada com a mesma vazão, por meio de sistema de alimentação invertida. Na ligação (b) a alimentação de água fria é feita a partir da bateria mais distante e a água aquecida é retirada a partir do ponto mais extremo em relação à entrada da água fria. Uma forma prática de conferir se a configuração apresenta equilíbrio hidráulico é comparar o comprimento dos tubos de entrada de água fria com o comprimento dos tubos de saída de água quente, estes devem ser exatamente iguais.

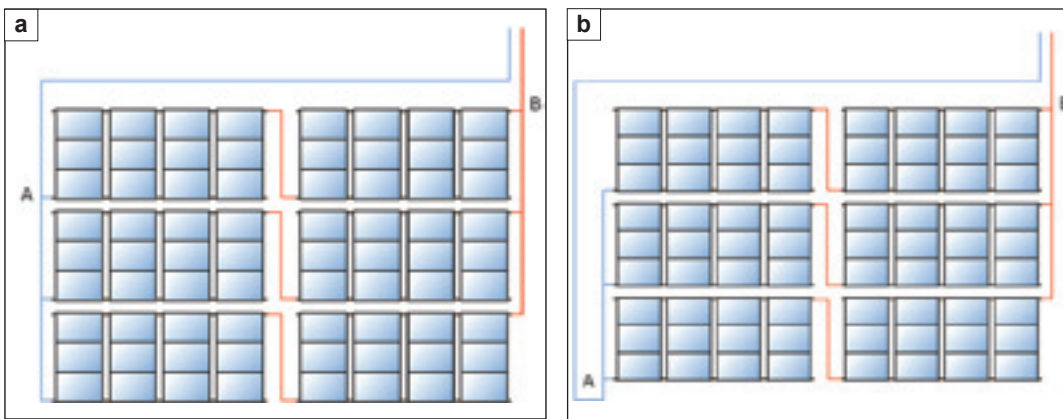


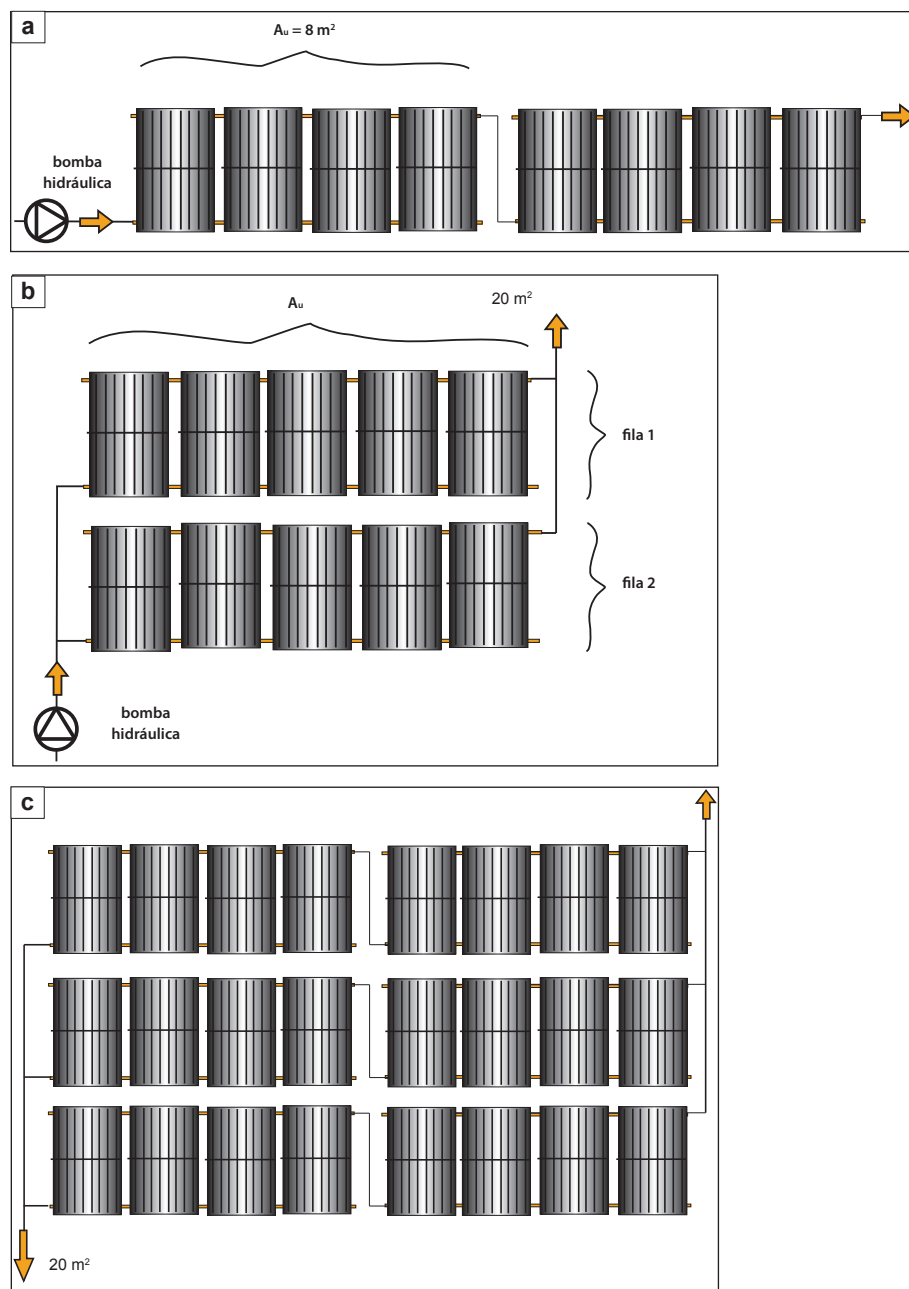
FIGURA 9.18. A opção correta é a (b) pois, cada bateria está sendo alimentada com a mesma vazão.

