



**APOSTILA**

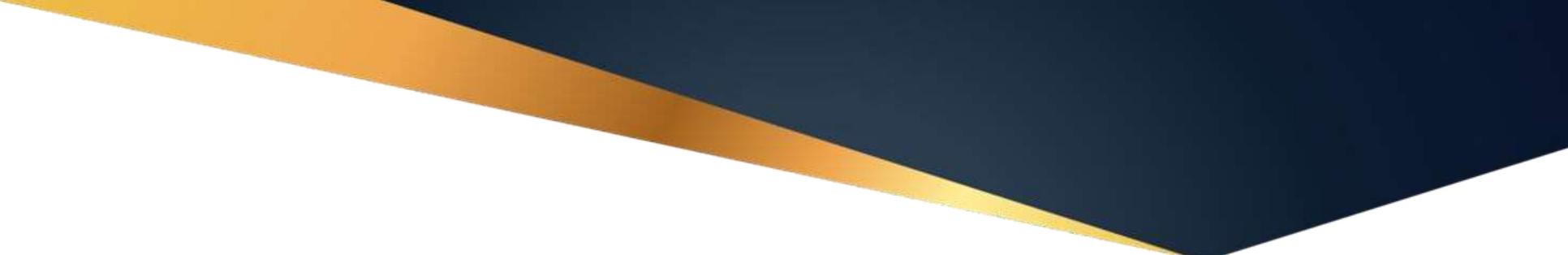
**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

# **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

- Entende-se por ser o uso de Sistemas Fotovoltaicos interligados à rede elétrica para diminuição do pico de demanda. Assim, a energia solar é transformada diretamente em energia elétrica pelo efeito fotoelétrico.
- A corrente contínua gerada pode ser transformada em corrente alternada por meio de inversores com saída em 110V ou 220V.

## **INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS INTEGRADAS ÀS EDIFICAÇÕES E INTERLIGADAS À REDE ELÉTRICA**

- A energia gerada é injetada na casa. O excedente é jogado na rede elétrica.
- 40 m<sup>2</sup> de placas são suficientes para 4 pessoas - 500 kWh/mês p/ Si-cristalino.
- Freiburg – Cidade do Sol

- 
- Custo zero de transmissão e distribuição
  - Custo zero de área de construção (usa cobertura e fachada)
  - Custos evitados (materiais de acabamento e/ou revestimento)
  - Custos evitados de armazenamento (sistema de baterias 30% do valor de sistemas isolados)
  - Energia limpa, silenciosa, renovável e inesgotável

# OBJETIVOS DESTE TRABALHO

- Mostrar que a energia solar pode ser considerada uma fonte **DESPACHÁVEL** de energia
- Sistemas Fotovoltaicos interligados à rede elétrica podem diminuir o Pico de Carga
- Análise de custos (GLD)

