



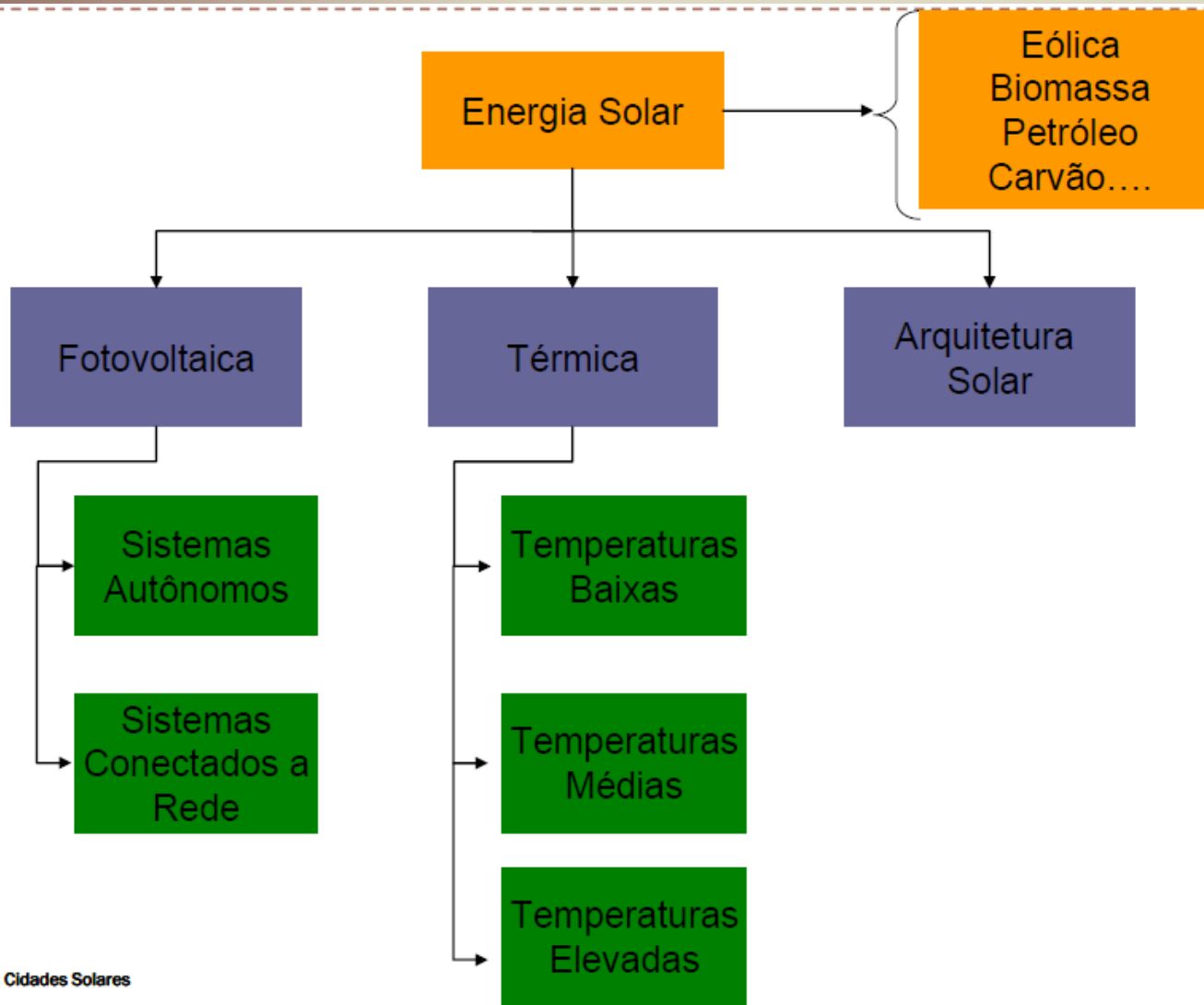
# Introdução ao projeto de sistemas de aquecimento solar

I Seminário: Atualidades sobre Energias Alternativas

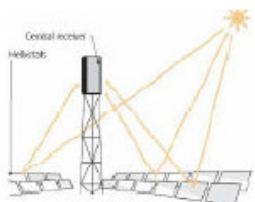
26 e 27 de junho de 2014

Prof. Anderson Favero Porte, Dr. Eng.  
Anderson.porte@riogrande.ifrs.edu.br

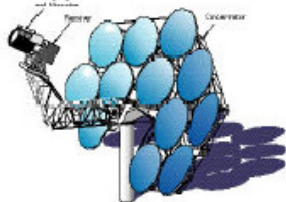
# Aplicações da energia solar



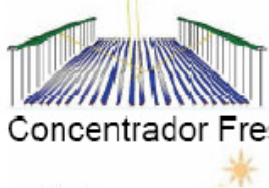
Fonte: Cidades Solares



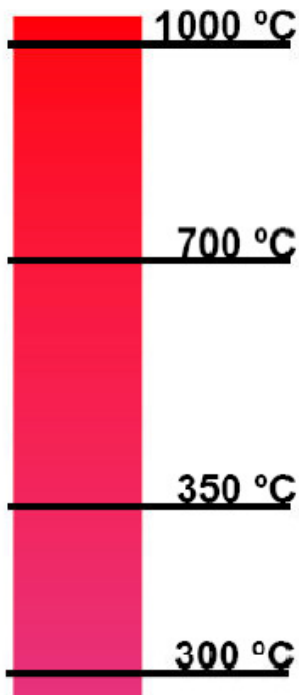
Central receiver



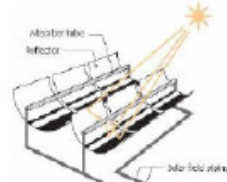
Sistema prato Stirling



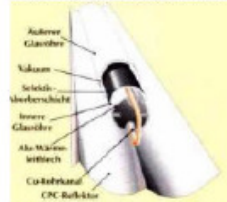
Concentrador Fresnel



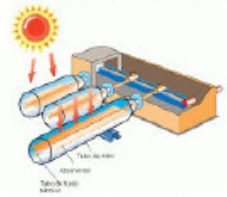
Concentrador Fresnel



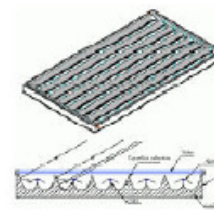
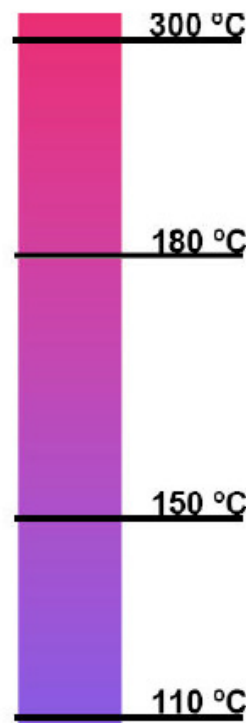
Cilindro Parabólico



Vácuo e Parabólico



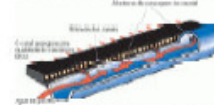
Tubo de vácuo



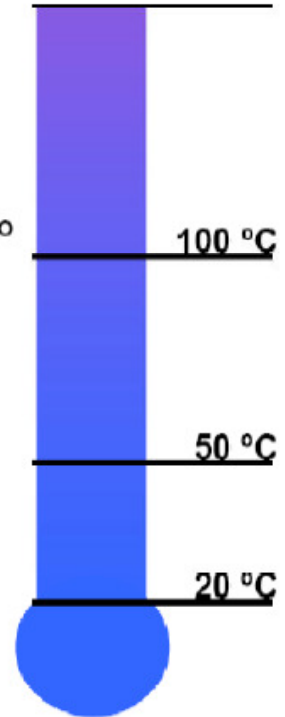
Cilindro parabólico fixo



Plano com cobertura

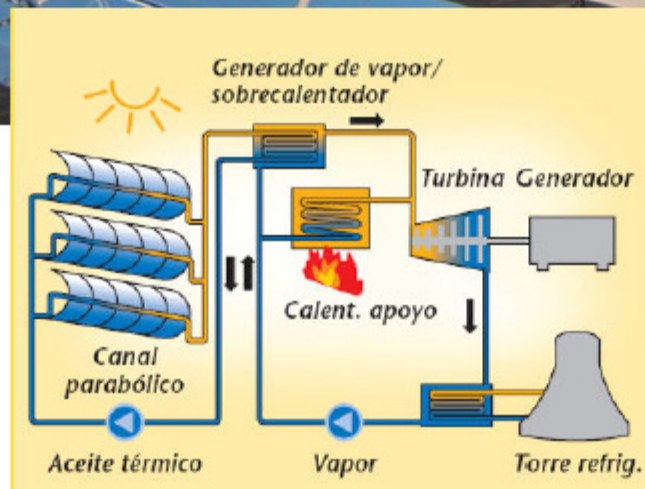


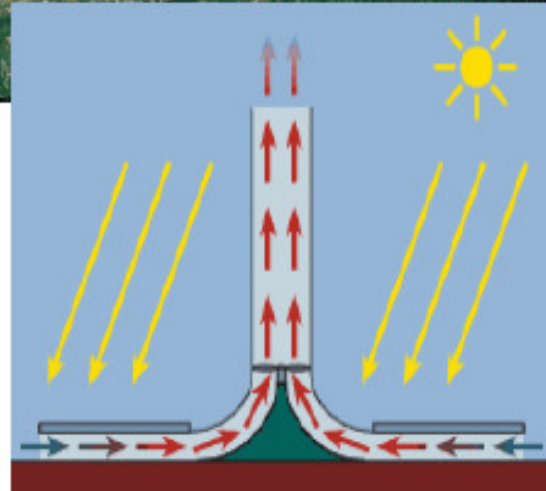
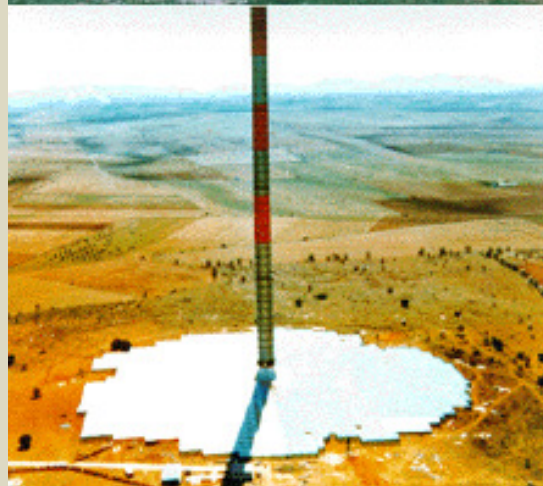
Plano sem cobertura

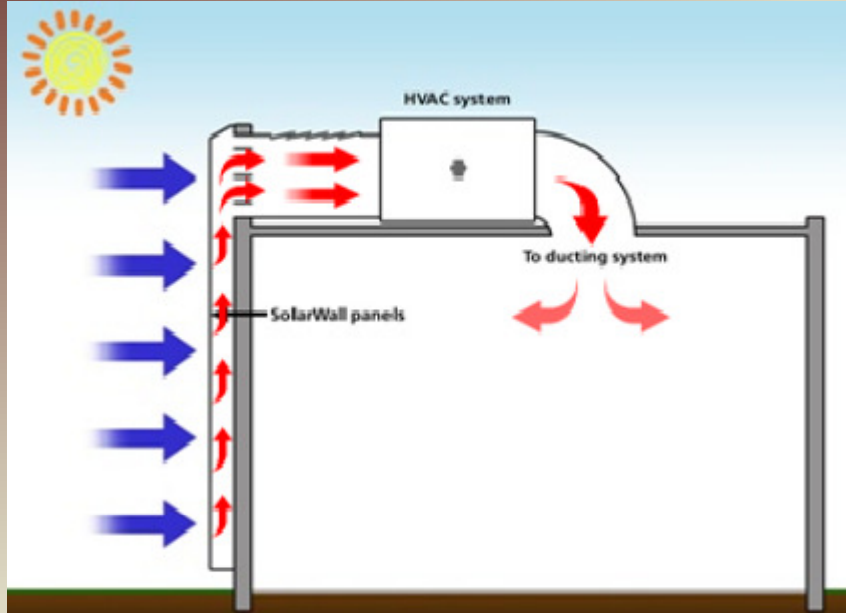










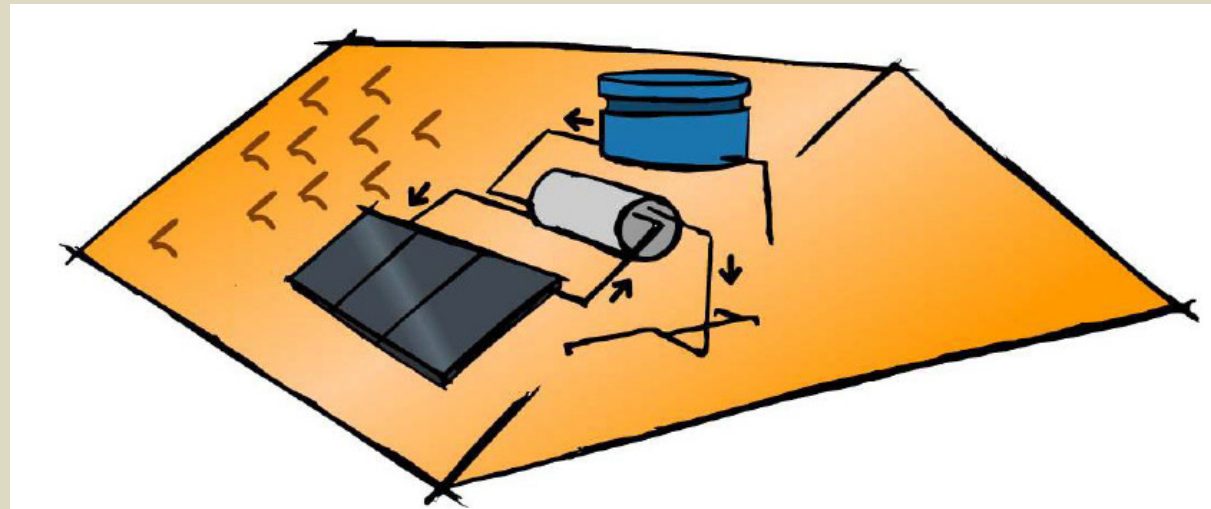
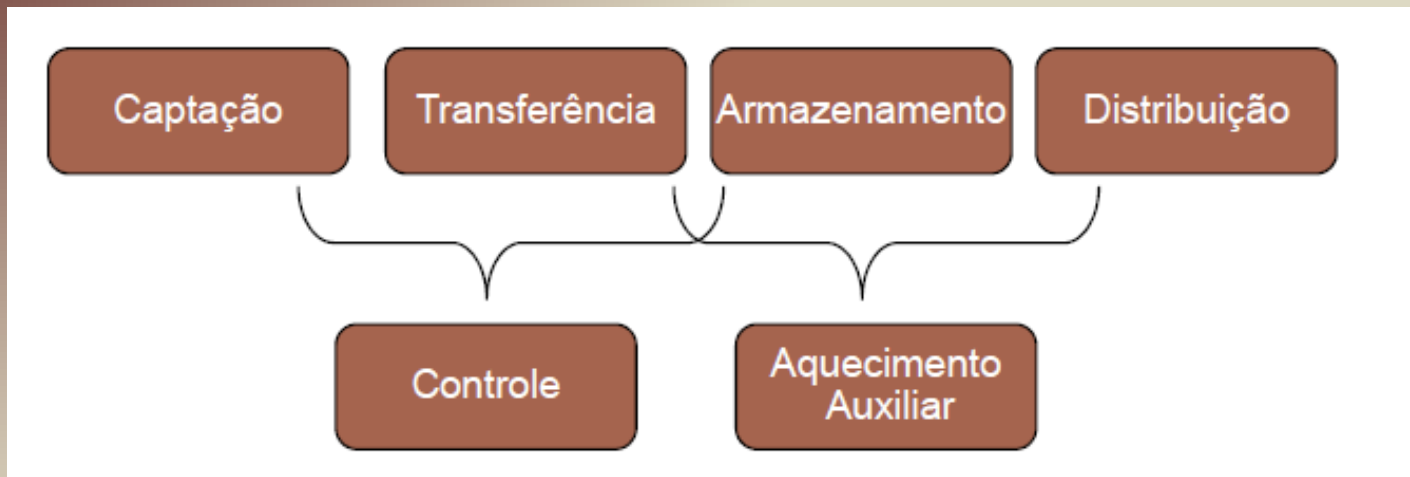