O balanceamento hidráulico é fundamental para garantir o rendimento global do sistema de aquecimento solar. No entanto, por motivos econômicos ou por desconhecimento dessa informação, muitos projetistas não montam suas instalações com equilíbrio hidráulico correto. Uma das características de um projeto bem realizado é quando o equilíbrio hidráulico é obtido por meio do comprimento equidistante entre a tubulação de água quente e fria, porém quando isso não é possível existem outras duas formas de conseguir equilíbrio hidráulico: utilizando uma válvula de balanceamento ou uma válvula de restrição de vazão.

### **Vazão do fluido de trabalho**

Os sistemas de aquecimento solar por circulação forçada necessitam de bomba hidráulica para mover a água. Para se determinar a potência da

bomba deve-se considerar qual é a vazão mínima que garante o melhor rendimento dos coletores. Para isso, adota-se o mesmo valor da vazão utilizado no teste de eficiência dos coletores solares para banho (72 litros por hora por  $m^2$ ). Além desse valor considera-se também a área útil da(s) bateria(s) de coletor(es) interligados em paralelo que recebe o fluido de trabalho diretamente da bomba hidráulica. Na Figura 9.19 as ilustrações mostram três exemplos de cálculo da vazão para configurações e áreas diferentes.



**FIGURA 9.19.** Três opções de conexão para os coletores. Em (a), a bomba está alimentando uma área de  $8 m^2$  e em (b), a área é de  $20 m^2$  e em (c), a área é de  $24 m^2$ .

Na configuração (a) a vazão é:  $8 \times 72 = 576$  litros/hora.

Na configuração (b) a vazão é:  $20 \times 72 = 1440$  litros/hora.

Na configuração (c) a vazão é:  $24 \times 72 = 1728$  litros/hora.



## Dimensionamento da tubulação

O dimensionamento da tubulação deve seguir a NBR 5626-98, de acordo com essa norma a velocidade máxima da água nas tubulações não deve ser maior que 3 m/s. A Tabela 9.1 apresenta a velocidade e vazão máxima para tubos de cobre de diferentes diâmetros.