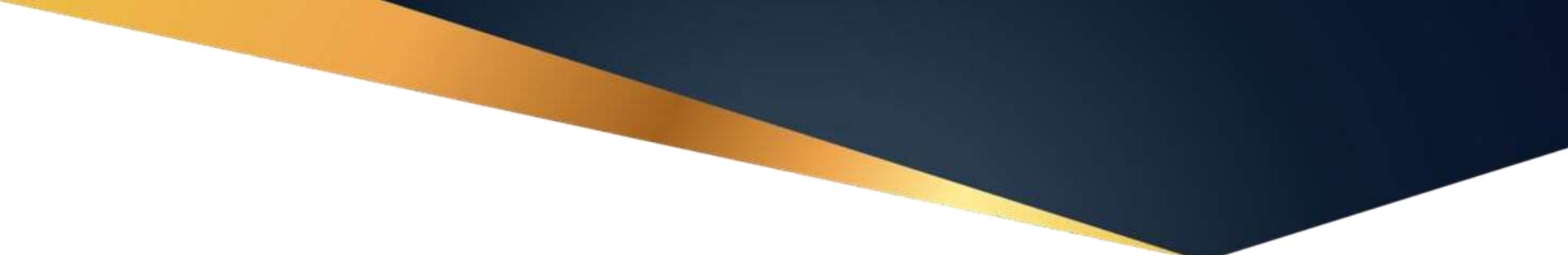
# **DADOS ANALISADOS**

## **DADOS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

- Obtidos da estação fotovoltaica da UFSC

## **DADOS DE CONSUMO (horários)**

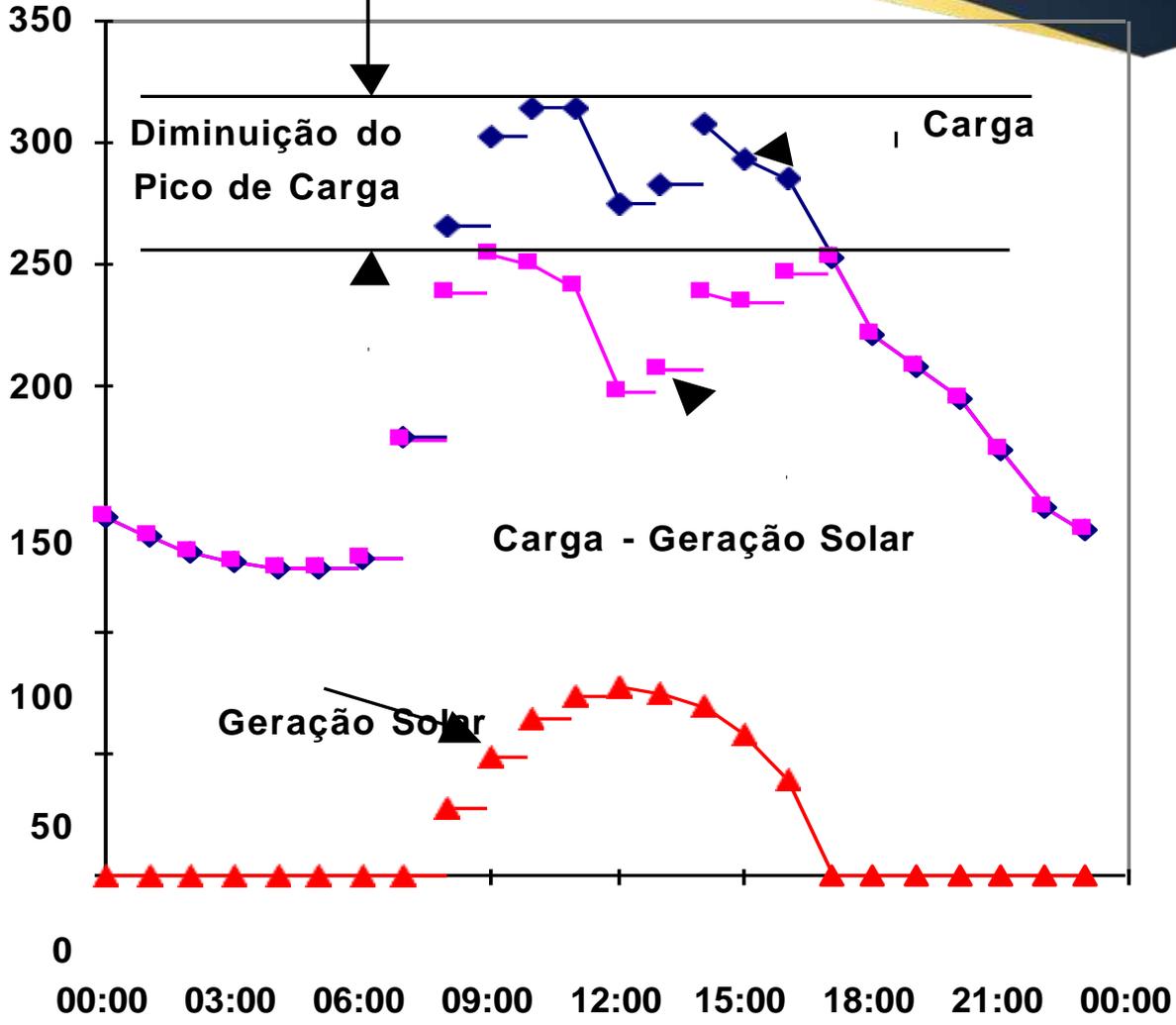
- 56 alimentadores CELESC incluindo Florianópolis e cidades vizinhas (21 meses).
- Todos os dados foram alocados em um único Banco de Dados



## **LOCALIZAÇÃO DE REGIÕES COM PICO DE CONSUMO DIURNO**

- Das 56 regiões analisadas, 24 possuem pico de consumo diurno.
- Dessas, foram analisadas detalhadamente 14 regiões
- Foram calculados para essas regiões os FECC's (Fator Efetivo de Capacidade de Carga) que traduz o quanto a geração solar pode contribuir na diminuição do pico de consumo.