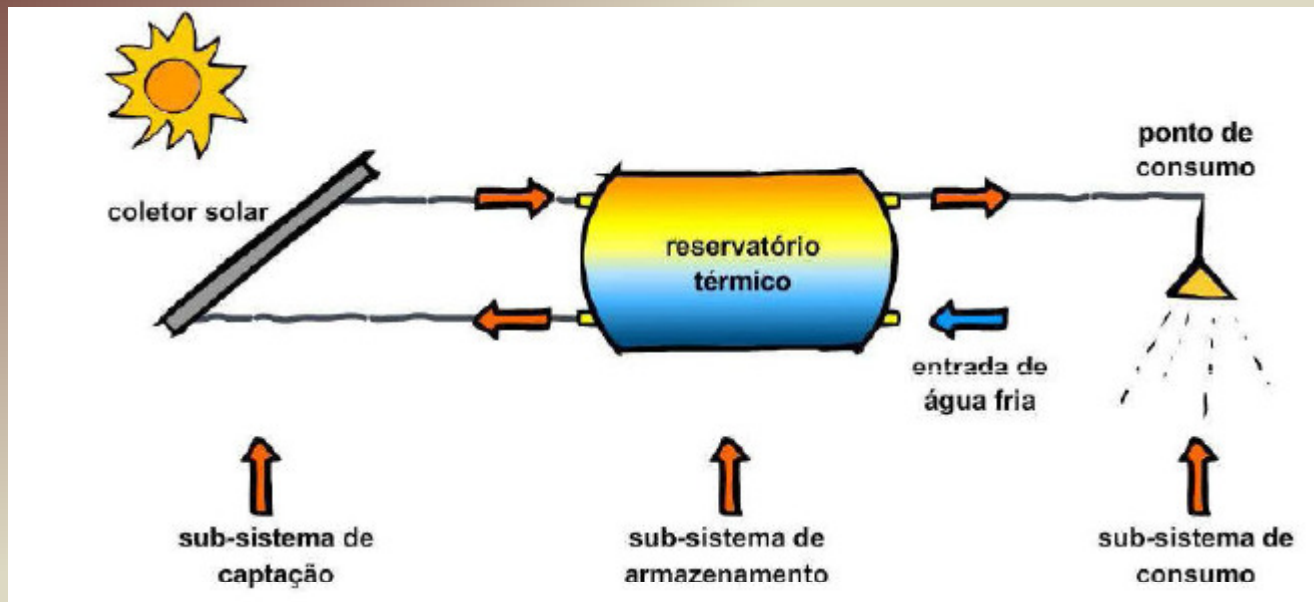




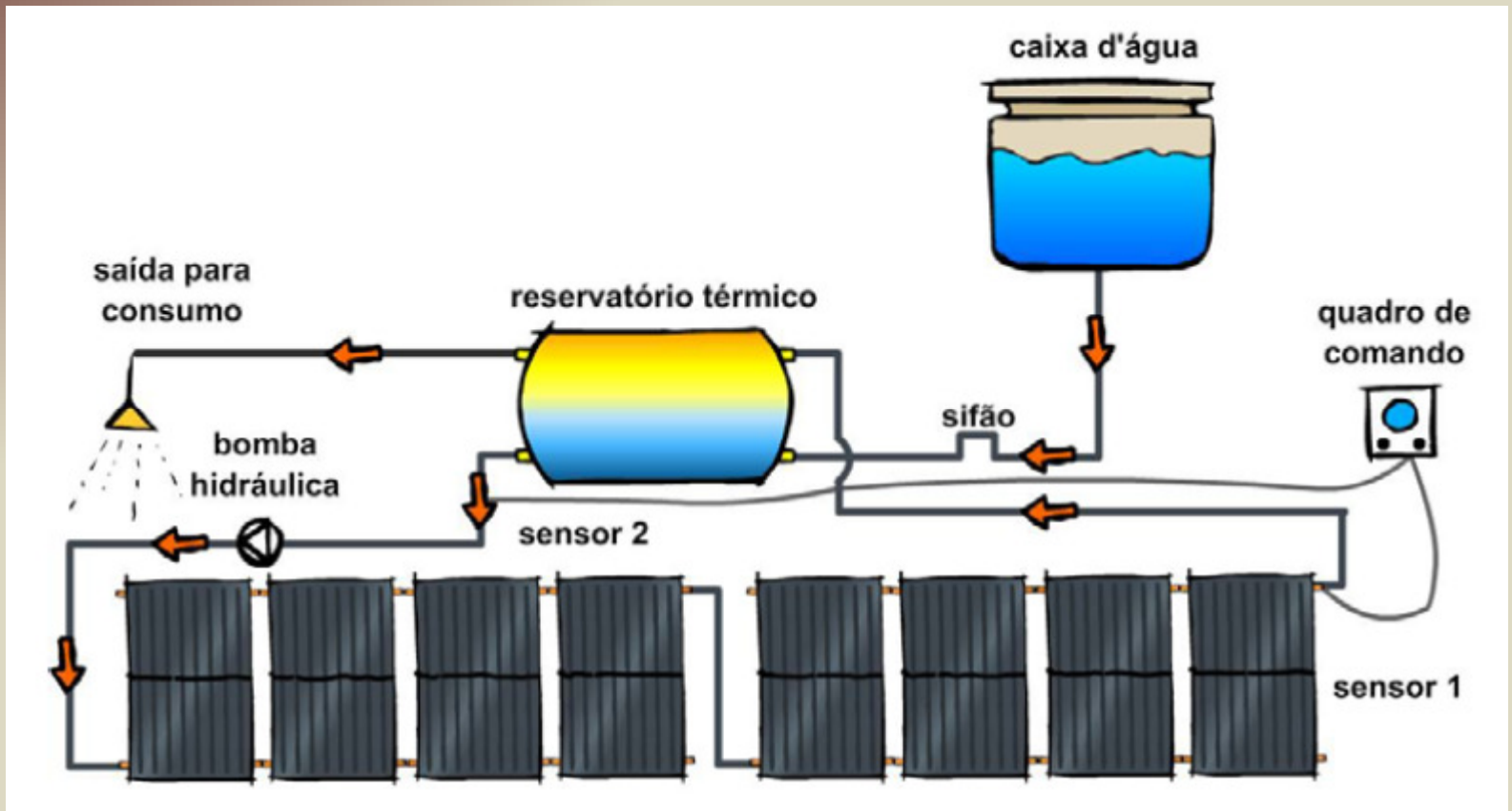


# Sistema de aquecimento solar





<b><i>Instalação</i></b>	<b><i>Volume Diário</i></b>	<b><i>Tipo</i></b>
Pequeno porte	$V < 1500$ litros	Termossifão
Médio porte	$1500 < V < 5000$ litros	Circulação Forçada
Grande porte	$V > 5000$ litros	Circulação Forçada



# Coletores solares

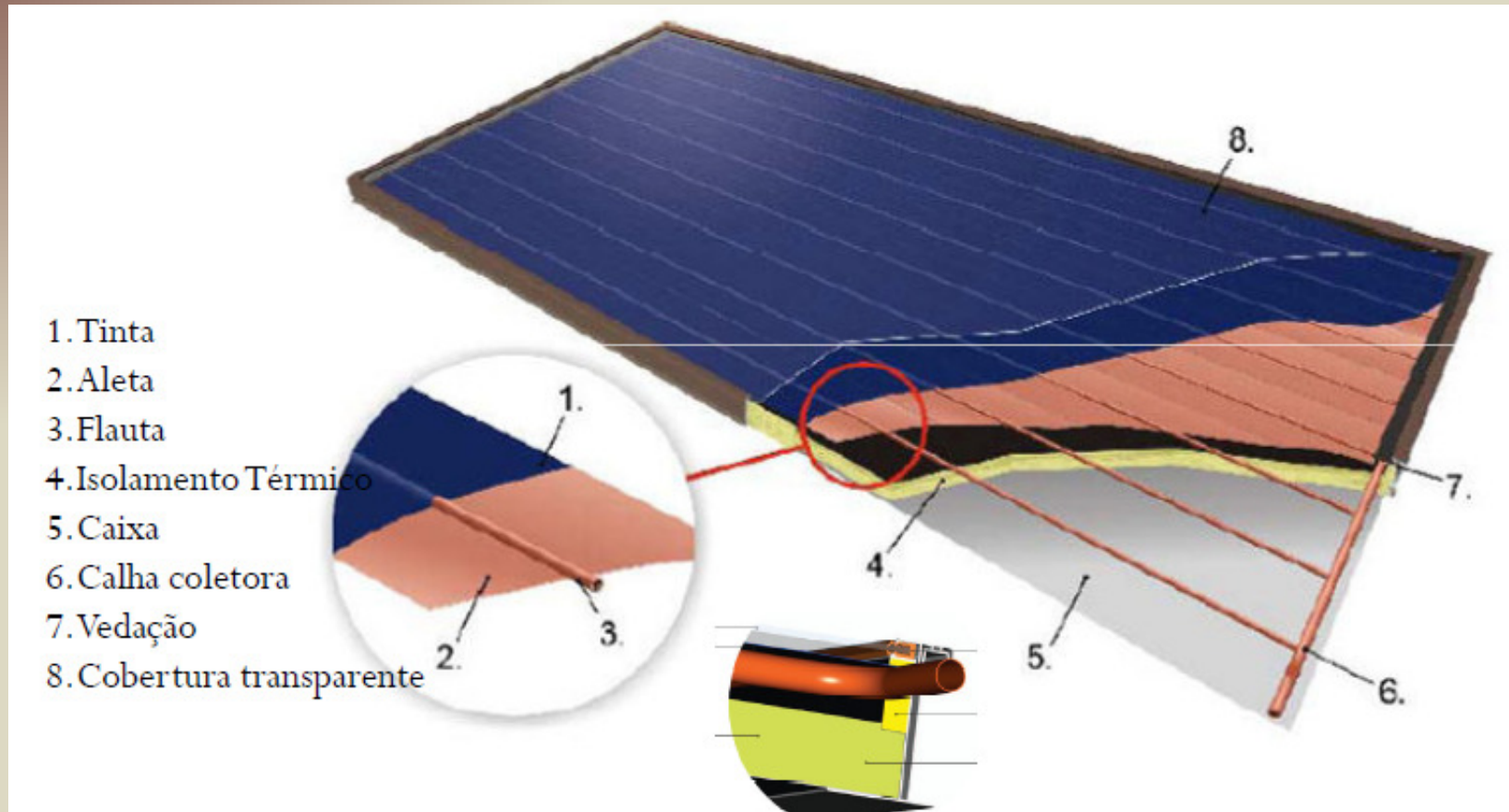


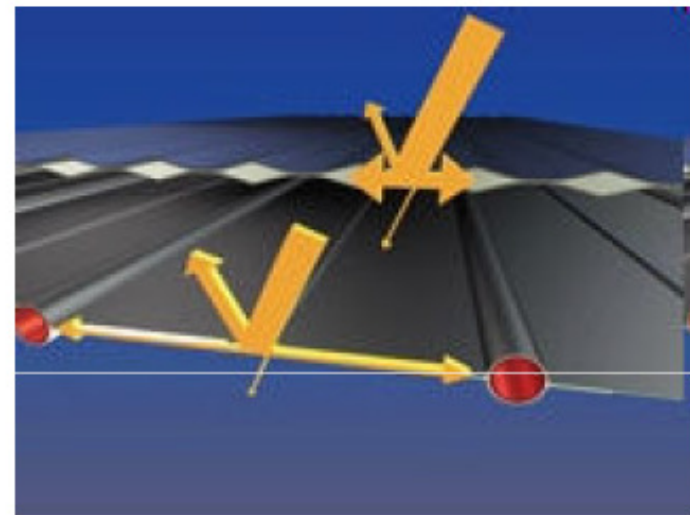
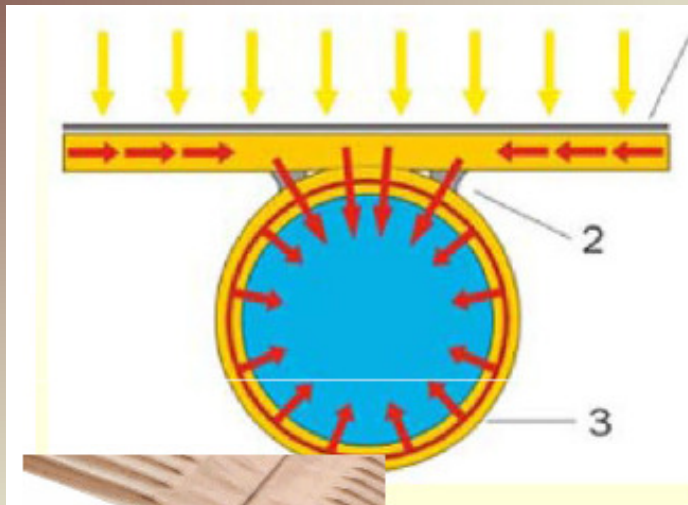
Dispositivo que absorve a radiação solar incidente, transferindo-a para um fluido de trabalho, sob a forma de energia térmica

Tipo de coletor	Coletor a ar	Coletor plano	Coletor plano com concentrador parabólico	Coletor de tubo de vácuo
Abreviatura	CA	CP	CPC	CTV
	<p>Cobertura de vidro</p> <p>Isolamento Absorvedor com canais de ar caixa de coletor</p>	<p>Cobertura de vidro</p> <p>Isolamento Absorvedor com tubos para fluido caixa de coletor</p>	<p>Cobertura de vidro</p> <p>reflector Isolamento Absorvedor com tubos para fluido caixa de coletor</p>	<p>Tubo de vidro em vácuo Absorvedor com 2 tubos concêntricos (entrada e saída)</p>



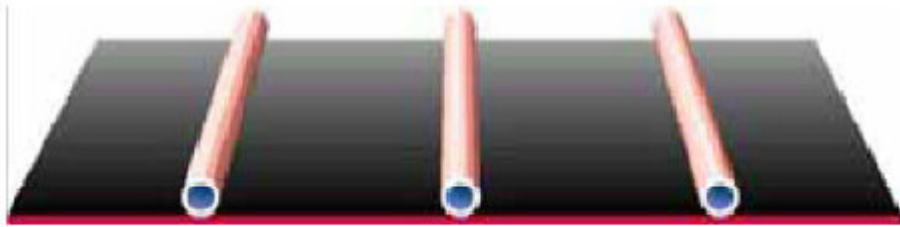
# Coletor solar plano fechado





$$\text{Energia Incidente} = \left\{ \begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{Absorvida} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{Transmitida} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{Energia} \\ \text{Refletida} \end{array} \right\}$$

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$



Absoror com um sistema de tubos soldados numa chapa de metal

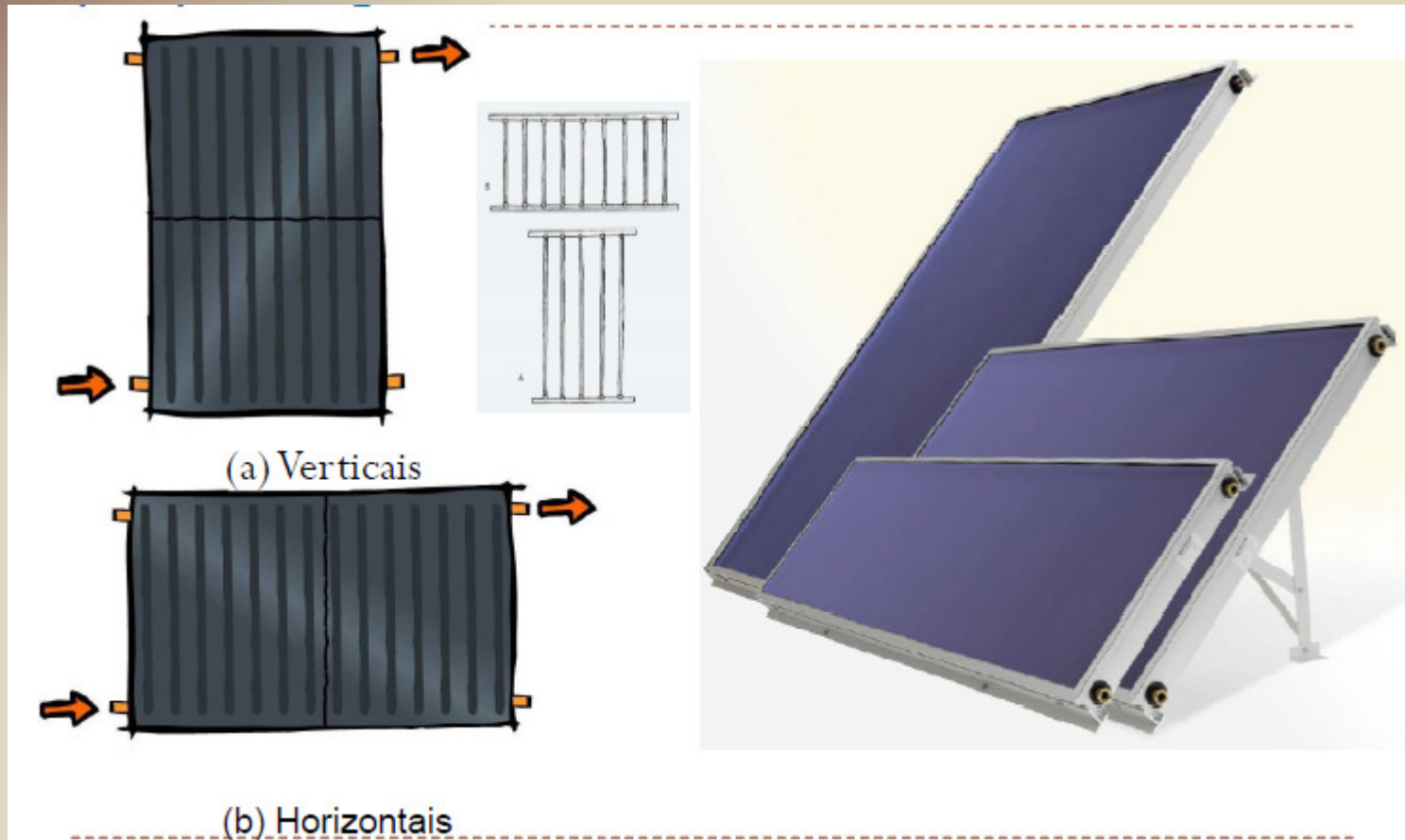


Faixas absororas de alumínio com tubos de cobre prensados



Absoror com sistema de tubos prensados entre duas chapas

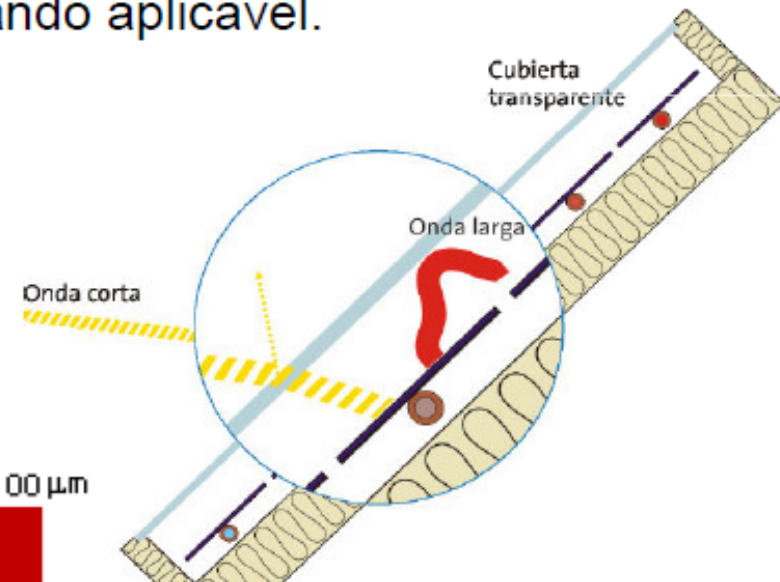
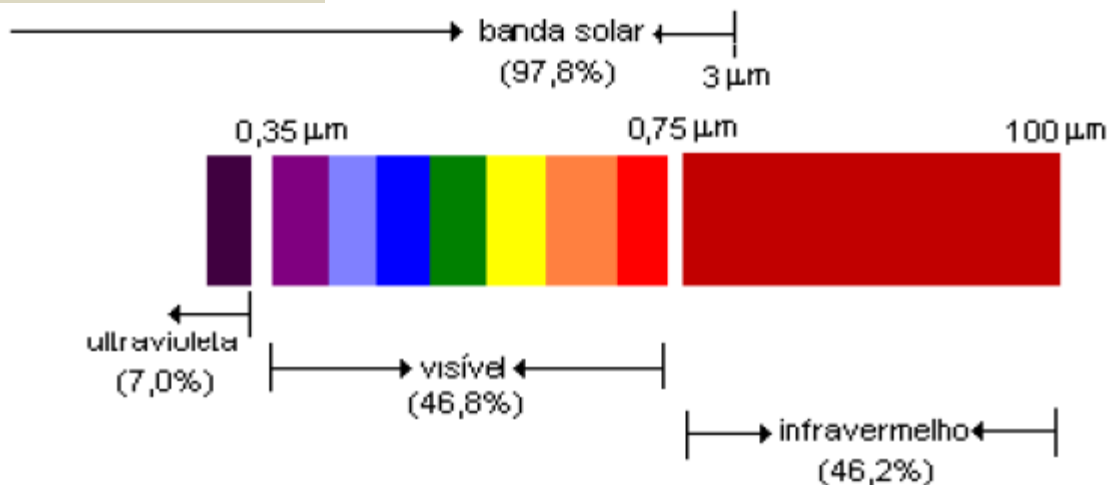
# Geometria dos coletores planos





# Vidros

- Ter uma boa transparência ( perto de 90%)
- Provocar o efeito estufa
- Assegurar a estanqueidade do coletor à água e ao ar.
- Devem resistir à pressão do vento, ao peso do gelo, da neve e aos choques térmicos, quando aplicável.