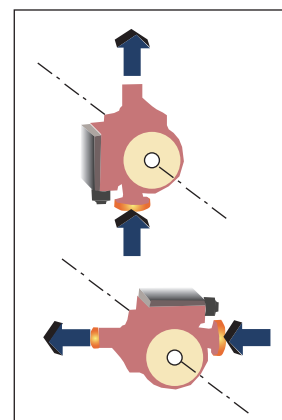
**TABELA 9.1.** Especificação de velocidade e vazão máxima recomenda para tubos de diferentes diâmetros

DIÂMETRO		VELOCIDADES MÁXIMAS	VAZÕES MÁXIMAS
(mm)	(pol)	m/s	l/hora
15	1/2	1,6	720
22	3/4	1,95	2160
28	1	2,25	4320
35	1.1/4	2,50	9000
42	1.1/2	2,50	14400
54	2	2,50	20520
66	2.1/2	2,50	32040
79	3	2,50	43200
104	4	2,50	64800

Considerando a vazão calculada no exemplo (c), da Figura 9.19, que é 1728 litros/hora, o diâmetro do tubo principal deve ser 22 milímetros. A partir do tubo principal ocorre a alimentação de três baterias de coletores e consequentemente a vazão em cada uma delas é diferente. Dessa forma, podemos calcular qual o diâmetro do tubo que deve ser utilizado para alimentar cada bateria. Após passar a primeira bateria de coletores a vazão diminui um terço, ou seja, na segunda bateria a vazão é de 1152 litros/hora. Nesse caso ainda é possível manter o mesmo diâmetro de tubo, porém na terceira bateria a vazão diminui mais um terço, chegando a 576 litros/hora, o que demanda a utilização de um tubo com diâmetro de 15 milímetros. Esse mesmo raciocínio de redução de vazão deve ser realizado para se determinar o diâmetro dos tubos de saída das baterias.

## Bombas de circulação

A bomba de circulação deve ser capaz de suportar os fluidos na máxima temperatura encontrada no sistema de aquecimento solar, além de ser instalada para trabalhar afogada e em local que possibilite o acesso em caso de manutenção ou substituição. A bomba deve ser instalada no circuito primário do sistema na posição horizontal ou vertical, porém o eixo do motor deve sempre trabalhar na horizontal e paralelo ao solo. Ao projetar o compartimento da bomba deve-se manter a caixa de ligação elétrica em local de fácil acesso e livre de infiltração de água.



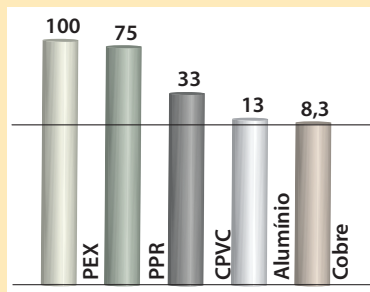
**FIGURA 9.20.** Ilustração mostrando detalhes da orientação do eixo do motor e o sentido do fluxo da água na bomba hidráulica.

## Sistema de controle e monitoração

Os sistemas de controle e monitoração são um dos poucos componentes eletro-eletrônicos do sistema de aquecimento solar. Algumas empresas de energia solar fabricam e revendem seus próprios componentes de controle e de monitoramento, outras trabalham com o chamado CDT básico. A função do CDT é analisar, por meio de sensores, a diferença de temperaturas entre o ponto mais quente e o ponto mais frio do sistema solar térmico, acionando ou desligando a bomba de circulação. Existem CDT com mais funções, para utilização em sistemas com múltipla aplicação, juntamente com o aquecimento de piscina ou de um piso térmico.

### DILATAÇÃO TÉRMICA

Todos os materiais sofrem dilatação linear quando submetidos a variações de temperaturas. No caso dos componentes do sistema de aquecimento solar é necessário estimar uma medida para a absorção da dilatação principalmente quando se está trabalhando com tubulação de PPR e de CPVC, pois são dois materiais que apresentam altos índices de dilatação térmica.