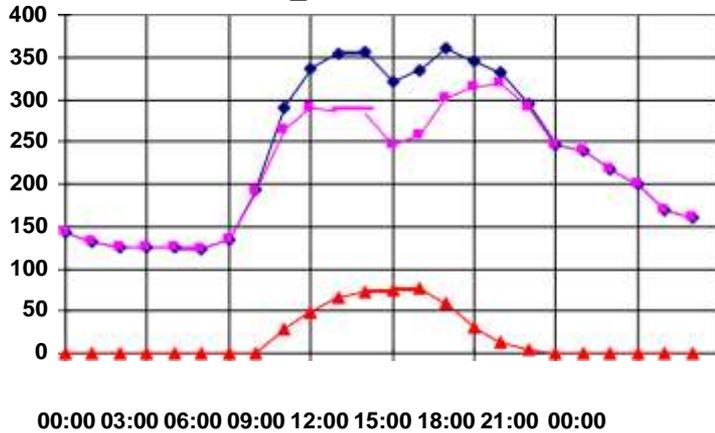
# CONSUMO E GERAÇÃO SOLAR



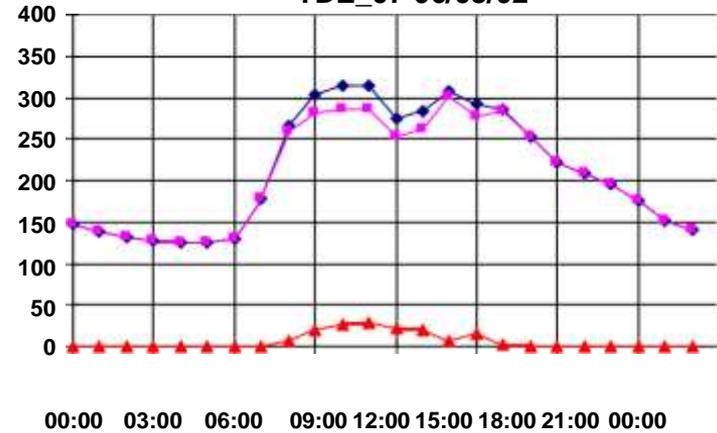
**Nível de Penetração Fotovoltaica = 20%**