Durante o envelhecimento transmitância média é reduzida de 3,4% para o vidro de baixo teor de ferro e de 11,4% para o vidro comercial.

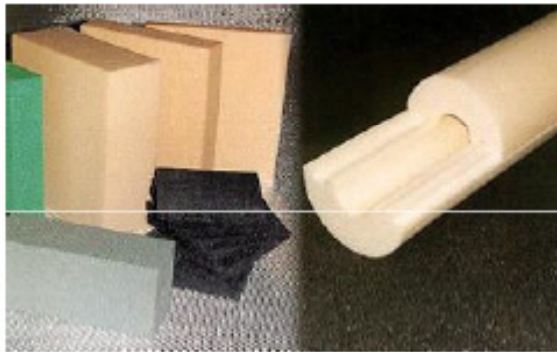
Tal fato é atribuído ao processo de oxidação que ocorre nos vidros com elevado teor de ferro durante a fase de exposição continuada ao Sol.

As coberturas de vidro normalmente utilizadas refletem cerca de 4% da radiação em ambos os lados da superfície do vidro.

A lavagem dos vidros é uma das principais manutenções de um sistema de aquecimento solar

# Isolantes térmicos

Isolamentos térmicos são compostos por materiais de baixa condutividade térmica que podem ser combinados entre si para que se atinja uma condutividade térmica do conjunto ainda menor



(a) Poliuretano

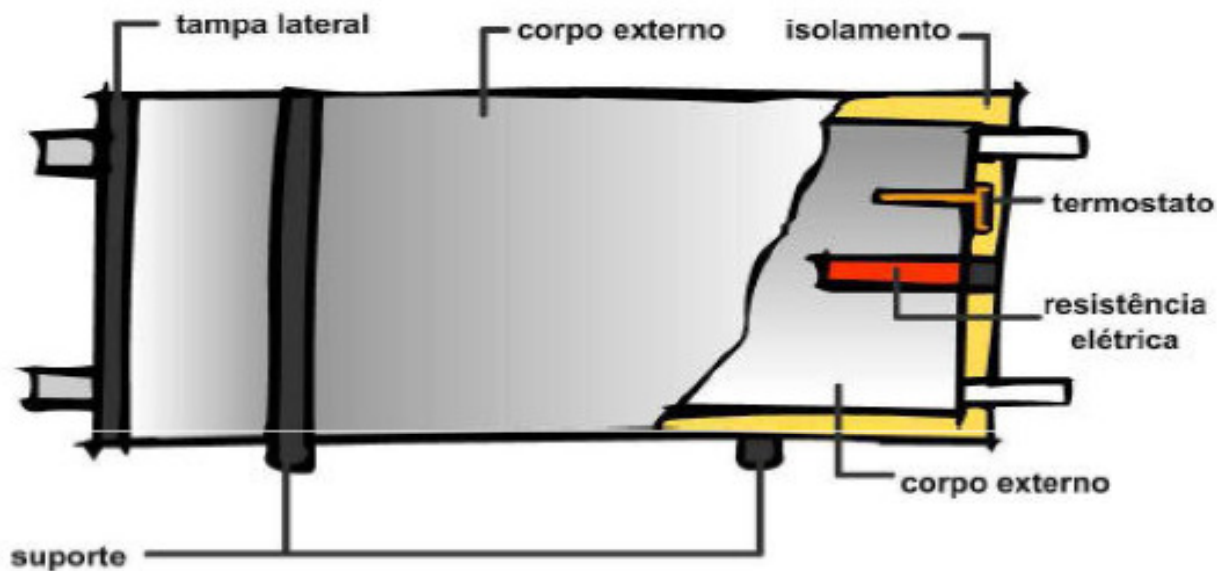



(b) Lã de vidro



(c) Lã de rocha

# Sistema de armazenamento



 O armazenamento de energia captada, quando necessário, em função da não simultaneidade entre consumo e disponibilidade de energia solar, é feito através do armazenamento de água em reservatório(s) apropriado(s) e se manifesta pela elevação da temperatura da água armazenada



- Alto calor específico do meio de acumulação;
- Baixas perdas térmicas ( pequena superfície e bom isolamento térmico);
- Boa estratificação de temperatura
- Vida útil aproximada entre 20 e 25 anos;
- Baixos custos e fácil disponibilidade do meio de acumulação;
- O meio de acumulação e o reservatório deve possuir boas propriedades de higiene e meio ambientais;
- Deve ser capaz de suportar pressões e temperaturas de trabalho previstas;

# Reservatórios metálicos



# Reservatórios poliméricos



Reservatório Térmico  
Especial em PRFV (Poliéster  
Reforçado com Fibra de  
Vidro) com resina especial  
para água quente



O Reservatório Térmico de  
Polietileno de Média  
Densidade - PEMD



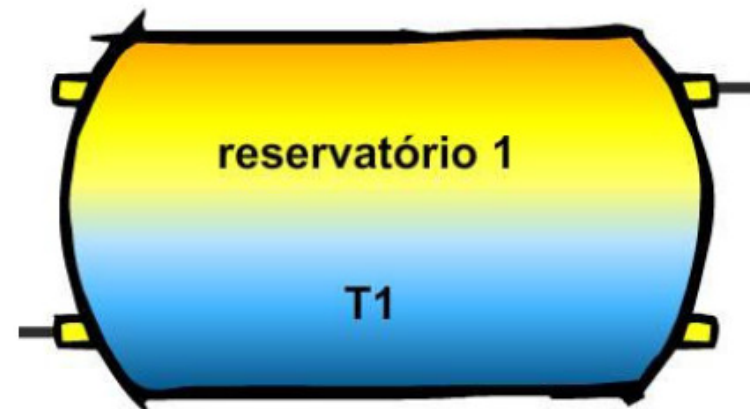
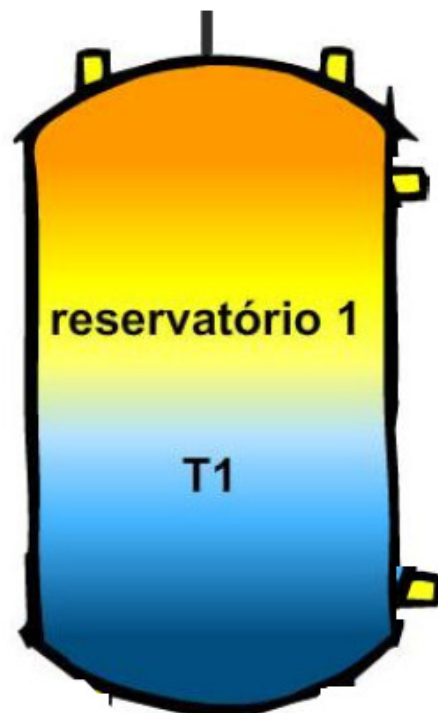


(a) horizontais



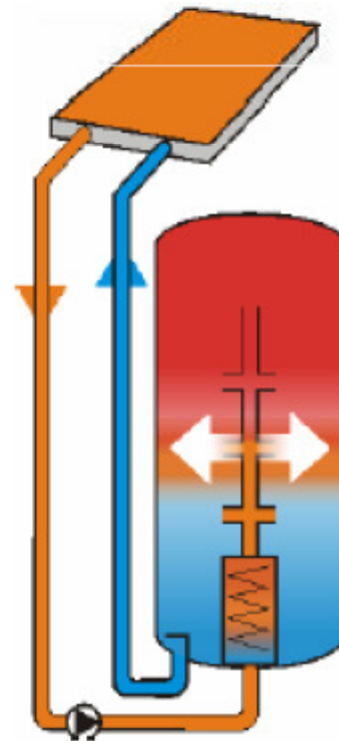
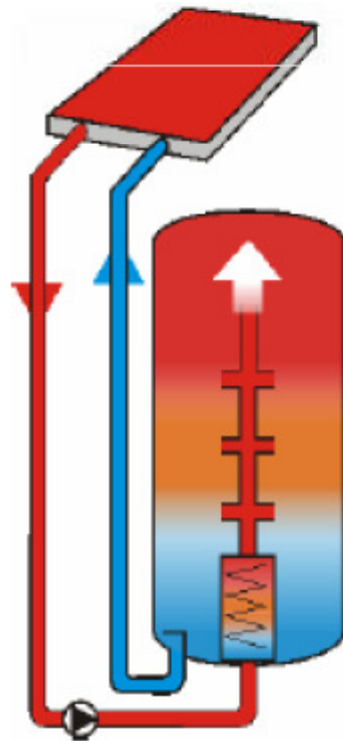
(b) Verticais

- Os depósitos acumuladores dispor-se-ão preferencialmente em posição vertical, para favorecer a estratificação da água;

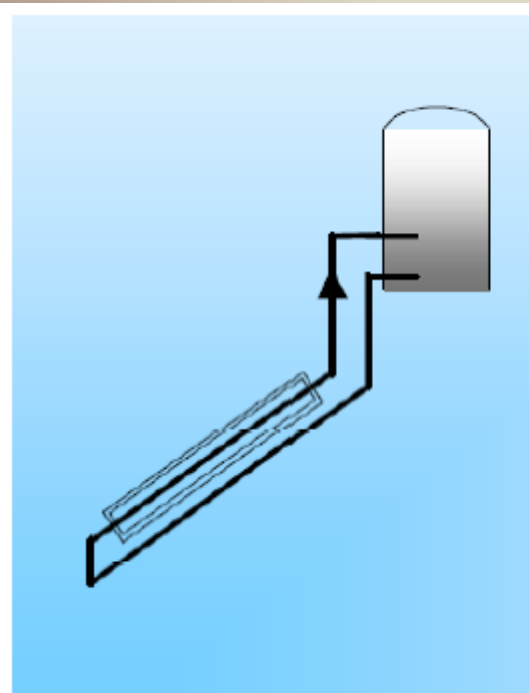




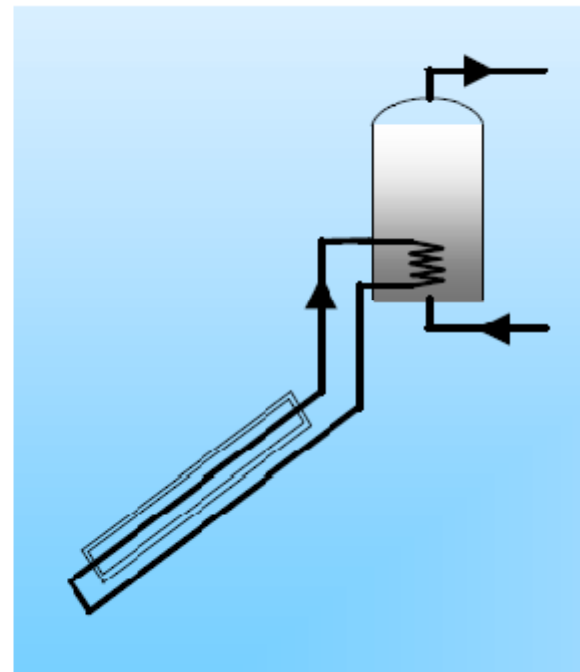
- Tubos estratificadores



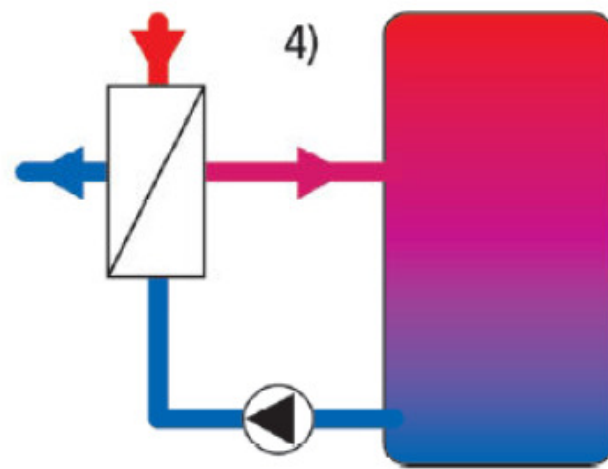
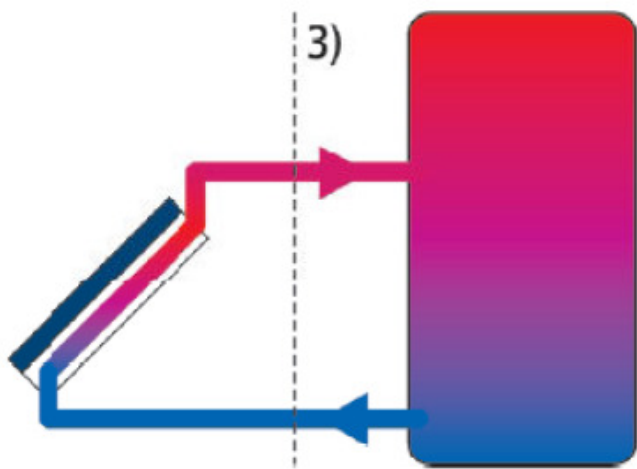
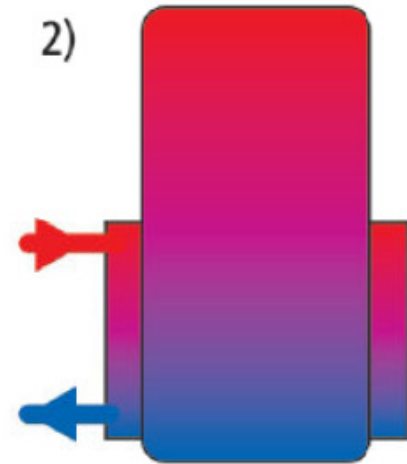
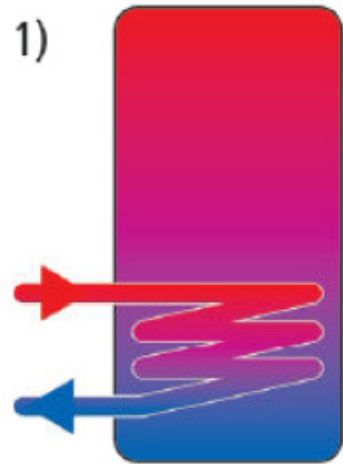
# Princípios de funcionamento



**Circuito Direto**



**Circuito Indireto**



# Circuito direto

- Os materiais utilizados nos coletores e em todo o circuito não devem poluir a água, se esta for para consumo humano.
- O sistema é desaconselhado para zonas com temperaturas mínimas negativas, já que não tem nenhuma proteção contra a congelamento;.
- Os riscos de corrosão do circuito primário são maiores, devido ao conteúdo de ar na água de rede.
- Perigo de incrustações de calcário pela dureza e qualidade da água.



### **Circulação natural ou por termossifão**

circulação de água no sistema de aquecimento solar devido ao fenômeno de termossifão, que consiste na movimentação de um fluido cuja força motriz tem origem na diferença de densidade decorrente da variação de sua temperatura

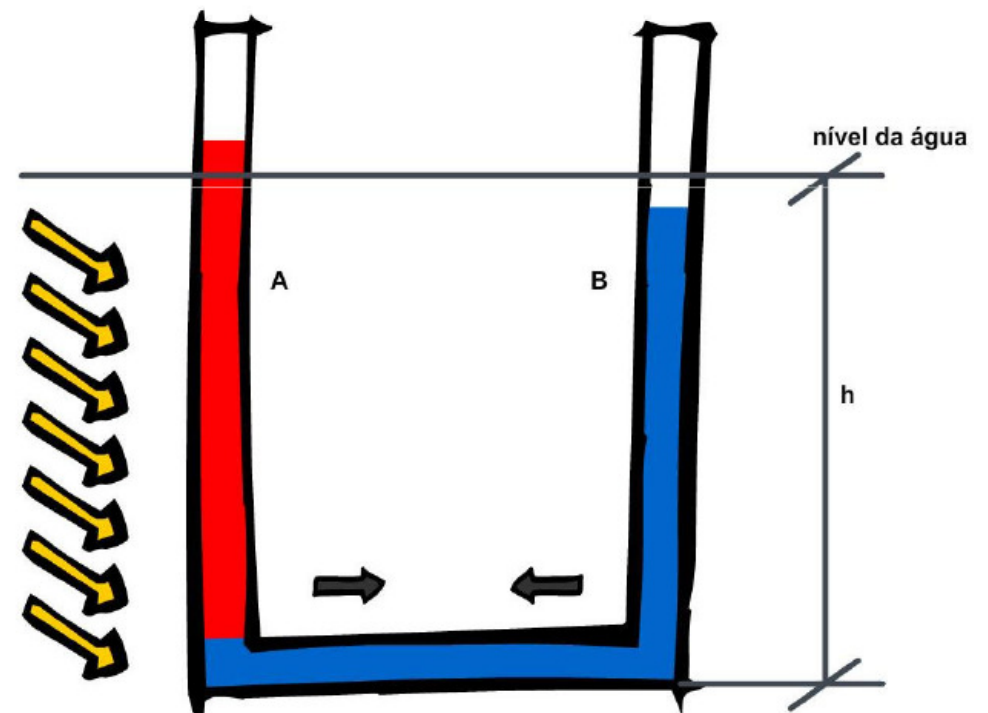
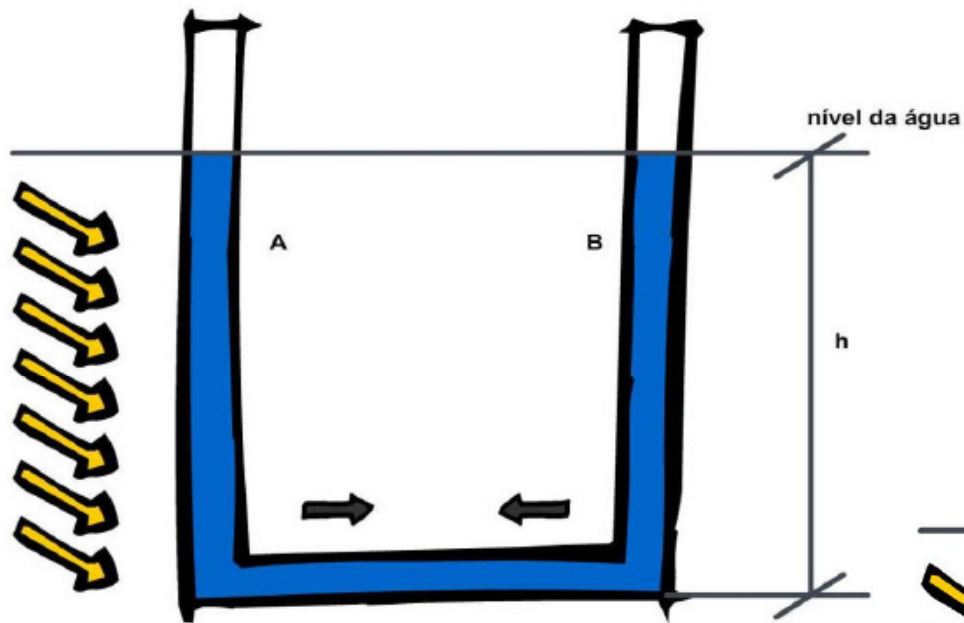