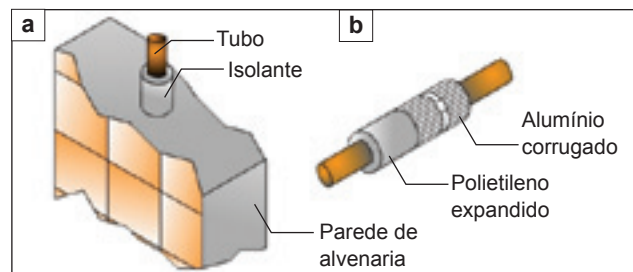


**FIGURA 9.21.** Dilatação linear observada em barras de 10 metros em tubos de diferentes materiais. Os valores em milímetros foram medidos quando a diferença de temperatura estava próxima a 50 °C.

## Isolamento térmico

O isolamento das tubulações, conexões e acessórios faz parte da fase final da instalação, porém deve estar previsto desde a fase de projeto, pois em grandes obras a falta de isolamento térmico ou o dimensionamento incorreto nas tubulações pode aumentar as perdas térmicas e comprometer o rendimento global do sistema de aquecimento de água. Para minimizar as perdas térmicas nas tubulações recomenda-se que seja feito isolamento inclusive nas tubulações embutidas nas paredes ou no interior do telhado.

**FIGURA 9.22.** Em (a), corte mostrando a tubulação com isolamento térmico embutida na parede. Em (b), tubulação expostas à intempéries e à ação dos raios solares, nesse caso recomenda-se a utilização de alumínio corrugado preso com fita e presilha sobre o material isolante.





**FIGURA 9.23.** Instalação com tubulação externa isolada e coberta com alumínio corrugado, fita e presilha.

É possível utilizar *software*<sup>1</sup> específico para calcular a perda térmica de tubulações sem isolamento e tubulações isoladas e estimar qual a relação custo benefício que o isolamento oferece. Para isso basta preencher os campos com as informações técnicas do projeto.



**FIGURA 9.24.**

## Proteção anticongelamento

O fabricante do sistema de aquecimento solar deve informar ao instalador qual a temperatura mínima de trabalho permitida para o sistema, de modo que todas as peças externas, principalmente os coletores, não sofram danos permanentes, caso sejam expostos a temperaturas abaixo do especificado. De modo geral, qualquer coletor que necessite trabalhar em ambiente no qual a temperatura atinja valores próximos a zero grau Celsius necessitará de algum sistema anticongelamento.



**FIGURA 9.25.** Os coletores e a tubulação congelará na ausência de sistema anticongelamento.

1. Disponível em <www.polipex.com>

Existem vários sistemas para a proteção contra o congelamento, alguns com 100% de garantia, como é o caso das misturas anticongelantes usadas em sistemas indiretos e dos coletores com mangueiras de silicone dentro do tubo. Outros sistemas são passíveis de falhas por dependerem de manutenção preventiva ou por necessitarem de energia elétrica.

As válvulas anticongelantes funcionam por drenagem do fluido sem necessidade de energia elétrica, a detecção ocorre por meio da redução de volume de um de seus componentes sensível a temperaturas próximas a zero grau Celsius. Nessa situação a válvula abre e a água escorre dos coletores. Porém, como é uma peça que não é utilizada constantemente, mesmo considerando que esteja em uma instalação na região Sul do Brasil, ela pode ter seu acionamento comprometido por falta de uso e manutenção.

Existem sistemas que funcionam com drenagem automática de fluido, esses, porém são controlados por meio de sensores elétricos que monitoram a variação de temperatura na água armazenada nos coletores. Ao registrarem temperaturas próximas a zero grau Celsius, são acionados e fazem a drenagem para um reservatório interno ou para fora do sistema.

### Trocadores ou permutadores de calor

Em obras de grande porte muitas vezes o calor absorvido pelo fluido de trabalho não é utilizado para realizar tarefas como aquecimento de água de banho ou de piscinas, por meio de contato direto, mas sim por meio de transmissão indireta de calor. Para essas situações é necessário utilizar o trocador de calor, pois os fluidos permanecem separados por meio das paredes de uma serpentina e a transferência de calor ocorre continuamente.