# Carga que "SEGUE O SOL"

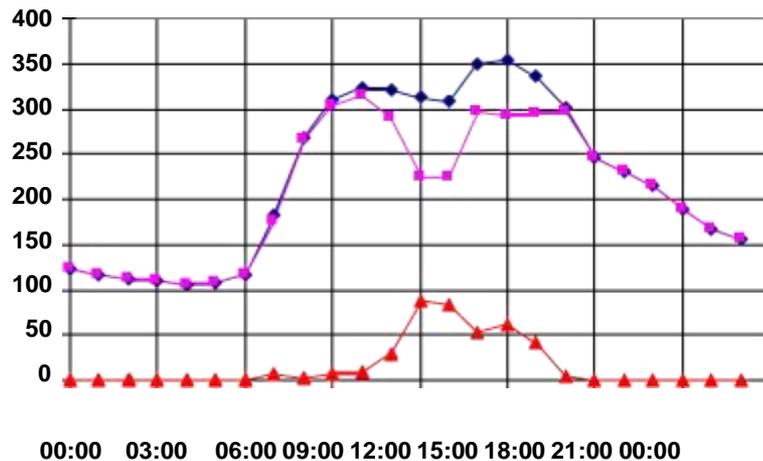
TDE\_07 05/03/02



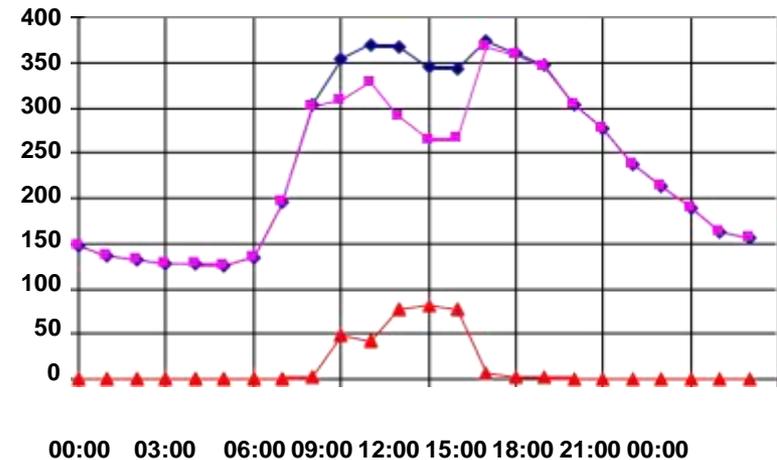
TDE\_07 06/03/02



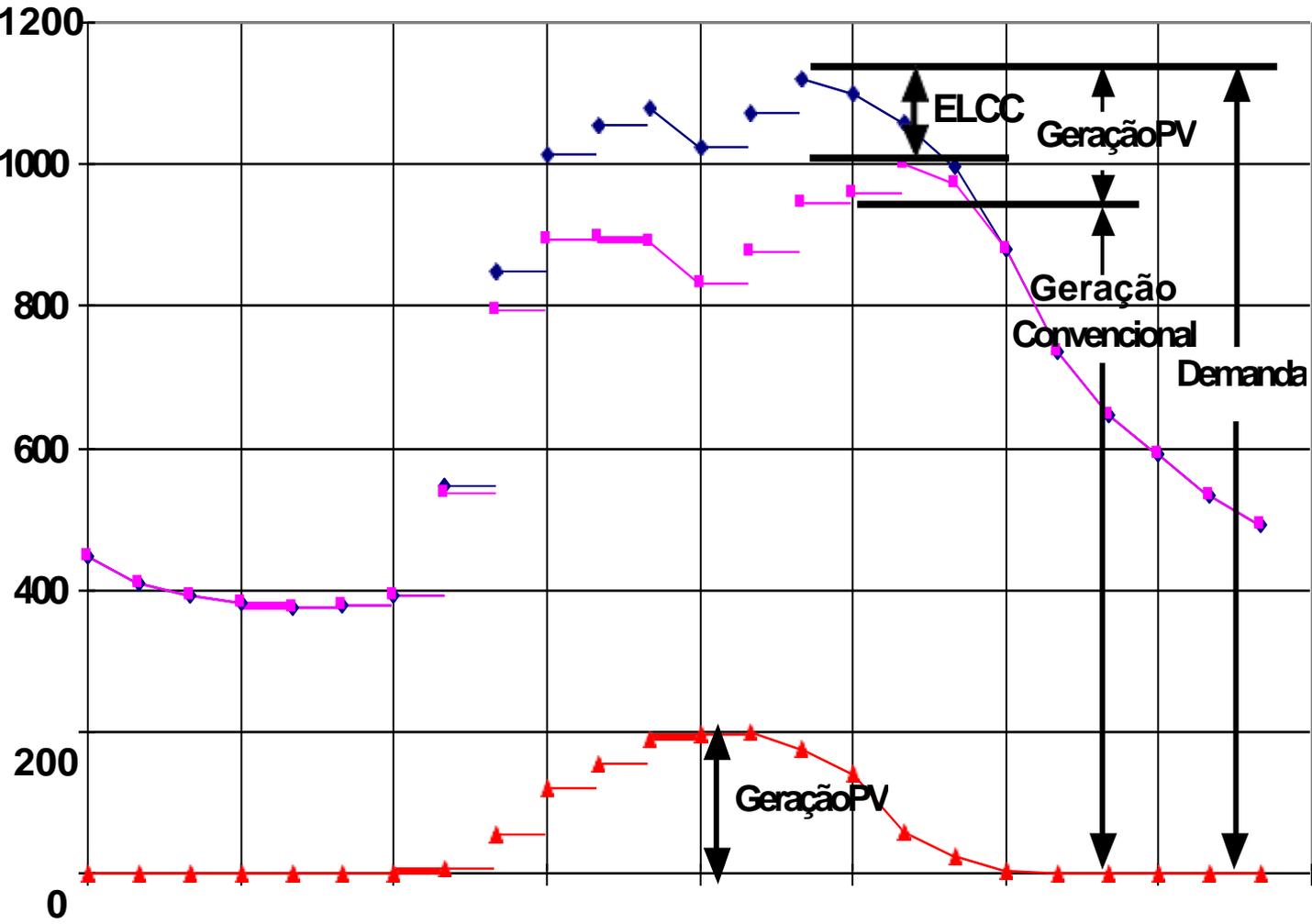
TDE\_07 04/03/02



TDE\_07 14/03/02



# FECC – Conceito e Metodologia de Cálculo



Por exemplo: um **FECC de 80%** significa que uma planta Fotovoltaica de **1 MW** pode ser considerada uma fonte de energia **DESPACHÁVEL de 800 kW**