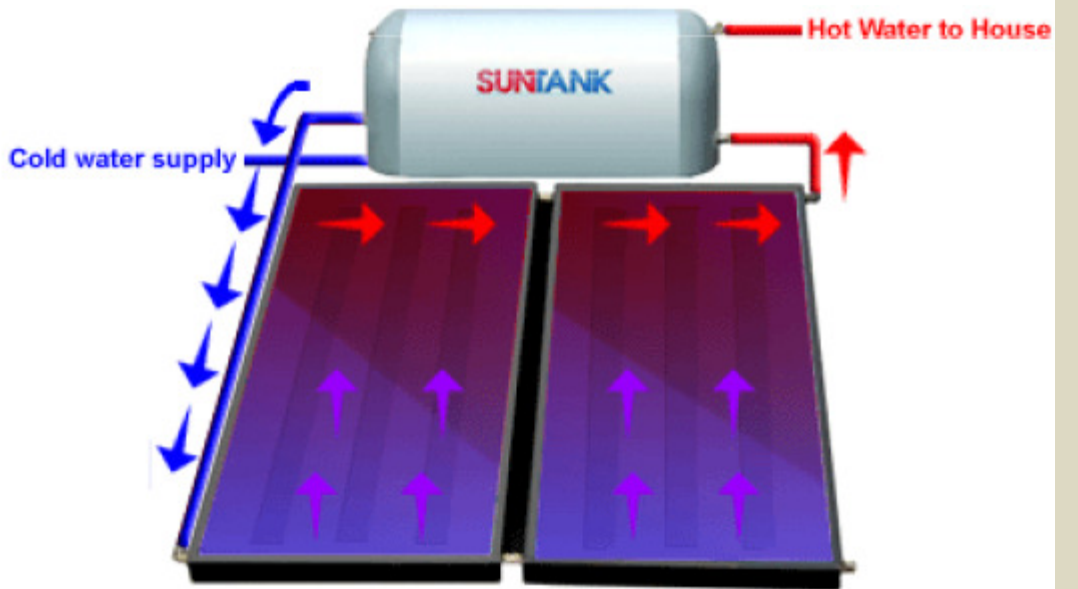
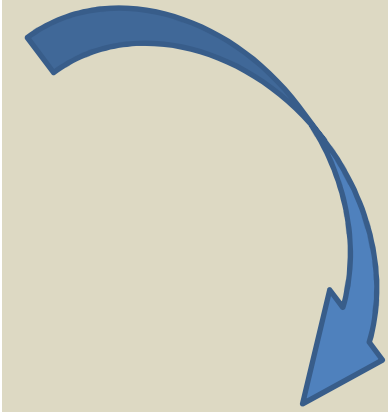
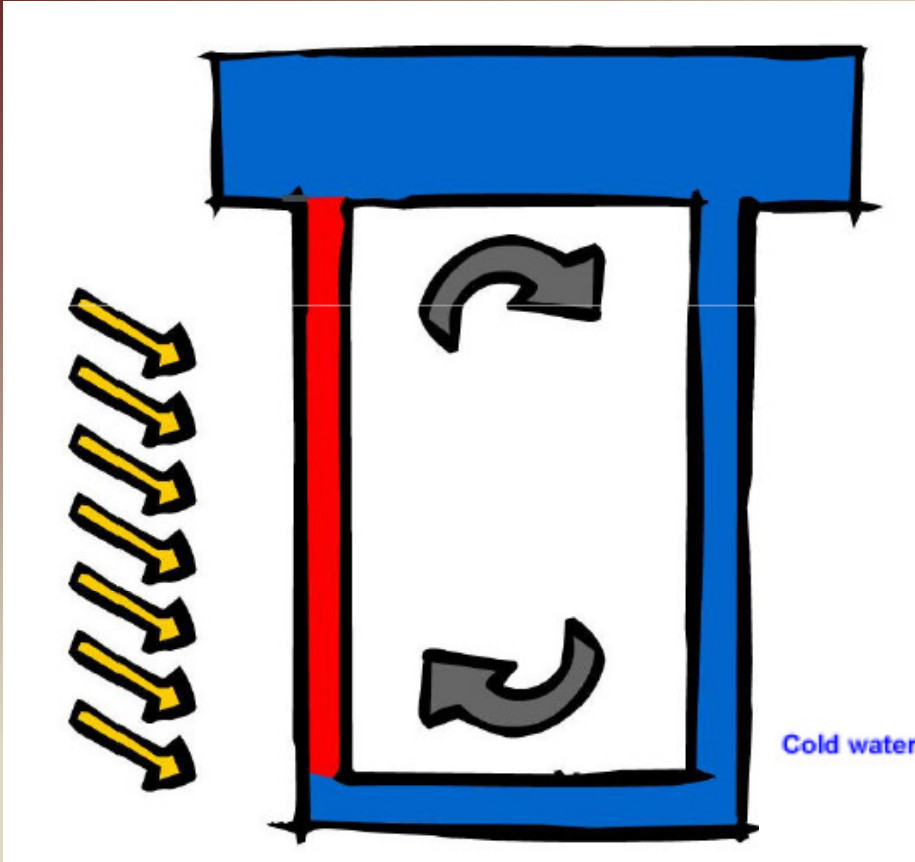
### **Circulação forçada**

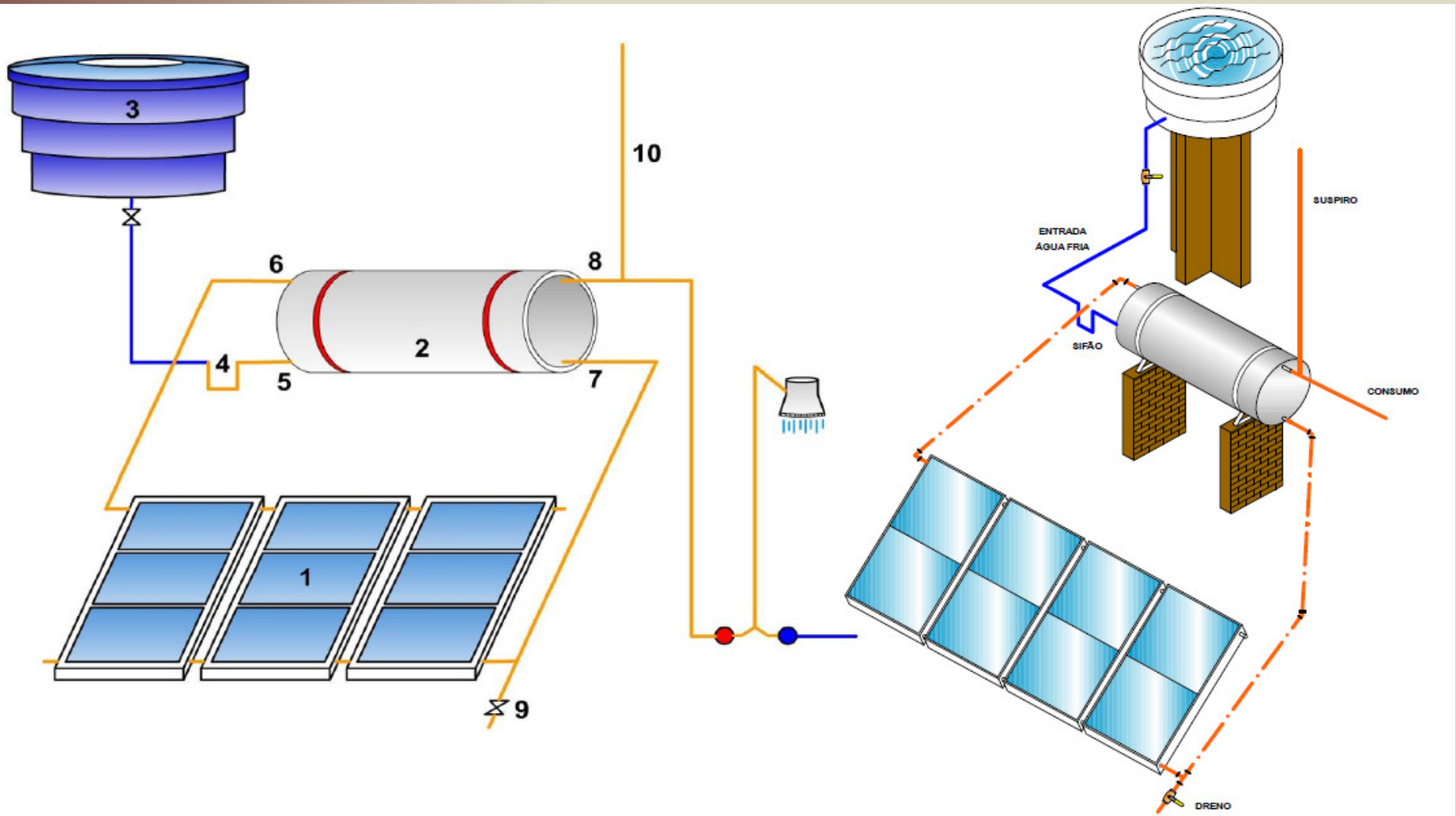
circulação de água no sistema de aquecimento solar devido predominantemente à imposição externa de pressão no circuito hidráulico (por exemplo, através de uma motobomba)

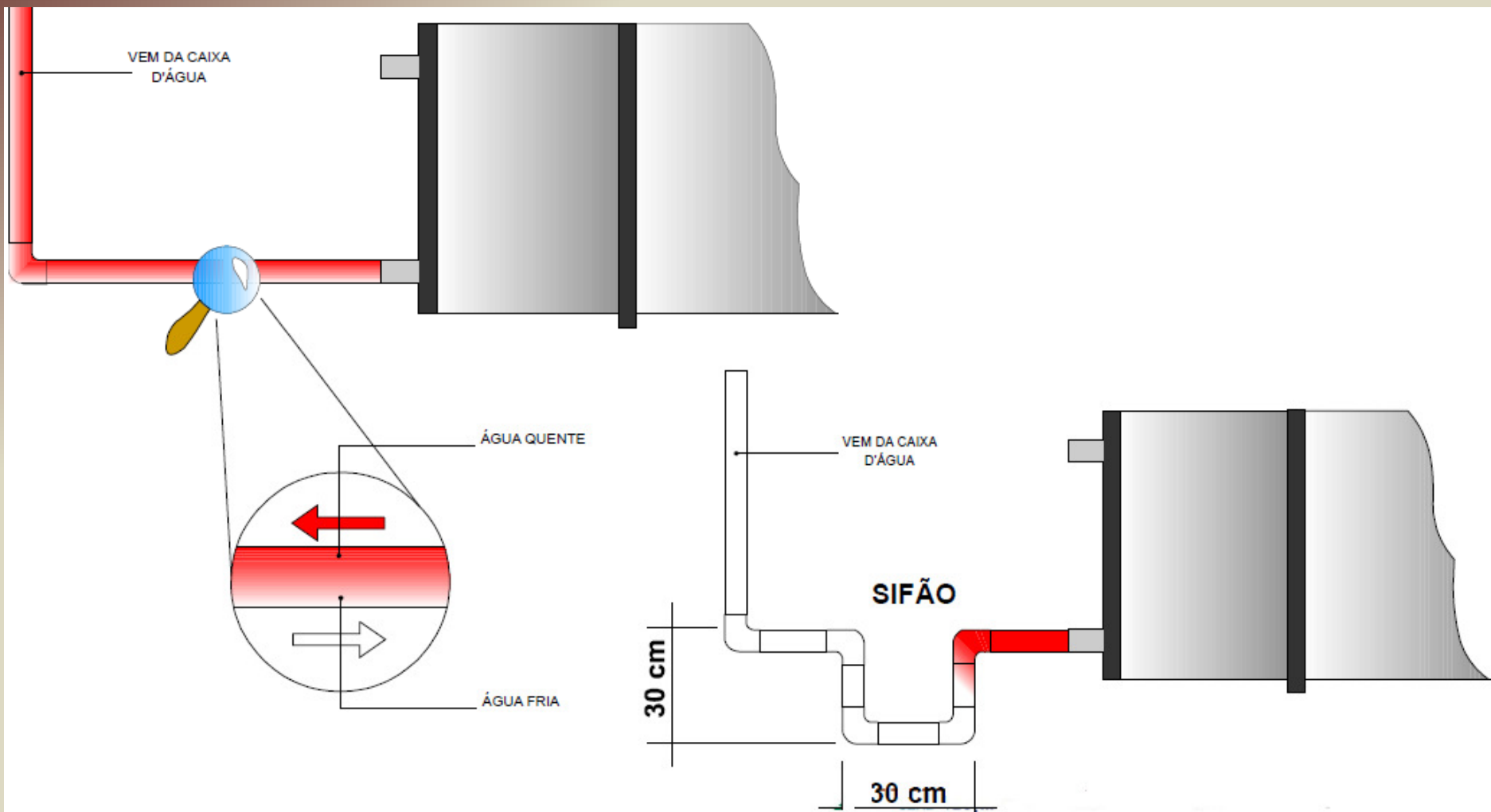


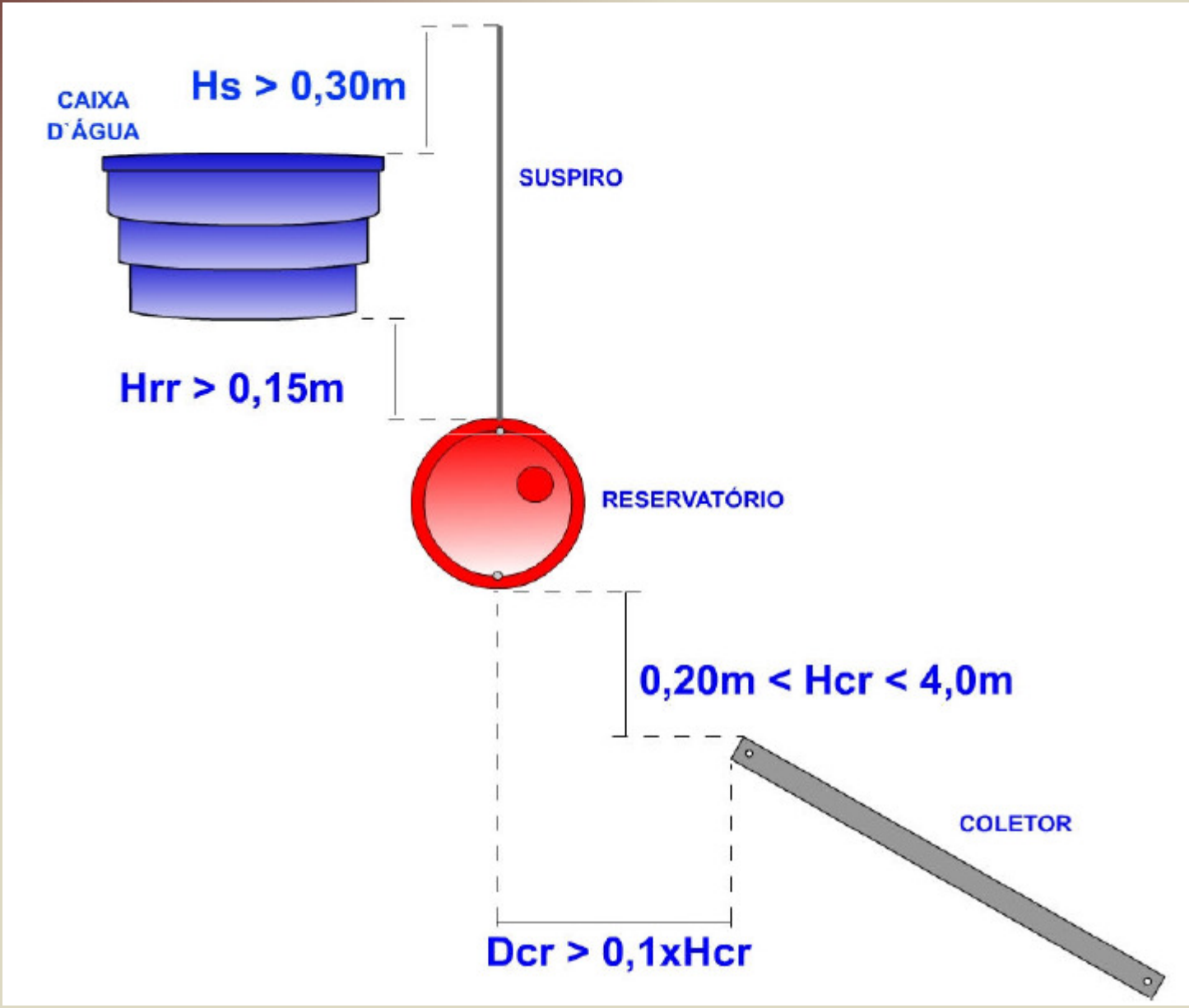
# Princípio de funcionamento - termossifão