Existem diferentes modelos de trocador de calor, porém para a finalidade de uso específica e tendo como fluido de trabalho a água, recomenda-se equipamentos que apresentem potência de troca em torno de  $750 \text{ W/m}^2$  de área de captação. Admite-se que em um bom trocador de calor a transferência de energia térmica entre os fluidos permita que a água regresse aos coletores com baixa temperatura e não prejudique o rendimento global da instalação. A escolha do tipo de trocador de calor a ser utilizado deve levar em conta o volume de água do sistema e a qualidade da água que circulará por seu interior, principalmente se for água de piscina tratada.

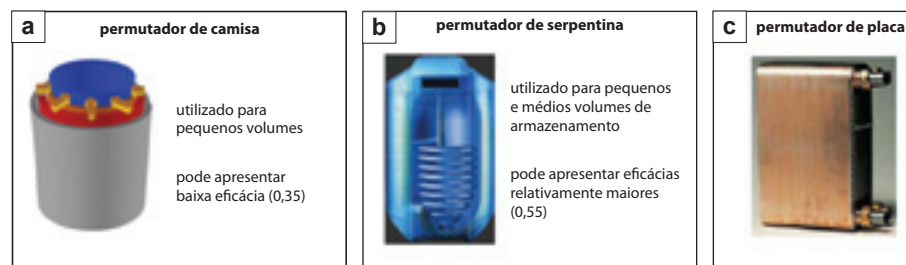
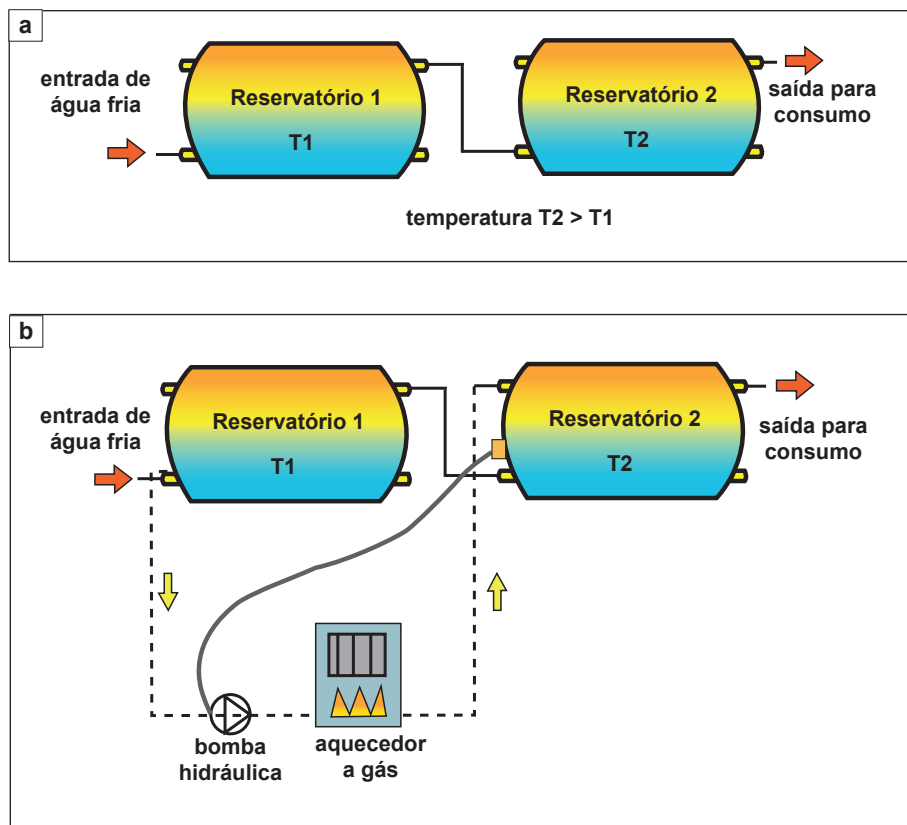


FIGURA 9.26. Três modelos de trocadores de calor.

## Arranjo dos reservatórios térmicos

Os reservatórios térmicos podem ser ligados em série ou em paralelo. Nas ligações em paralelo, detalhes como simetria das tubulações, tipo de conexão utilizada e altura em relação ao piso, devem ser observados, pois qualquer diferença afeta a distribuição homogênea do fluido térmico e provoca variações abruptas na temperatura da água armazenada em cada um dos reservatórios. Comparando a ligação em série com a ligação em paralelo, o único cuidado especial com a ligação em série é quanto à conexão correta entre os reservatórios que irão formar a associação.