00:00

03:00

06:00

09:00

12:00

15:00

18:00

21:00

00:00

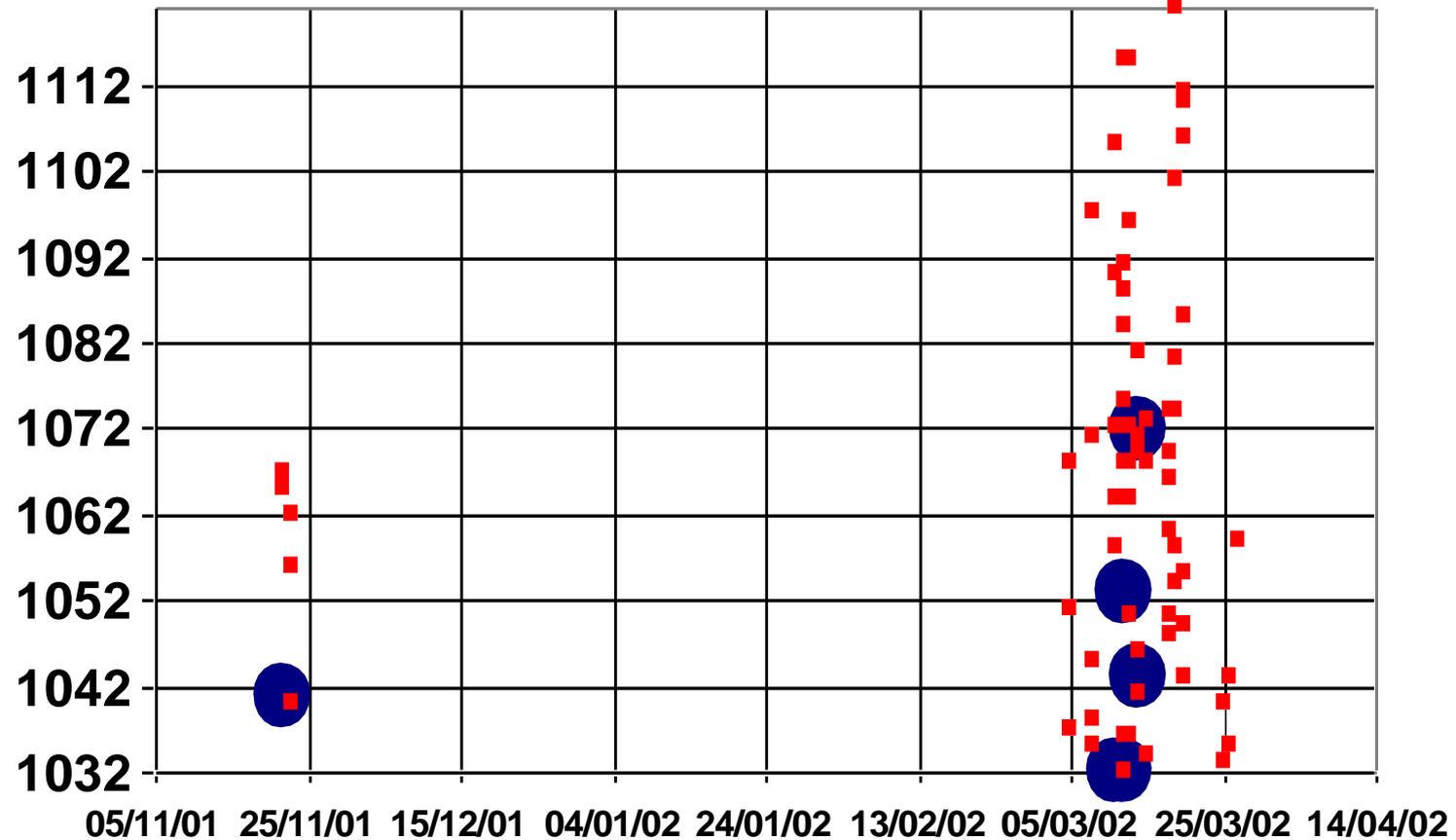
**VALORES DE FECC PARA ALGUMAS REGIÕES DE  
FLORIANÓPOLIS**

Alimentador	FECC
CQS_01	66.42
CQS_10	79.88
CQS_11	87.29
CQS_12	62.41
TDE_07	87.28

# A ENERGIA SOLAR É DESPACHÁVEL?

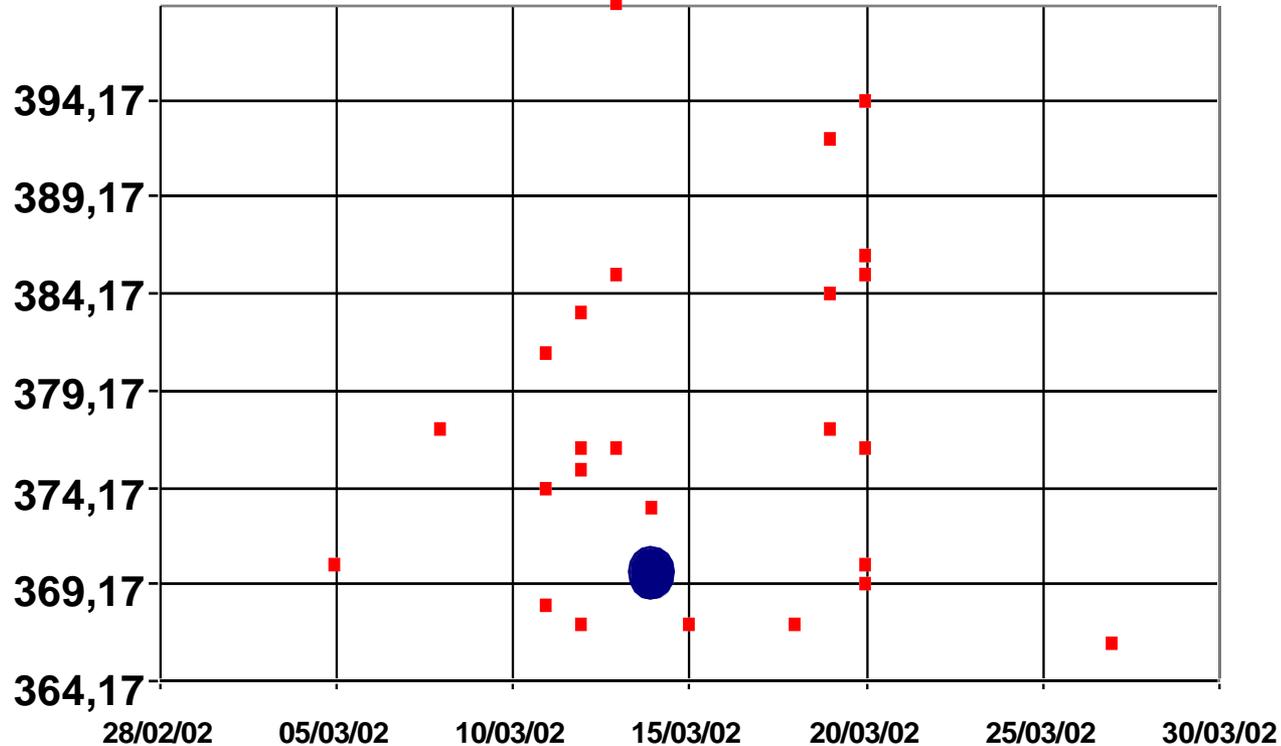
- Se a geração solar PV tem a CAPACIDADE de reduzir o pico de demanda, será que ela GARANTE essa redução?
- Em outras palavras, a energia solar fotovoltaica pode ser considerada uma fonte despachável de energia ?
- Ou ainda: a energia gerada pela planta PV estará disponível quando for necessária?