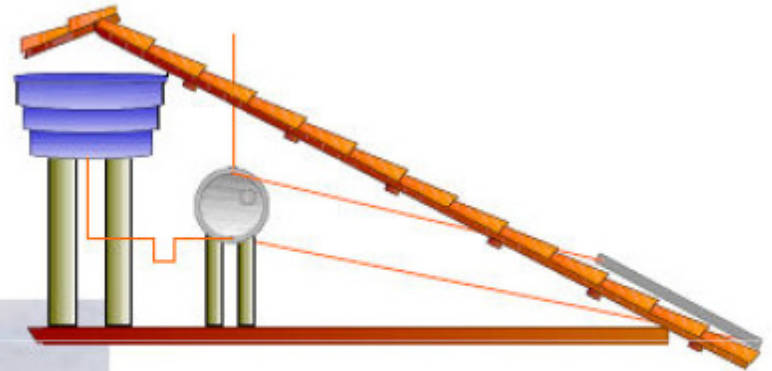




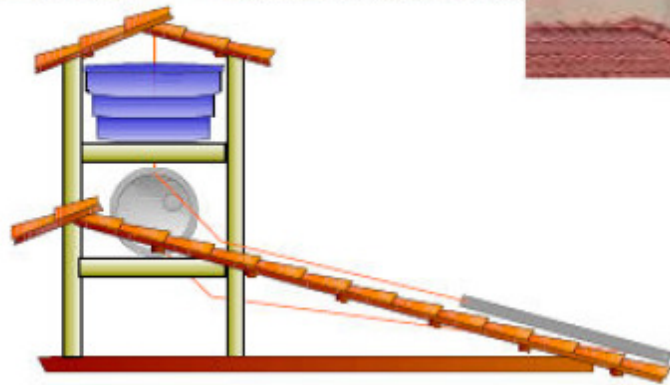




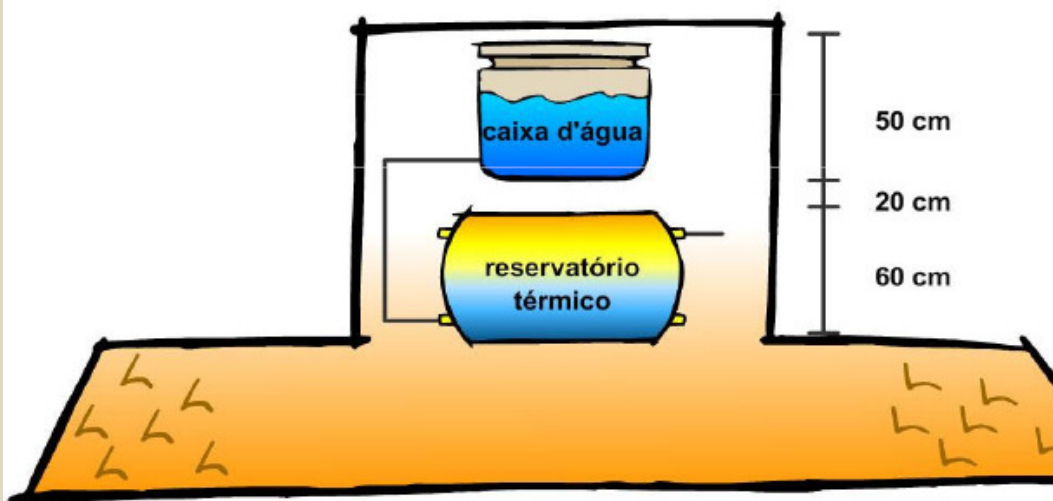
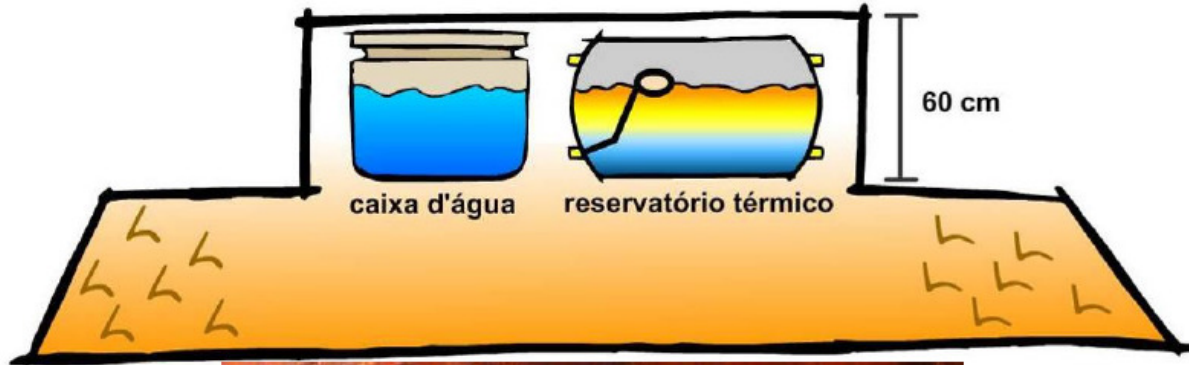




TERMOSSIFÃO TÍPICO



TERMOSSIFÃO COM DOIS TELHADOS

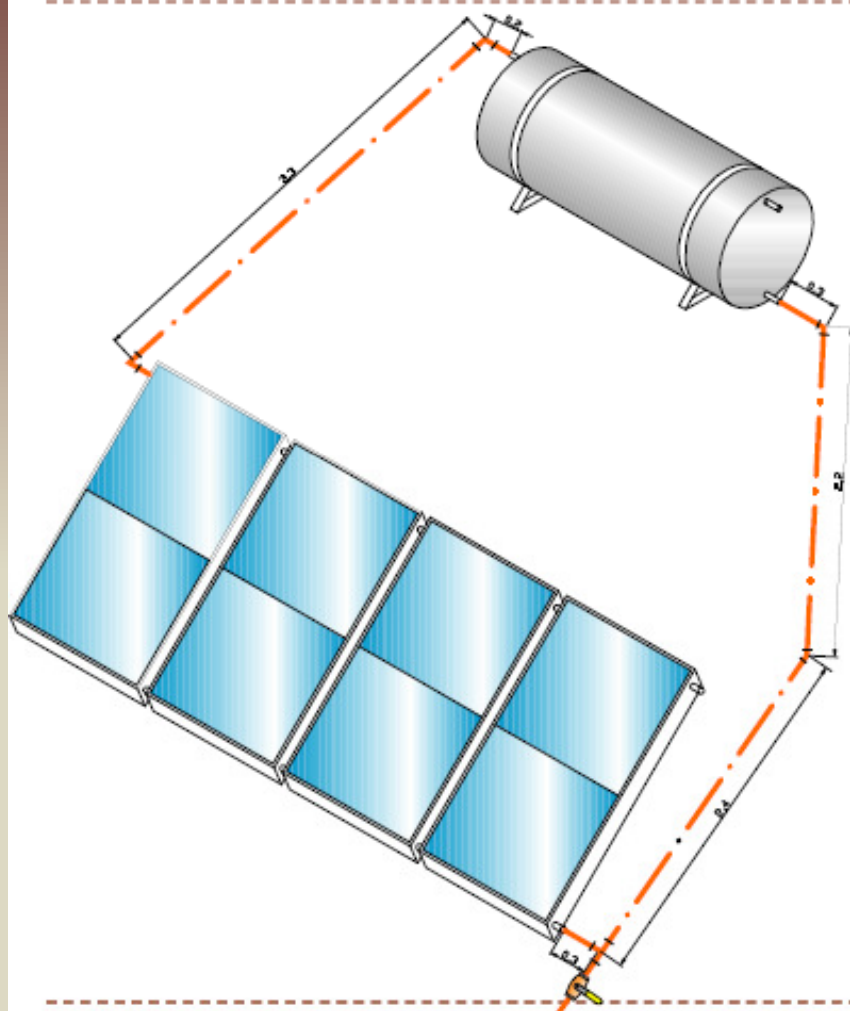


# Perda de carga nas tubulações

A força motriz por termossifão é muito pequena apesar de suficiente para garantir um ótimo desempenho do sistema. Para garantir que esta força esteja disponível vários cuidados de instalação devem ser analisados:

Normalmente usa-se tubos de 22 mm (3/4") em instalações de até 8 m<sup>2</sup> e 28 mm para instalações acima disso, até um limite de 12 m<sup>2</sup>.

## Regras importantes no termossifão – Perda de Carga



Lista de materiais - Cobre		
Item	Desc.	Qtde
Tubo	22mm	8,7m
Cotovelo 90°	22mm	2
Curva 45°	22mm	2
Tê	22mm	1

### Comprimento real:

Alimentação: 5,2m

Retorno: 3,5m

### Comprimento equivalente:

2 cotovelos 90° = 2 x 1,2m = 2,4m

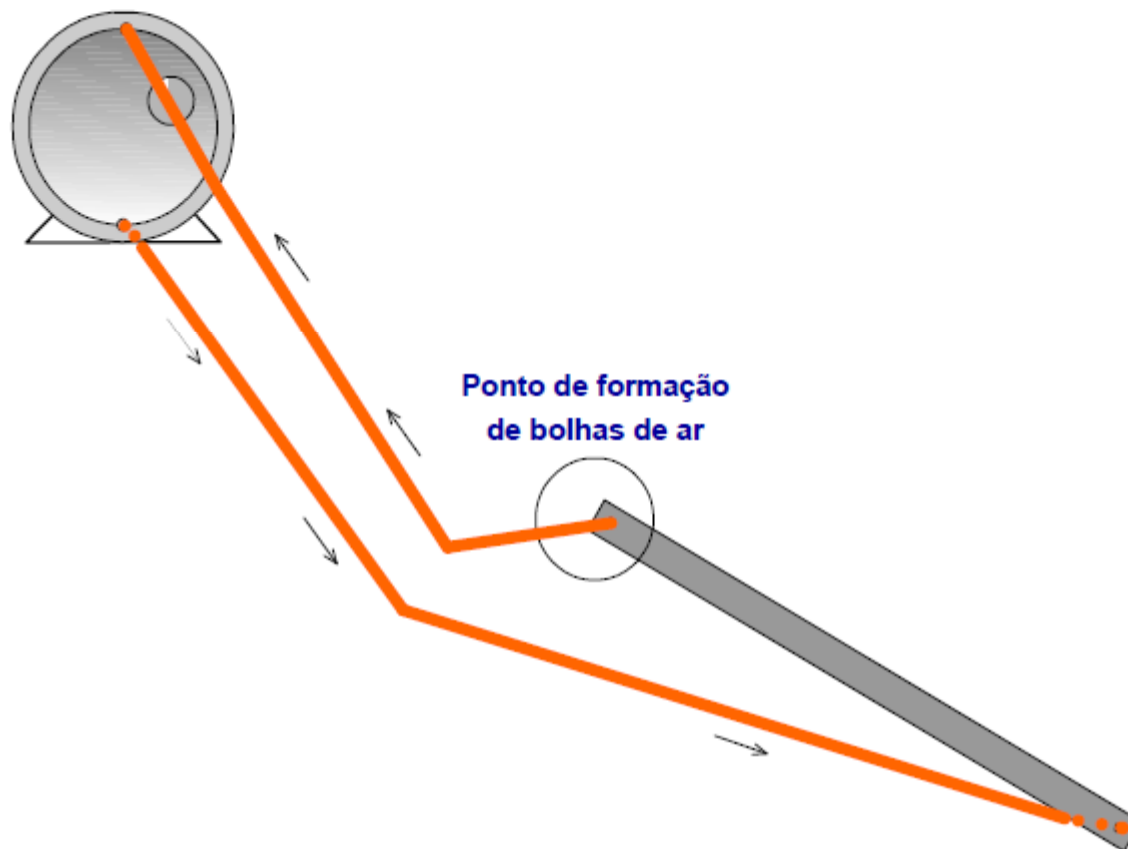
2 curvas 45° = 2 x 0,5 = 1m

1 tê passagem lateral = 2,4m

Comprimento Total = 15,3m

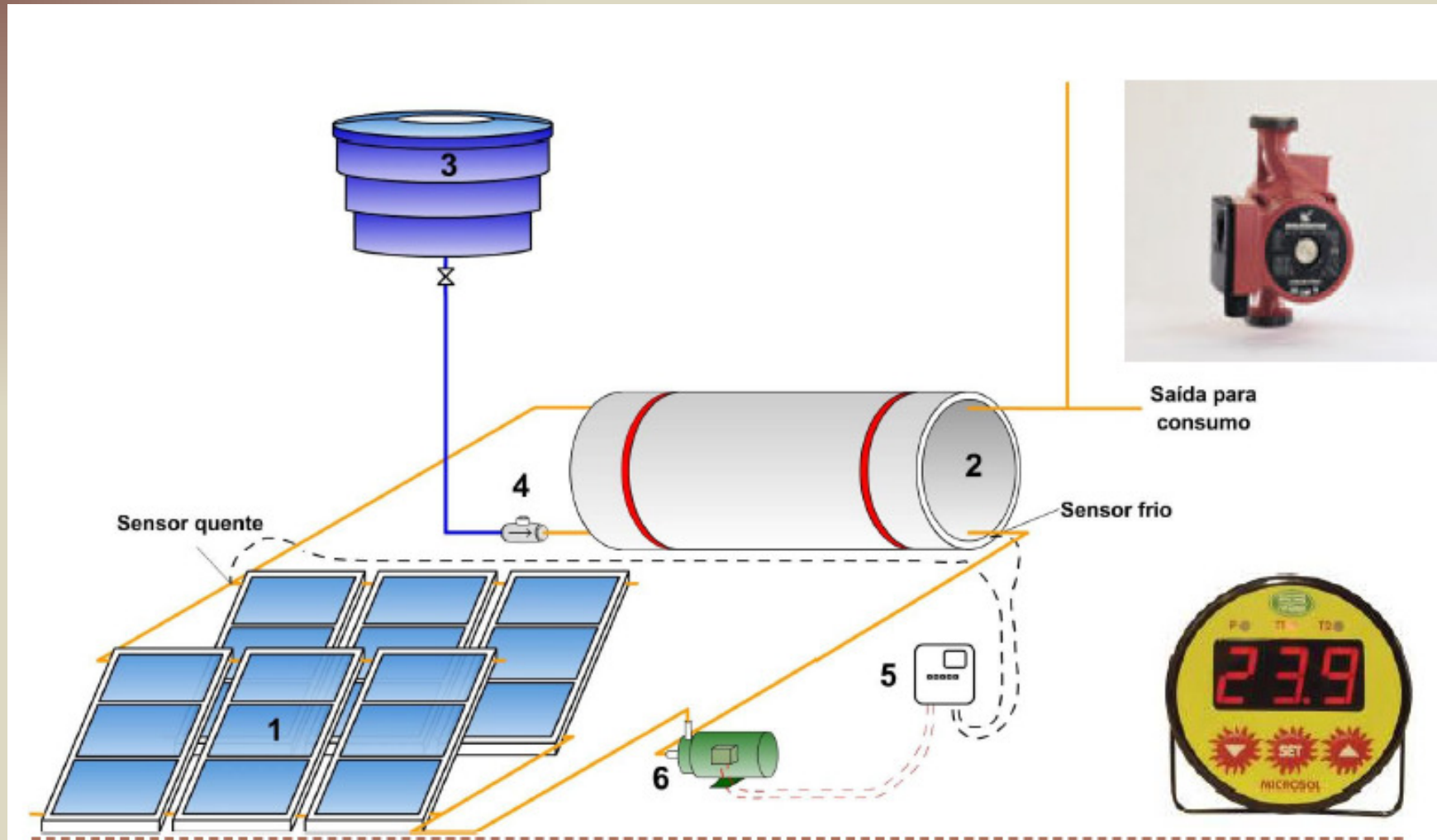
## Regras importantes no termossifão – Sifão e pontos de acumulos de ar