A instalação do sistema auxiliar é feita entre a tubulação de entrada de água fria do primeiro reservatório e a entrada de água quente do segundo (ou do último, quando for o caso de se associar mais de dois reservatórios em série). O termostato que aciona o aquecimento auxiliar deve ser colocado na parte superior do segundo reservatório. Nessa posição caso aconteça demanda contínua de água quente o termostato aciona o aquecedor auxiliar que reporá a água aquecida de forma a homogeneizar a temperatura da água dos dois reservatórios.



**FIGURA 9.27.** Em (a) dois reservatórios associados em série sem a instalação de aquecimento auxiliar. Em (b) o aquecimento auxiliar é acionado quando o termostato instalado no reservatório 2 detecta variação de temperatura que possa comprometer o fluxo de água quente estimada para os banhos diários.





# bibliografia

Goldemberg J. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. São Paulo: EDUSP, 1998.

Goldemberg J e outros. *Energia para o desenvolvimento*. São Paulo: T.A. QUEIROZ, EDITOR, LTDA, 1988.

Jannuzzi GM e outros. *Energia: recomendações para uma estratégia nacional de combate ao desperdício*. São Paulo, 2001.

Kreith F, Bohn MS. *Princípios de transferência de calor*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

Ministério de Minas e Energia. *Balanço energético nacional*. Brasília, 2009.

Rodrigues D, Matajs R. *Um banho de Sol para o Brasil*. São Paulo: Vitae Civilis, 2005.

Scheer H. *Economia solar global*. Rio de Janeiro: CRESESB, 2002.

Souza HM, Silva PC, Dutra RM (orgs.). *Coletânea de artigos energia solar e eólica*. Rio de Janeiro: CRESESB, vol. 1, 2003.

Tolmasquim MT (org.). *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.



## **SÍTIOS INTERESSANTES**

[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

[www.green.pucminas.br](http://www.green.pucminas.br)

[www.iee.usp.br](http://www.iee.usp.br)

[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)

[www.iea.org](http://www.iea.org)

[www.solarcooking.org](http://www.solarcooking.org)

[www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)

[www.labsolar.ufsc.br](http://www.labsolar.ufsc.br)

[www.abrava.com.br](http://www.abrava.com.br)

[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)

[www.cepel.br](http://www.cepel.br)

[www.solarthermalworld.org](http://www.solarthermalworld.org)





O crescimento substancial do mercado de energia solar térmica, superior ao crescimento econômico do país nos últimos anos, ocasiona também um significativo aumento na demanda por mão de obra qualificada de projetistas e instaladores dos sistemas de aquecimento solar.

Para contribuir com a formação de mão de obra qualificada para a energia solar, esta apostila aborda um grupo de conteúdos diretamente orientados ao mercado: projetos de sistemas de aquecimento solar para habitações de interesse social, edifícios de apartamentos e aquecimento de piscinas. Além destas aplicações, são mostradas experiências voltadas a outras aplicações da energia solar, como a geração de energia elétrica, a refrigeração solar e o calor solar para processos industriais.

Com este material os Institutos Vitae Civilis e Ekos Brasil, o Procobre, a REEEP, a GTZ – em nome do Ministério Federal Alemão BMU –, a Abrava, a Iniciativa Cidades Solares, o Procel-Eletróbrás e o Ministério do Meio Ambiente esperam contribuir com a continuidade do crescimento do mercado de energia solar no Brasil e a consequente criação de empregos verdes.

#### Realização:

EKOS BRASIL



#### Apoio:

Em nome do



Ministério Federal do Meio Ambiente  
da Proteção da Natureza  
e da Segurança Nuclear



renewable  
energy  
& energy  
efficiency  
partnership

**Meio Ambiente**  
Ministério do Meio Ambiente

da República Federal da Alemanha



STUDIO EQUINÓCIO  
SOLARIES