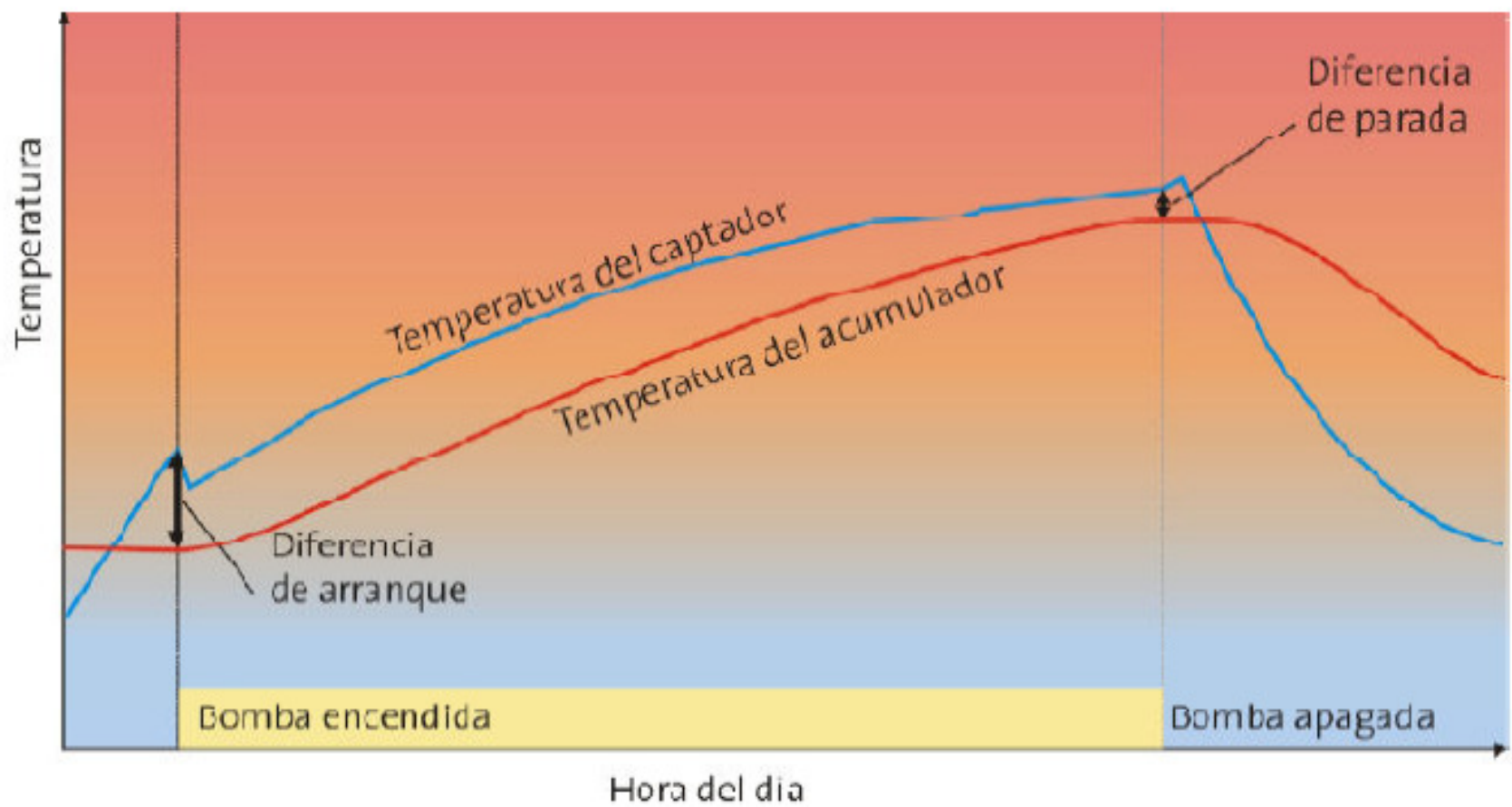
---



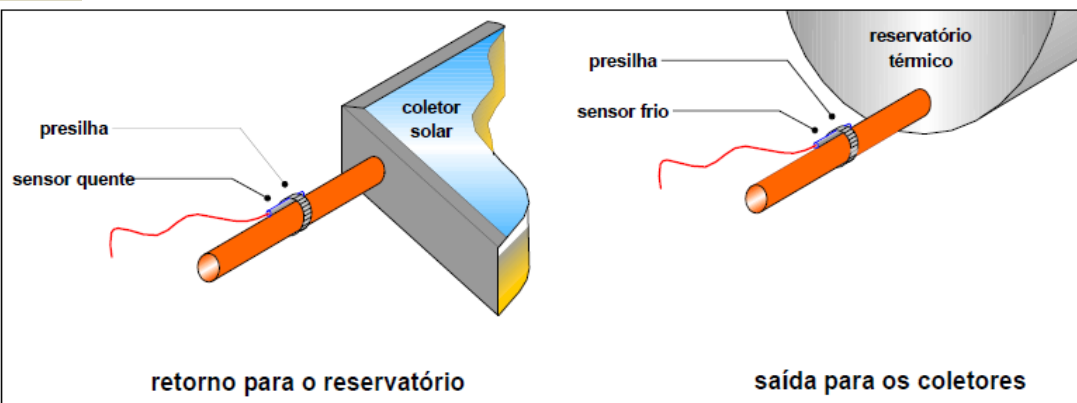
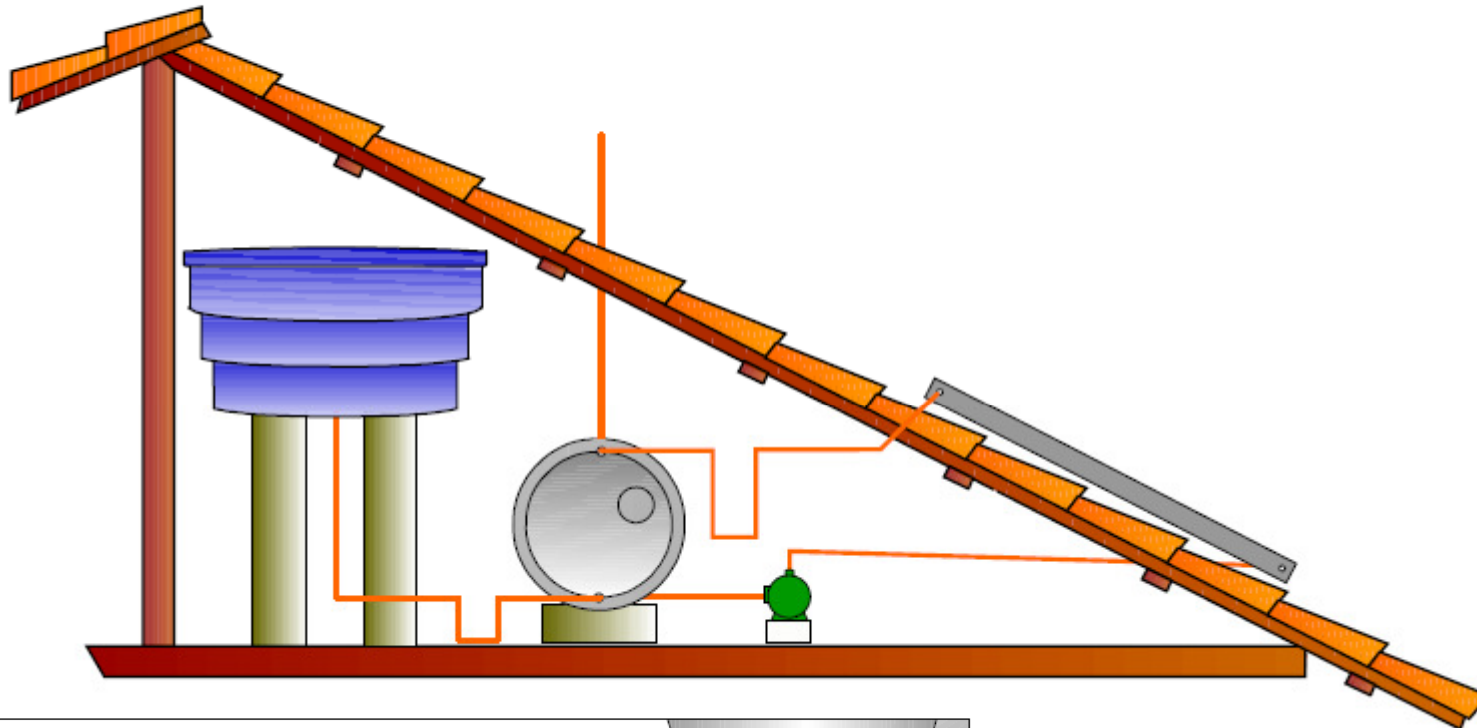


# Sistemas com circulação forçada





## Princípios de Funcionamento - Forçada



# Demanda de água quente e energia

## **Documentação do SAS**

O usuário do SAS deve solicitar e manter os seguintes documentos:

1. projeto;
2. manual de operação e manutenção;
3. anotação de responsabilidade técnica (ART) de elaboração do projeto;
4. anotação de responsabilidade técnica (ART) de instalação;
5. registros de manutenção

## **Documentação do projeto ( NBR 15569)**

A documentação do projeto deve contemplar no mínimo os seguintes elementos:

1. premissas de cálculo;
2. dimensionamento;
3. fração solar;
4. memorial descritivo;
5. volume de armazenamento;
6. pressão de trabalho;
7. fontes de abastecimento de água;
8. área coletora;
9. ângulos de orientação e de inclinação dos coletores solares;
10. estudo de sombreamento;
11. previsão de dispositivos de segurança;
12. massa dos principais componentes;
13. considerações a respeito de propriedades físico-químicas da água;



## **Documentação do projeto ( NBR 15569)**

A documentação do projeto deve contemplar no mínimo os seguintes elementos:

14. localização, incluindo endereço;
15. indicação do norte geográfico;
16. planta, corte, isométrico, vista, detalhe e diagrama esquemático, necessários para perfeita compreensão das interligações hidráulicas e interfaces dos principais componentes;
17. esquema, detalhes e especificação para operação e controle de componentes elétricos (quando aplicável);
18. especificação dos coletores solares e reservatórios térmicos;
19. especificação de tubos, conexões, isolamento térmico, válvulas e moto bomba;
20. tipos e localização de suportes e métodos de fixação de equipamentos, quando aplicável;

# Demanda de água quente - Brasil

## Brasil – NB 128

Edificação	Consumo
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

# Perfil do usuário

- Número de usuários
- Utilização de água quente
  - Banheiros
  - Cozinha
  - Outros
- Tempo de banho
- Horário dos banhos

# Demanda de energia

$$L_{\text{mês}} = \rho \frac{V_{\text{mês}}}{1000} \frac{c_p (T_{\text{banho}} - T_{\text{amb}})}{3600} \text{ [kWh/mês]}$$

onde  $\rho$  : densidade da água, considerada igual a 1000kg/m<sup>3</sup>

$V_{\text{mês}}$  : volume de água quente requerido por mês, em litros

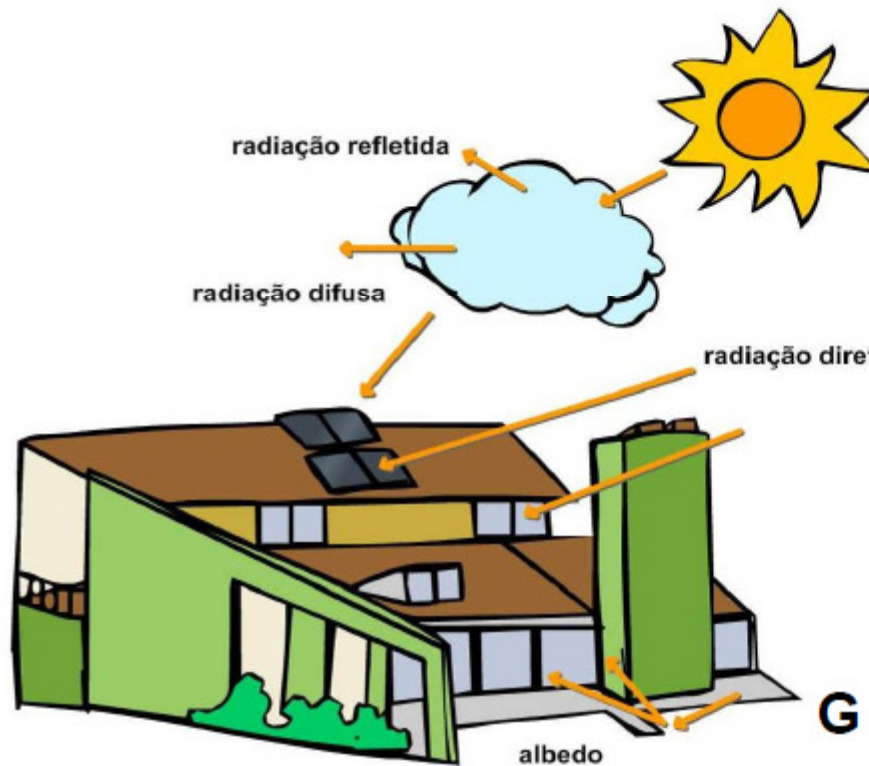
$c_p$  : calor específico da água a pressão constante igual a 4,18  
kJ/kg°C

$T_{\text{banho}}$  : temperatura da água quente

$T_{\text{amb}}$  : temperatura ambiente local

# Radiação solar

## Radiação Solar Global Diária



**Radiação solar directa (GB):** definida como a fração da irradiação solar que atravessa a atmosfera terrestre sem qualquer alteração em sua direção original;

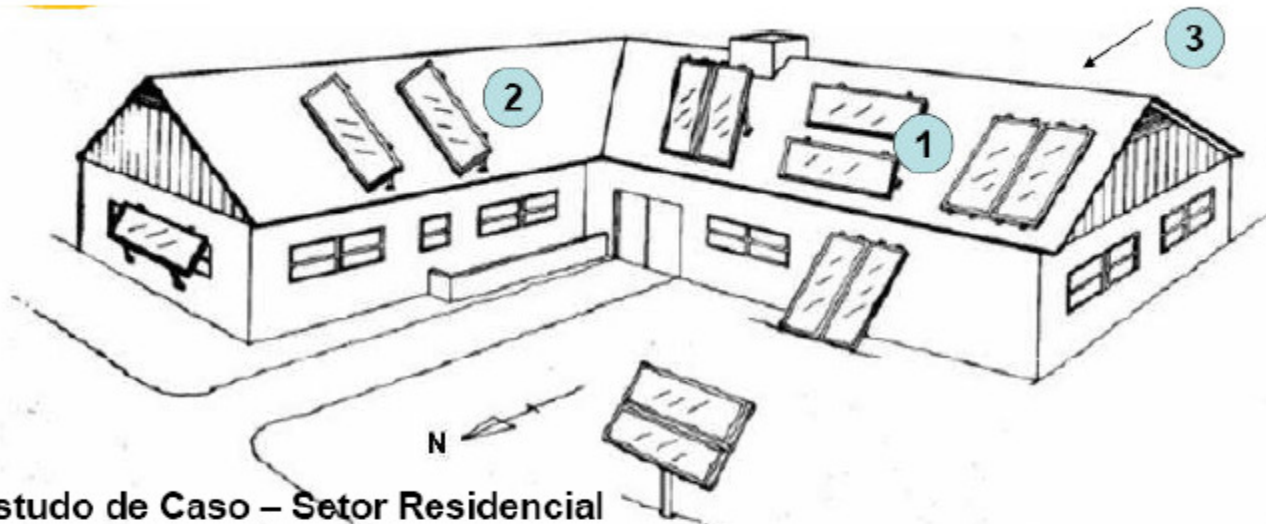
**Radiação difusa (GD):** se refere a a componente da irradiação solar que ao atravessar a atmosfera é dissipada por aerossóis, poeira, etc.

$$G = G_B + G_D$$

Radiação Global = Radiação Direta + Radiação Difusa + Albedo



## Ângulos solares



Estudo de Caso – Setor Residencial

- Qual a radiação solar incide nos diferentes telhados da casa?

Localidade

Ângulos solares

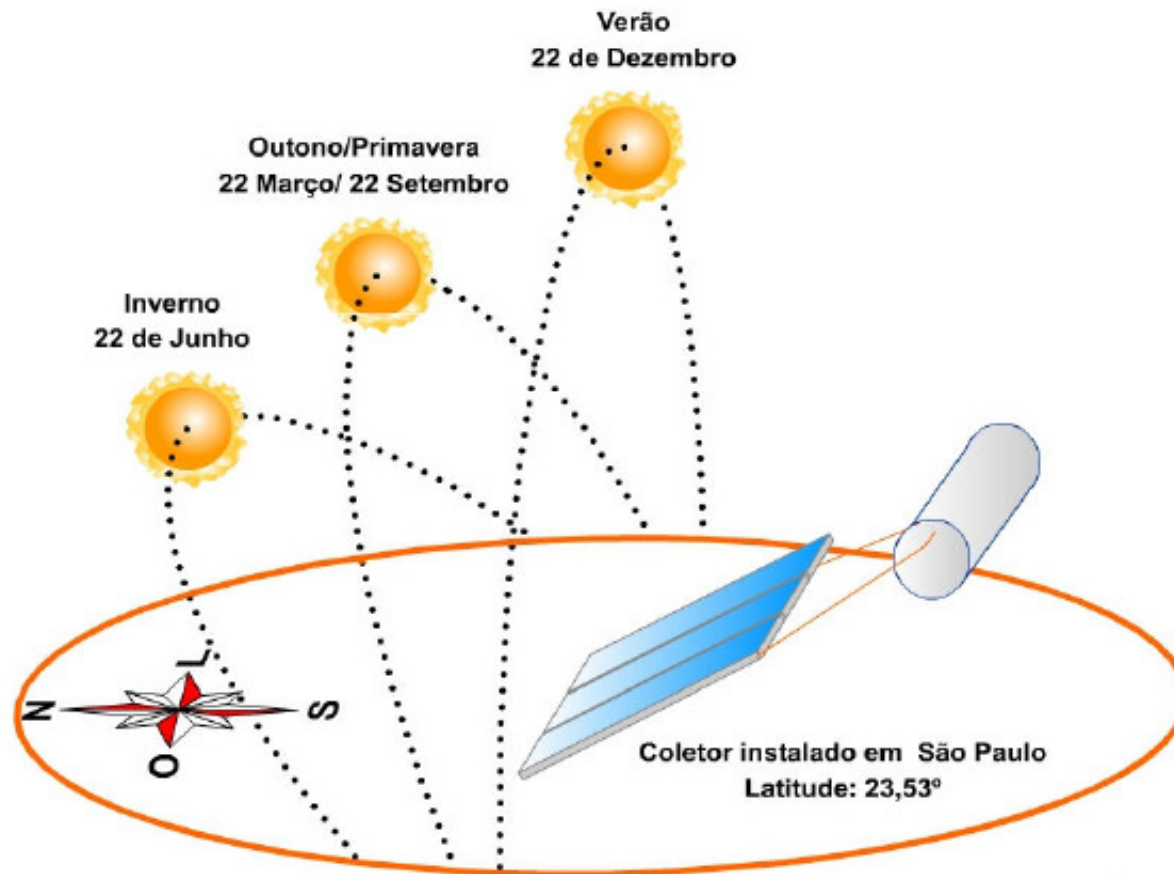
Sombreamento

## Posicionando corretamente os colectores

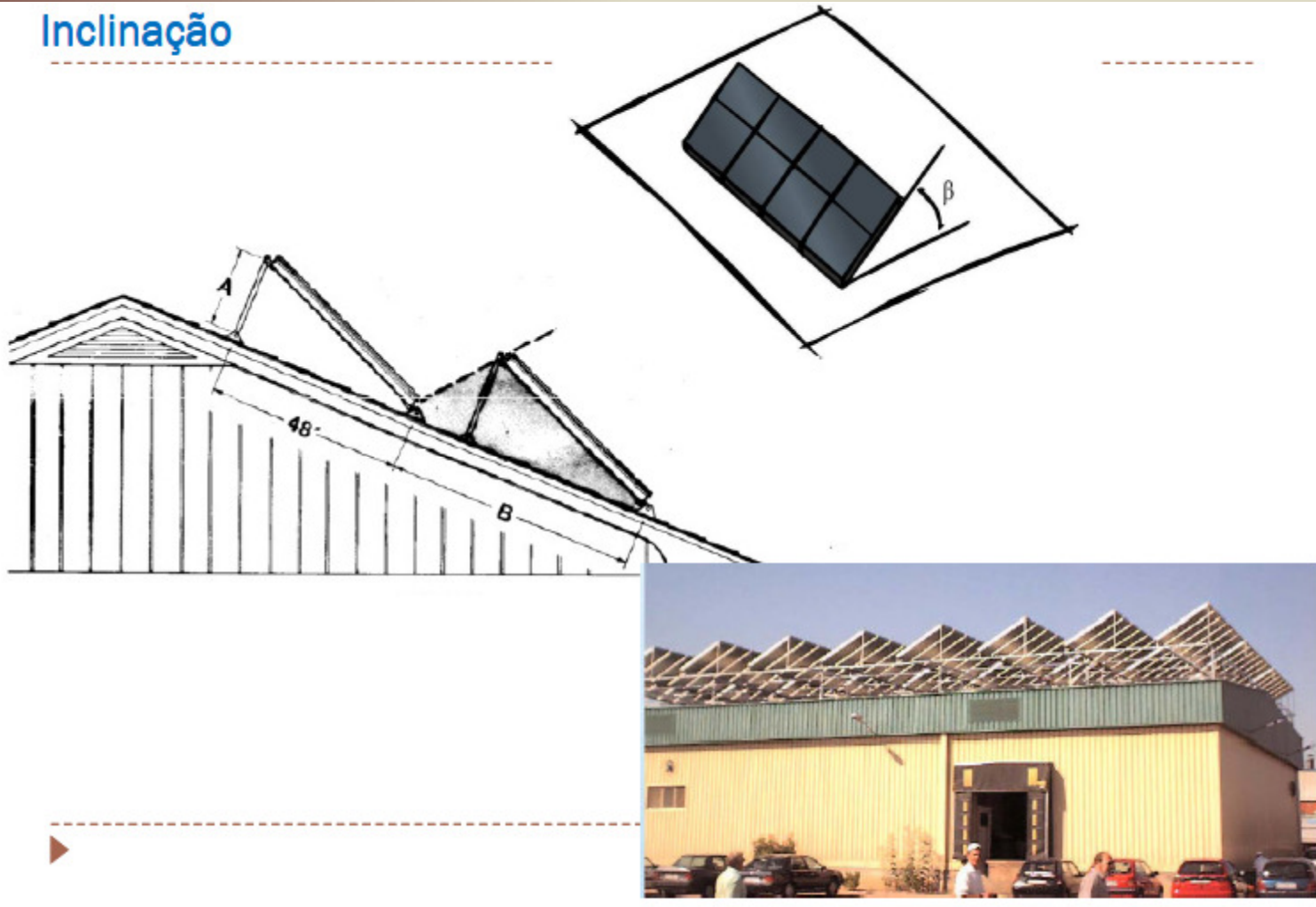
Posicionar corretamente os coletores solares visa promover:

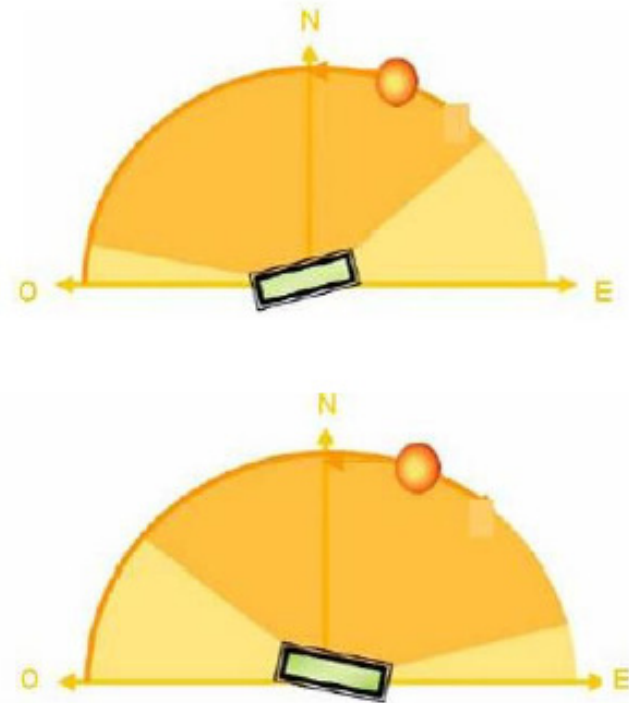
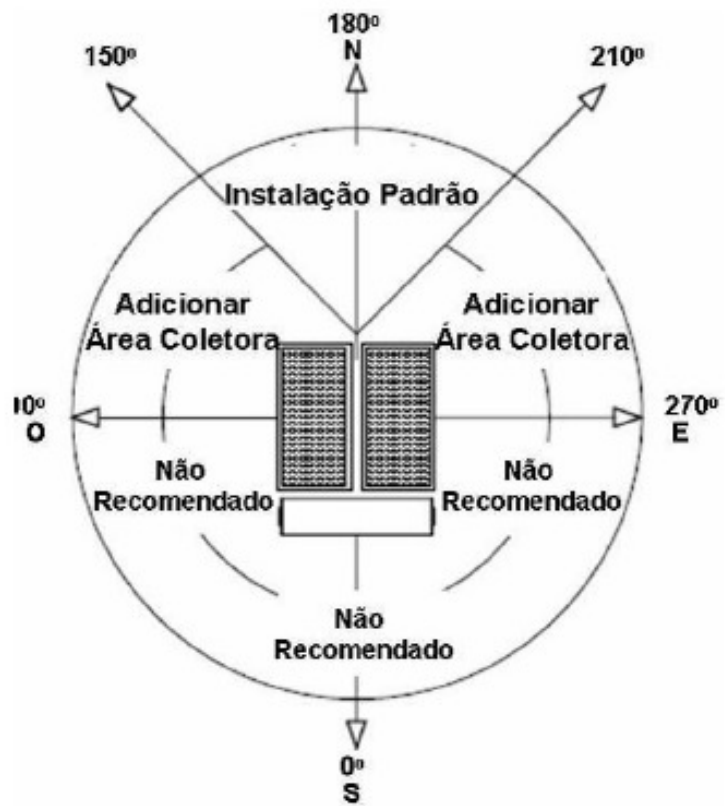
- maior período diário de insolação sobre a bateria de coletores;
- maior captação da radiação solar em determinadas épocas do ano ou em médias anuais, dependendo do tipo de aplicação requerida ou de particularidades do uso final da água quente.

## Enxergar o Sol por mais horas



## Inclinação





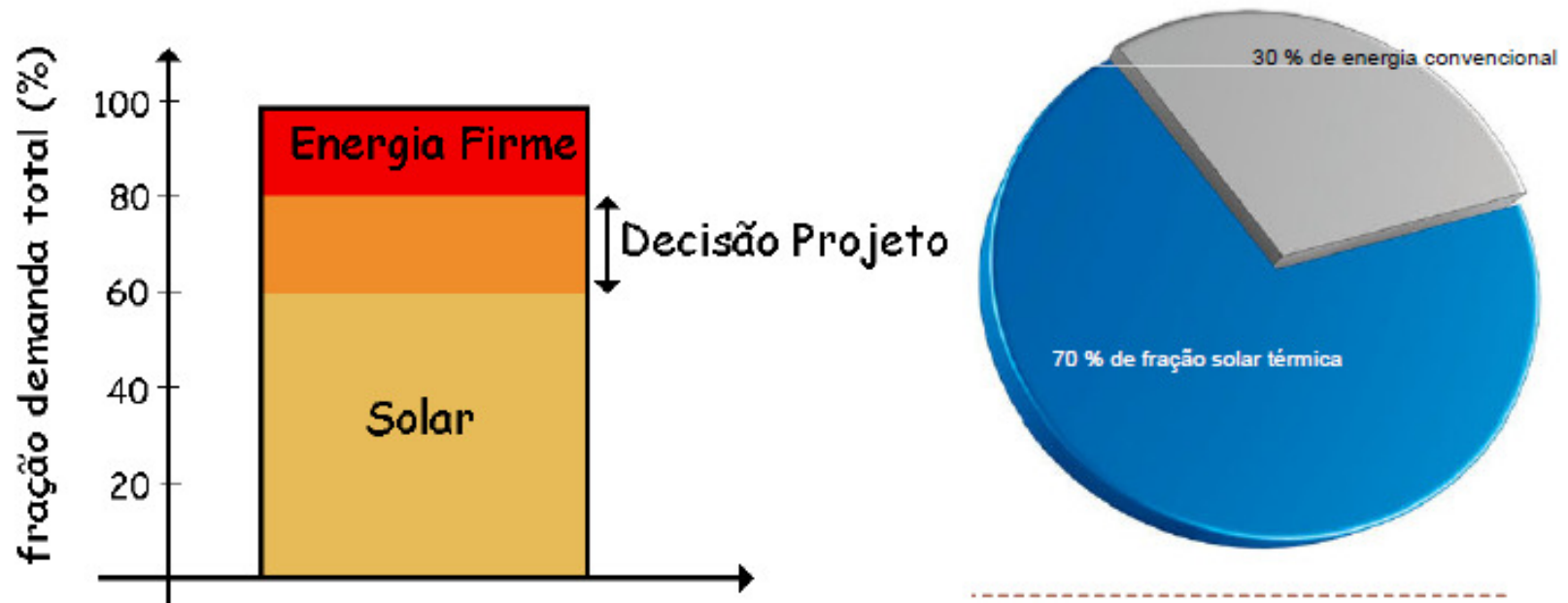


# Análise econômica

## Economia – f-chart

### Fração solar

parcela de energia requerida para aquecimento da água que é suprida pela energia solar, em média anual



# Contribuição solar:

## Economia- f-chart

---

$$F_{sol} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_{ad}} \times 100$$

Donde:

$F_{sol}$  = fração solar (%),

$Q_s$  = produção de calor solar (kWh)

$Q_{ad}$  = aquecimento auxiliar necessário (kWh)

## Economia- eficiencia del sistema

---

$$E_s = \frac{Q_s}{I_g \times A} \times 100$$

$E_s$  = eficiência do sistema

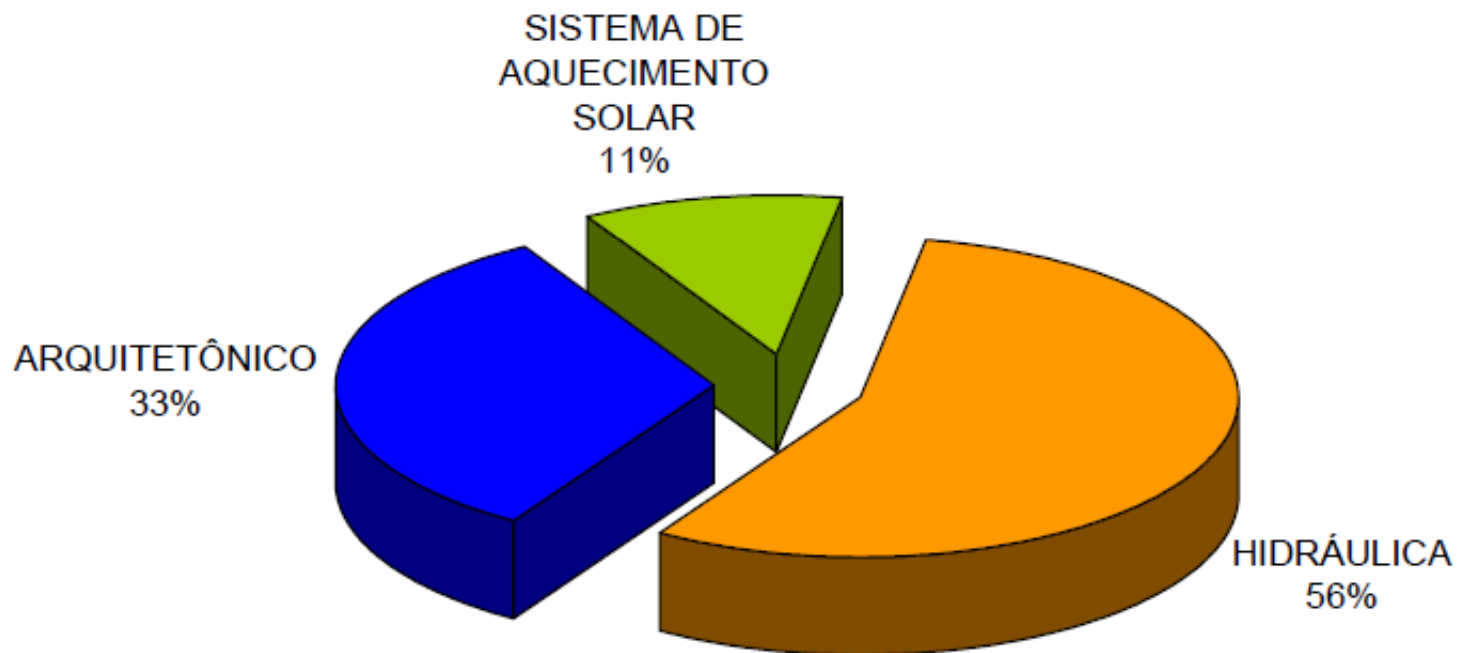
$I_g$  = irradiação solar (kWh/m<sup>2</sup> ano)

$A$  = área da superfície absorvedora

# Tópicos especiais

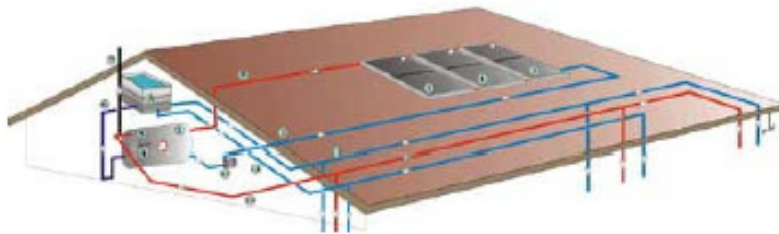
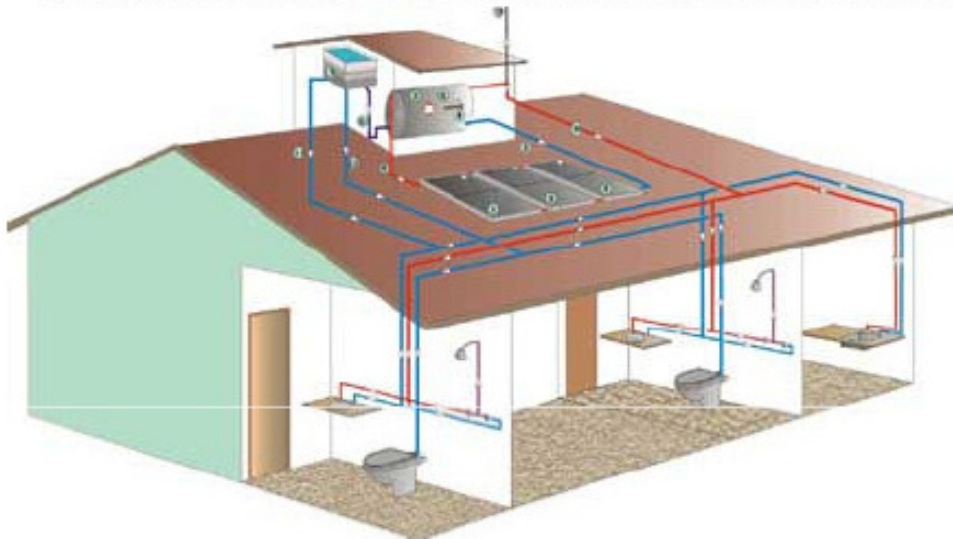
## Principais problemas em instalação solares

Pesquisa Cemig



# Cuidados de projeto

A obra possui circuito hidráulico de água quente?

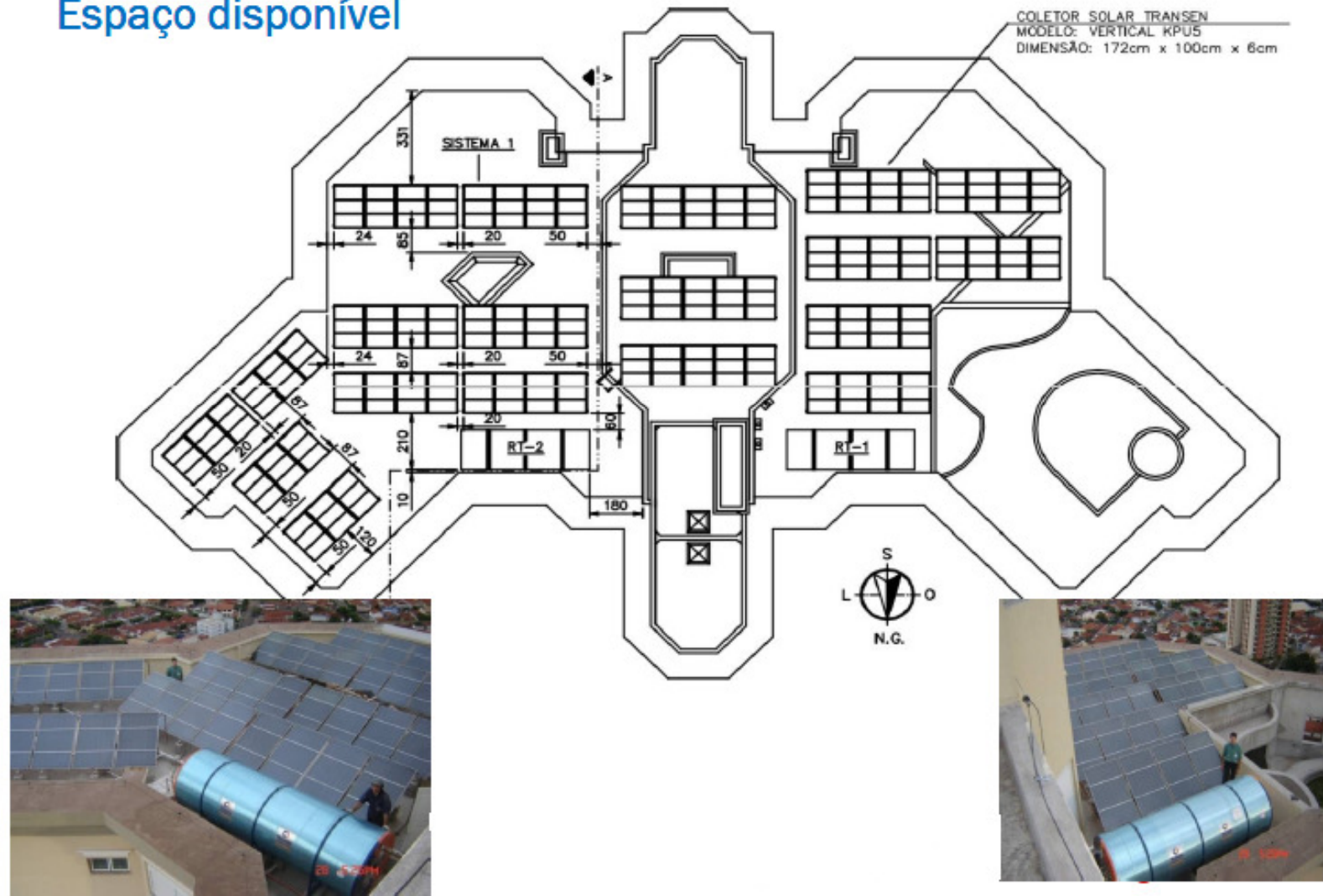


O aquecimento solar se aplica tanto a obras antigas como novas.

Prever o aquecimento solar na fase de projeto pode economizar de 30 a 50% na implantação do sistema.

# Cuidados de projeto

## Espaço disponível





# Cuidados de projeto

## Estruturas de Suporte

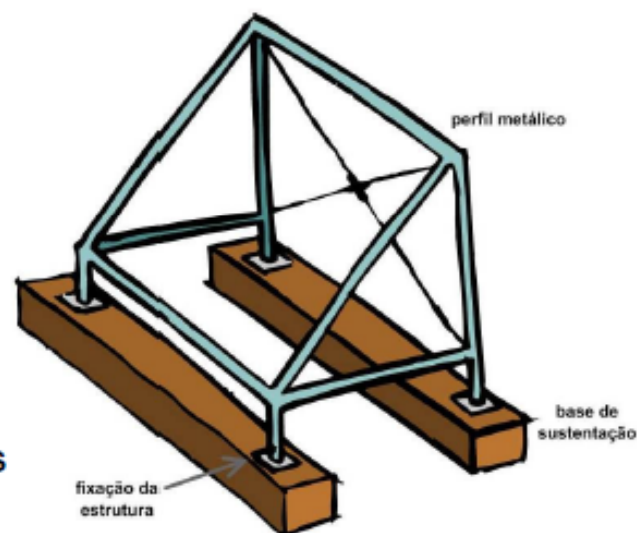


Se o ponto de fixação do coletor solar e seu suporte forem feitos de metais diferentes, eles devem ser isolados de forma a impedir a eletro-corrosão.

Suportes estruturais devem ser fixados de forma a resistir às agressões do ambiente e cargas como vento, tremores, chuva, neve e gelo, de tal forma que o sistema não prejudique a estabilidade da edificação.

Os suportes devem ser instalados de modo que não ocorram danos nos coletores solares devido à dilatação térmica.

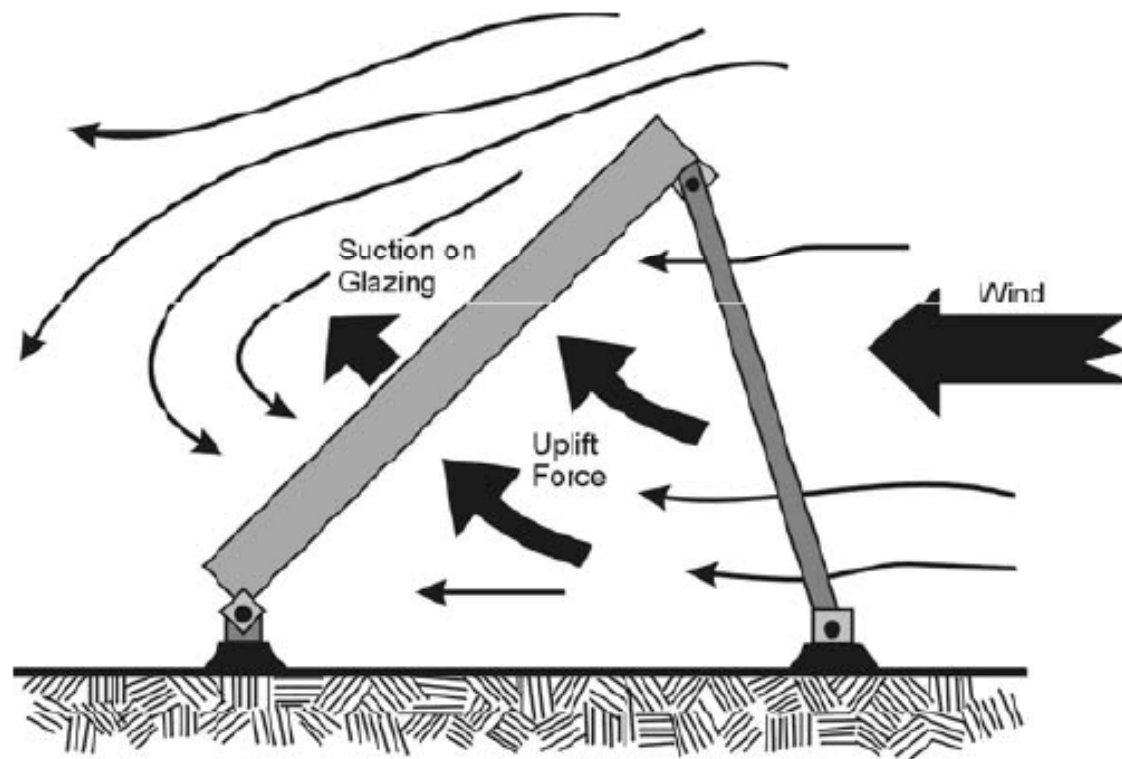
O SAS e seus componentes não devem comprometer o escoamento de água, a impermeabilização da cobertura e a resistência estrutural.



# Cuidados de projeto

## Estruturas de Suporte – cargas de vento

---

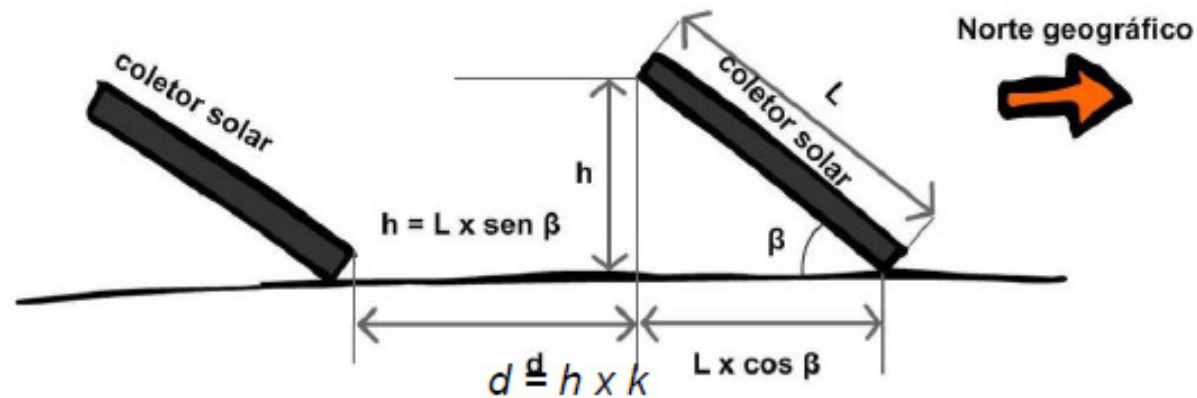


# Cuidados de projeto

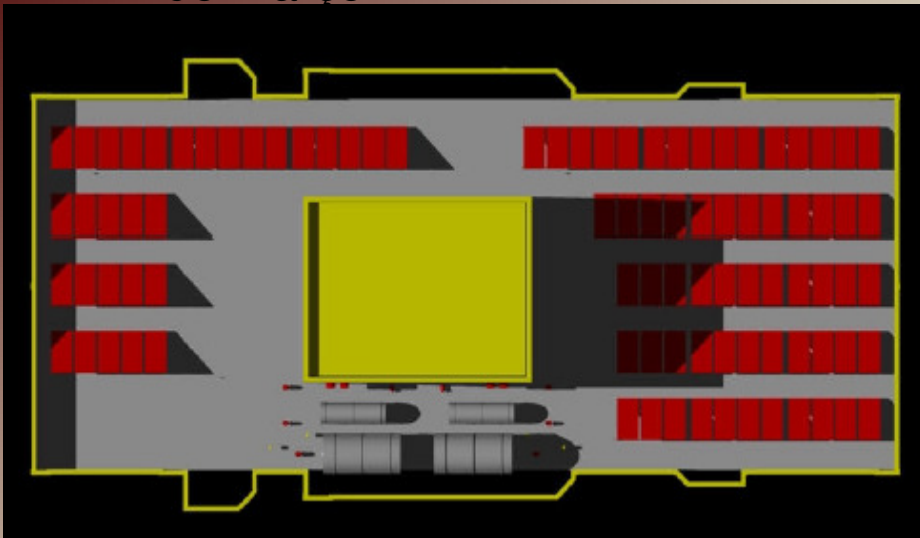
## Sombreamento



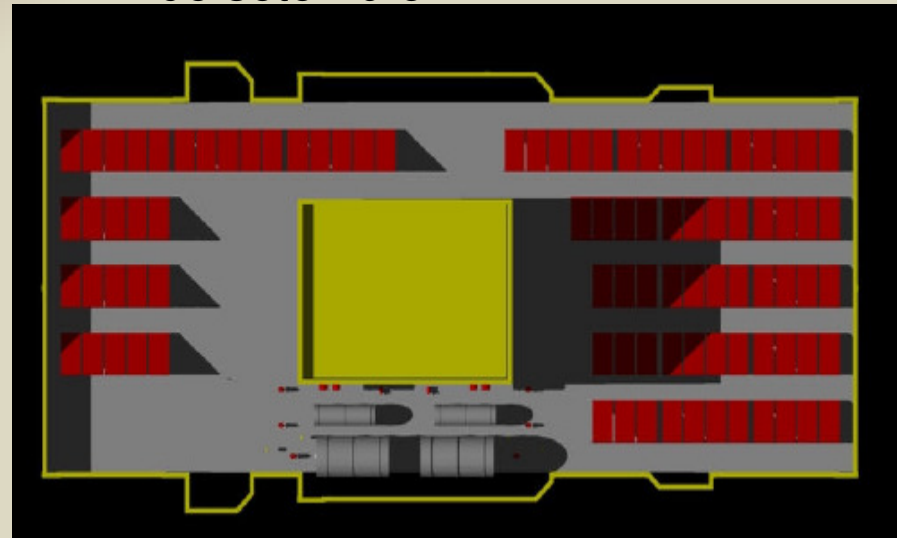
Os coletores solares devem ser instalados de forma a evitar locais sujeitos à sombra (vegetação, edificações vizinhas, outros coletores solares, reservatórios térmicos, elementos arquitetônicos etc).



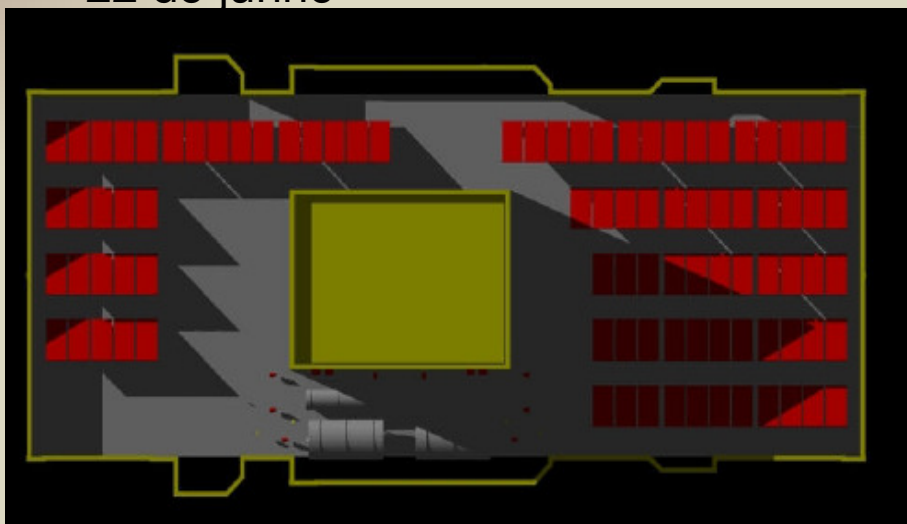
22 de março



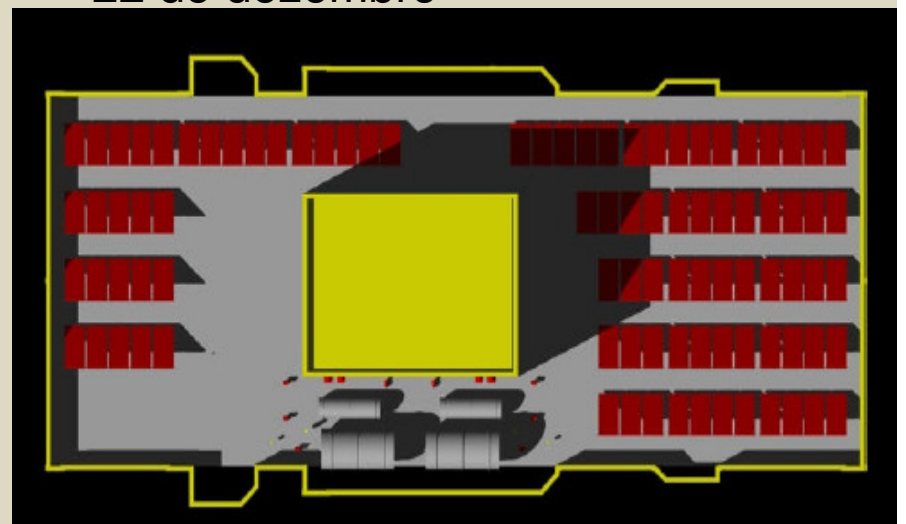
22 de setembro



22 de junho



22 de dezembro



# Cuidados de projeto

## Conexão de coletores

---

As conexões entre coletores devem ser executadas com luvas soldadas ou luvas de união, as quais facilitam futuras manutenções e substituição de coletores;



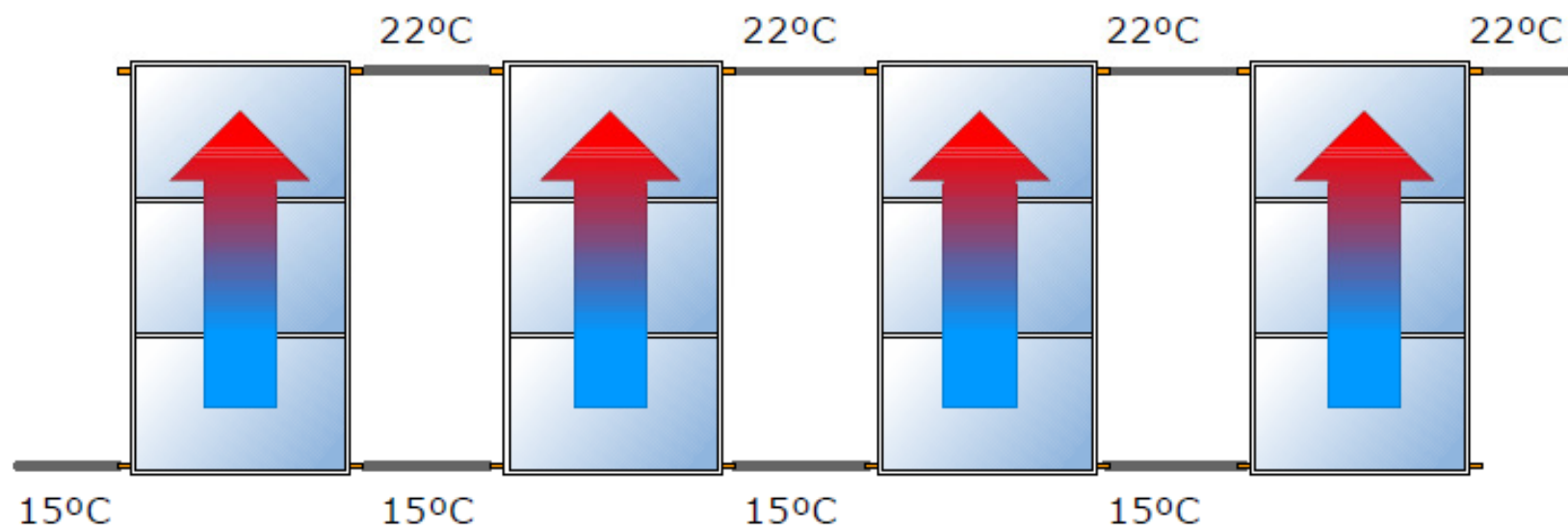
Deve-se instalar um registro gaveta ou esfera na parte inferior da bateria para dreno dos coletores.





# Cuidados de projeto

paralelo (Conexão direta dos cabeçotes)

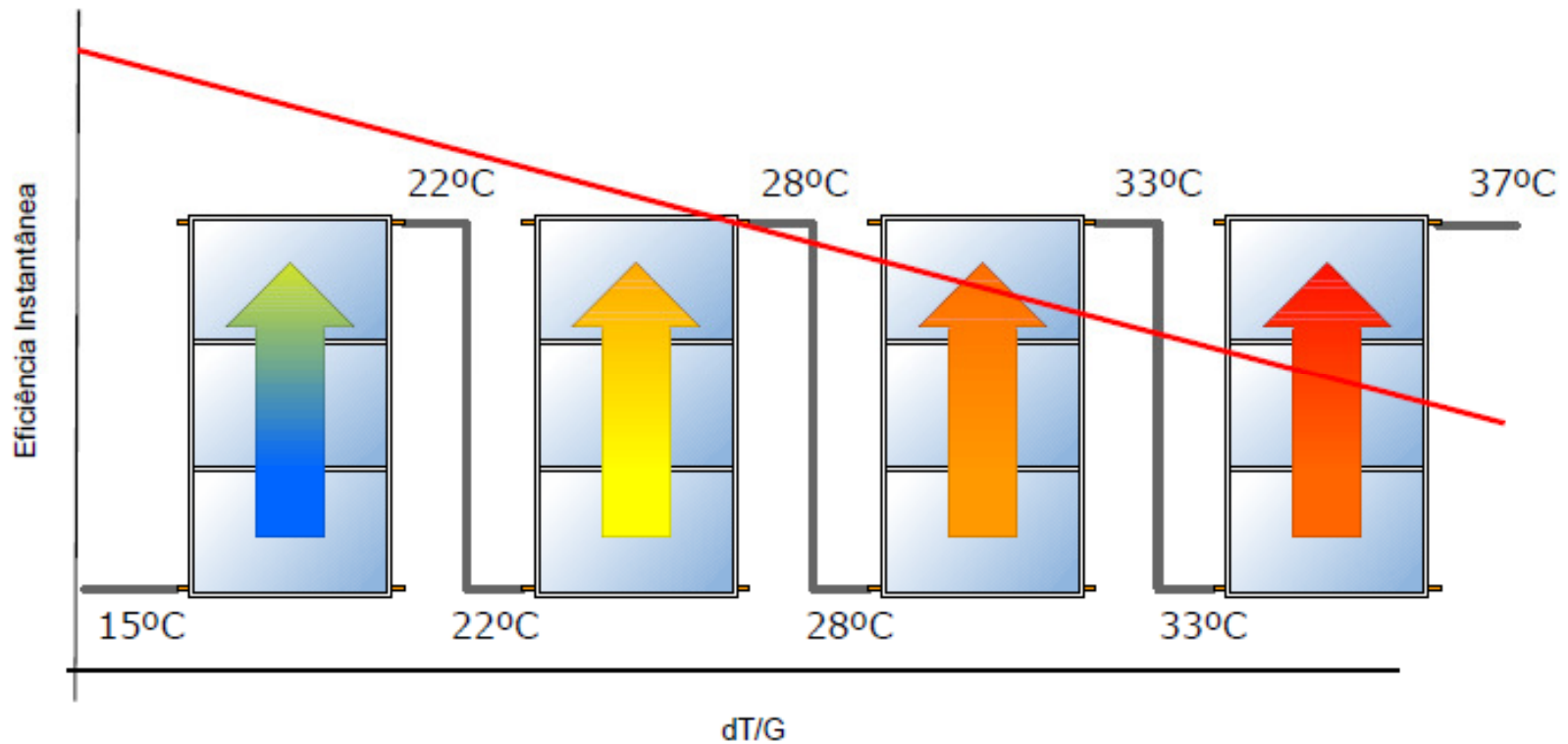


Máximo Recomendado: 5 a 6 coletores por bateria



# Cuidados de projeto

## Conexão série



Máximo Recomendado: 3 associações

## Proteção contra congelamento

---



# Cuidados de projeto

## Proteção contra congelamento

---

O fornecedor do sistema de aquecimento solar deve estabelecer as temperaturas mínimas permitidas no sistema de modo que todas as partes expostas ao exterior sejam capazes de suportar a temperatura sem danos permanentes ao sistema.

Qualquer componente que seja instalado em um ambiente no qual a temperatura possa cair abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ , deverá estar protegido contra congelamento

O fornecedor deve descrever claramente qual o método de proteção contra congelamento utilizado no sistema.

## Proteção contra congelamento

1. Sistemas indiretos com misturas anticongelantes
2. Recirculação de água nos circuitos
3. Válvulas anticongelantes
4. Utilização de tubos de vácuo ou materiais poliméricos, testados contra congelamento, na fabricação dos coletores

Contato: [anderson.porte@riogrande.ifrs.edu.br](mailto:anderson.porte@riogrande.ifrs.edu.br)