# ALIMENTADOR CQS TT1



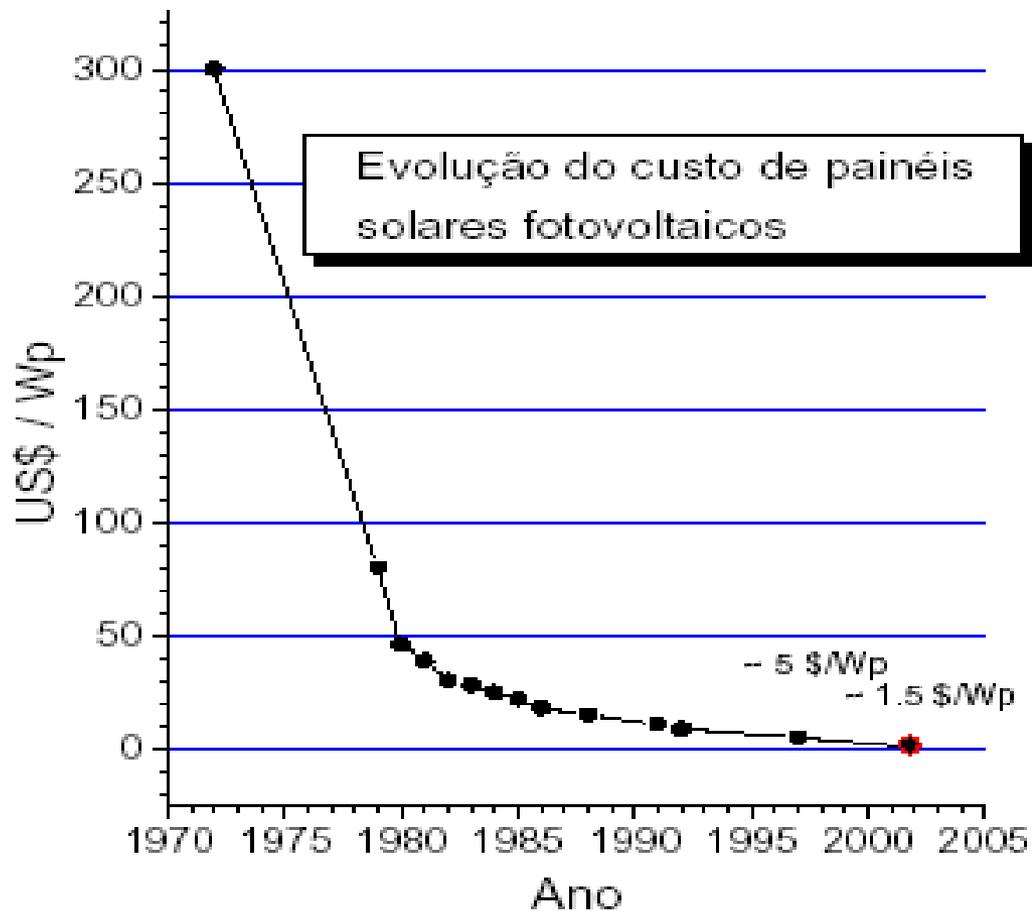
Em 21 meses apenas por 5 vezes a geração solar não supriu a demanda impondo sobrecargas de até 3,87%

# ALIMENTADOR CQS\_11



Em 21 meses a geração solar não supriu a demanda apenas 1 (uma) vez acarretando uma sobrecarga de 1,37%.





Para o mais recente projeto desenvolvido pelo LabSolar, foram adquiridos painéis a um custo de US\$ 2.75/Watt (NOV-2002)

## EVOLUÇÃO DO CUSTO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

## CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

### ENERGIA GERADA !!!

Energia por kWp = 1,35 MWh/kW/ano

Geração Anual (26,9 MWp) = 36,31 GWh/ano

Tarifa (Valor Normativo) = R\$ 470,00 /MWh

**Geração (R\$) ..... = R\$ 17,00 milhões/ano**

## **CUSTO DE AMPLIAÇÃO DA REDE**

- CUSTO kW pico (GTD) = US\$ 2.300,00
- (para o estado de São Paulo – UNICAMP 1995)
- $26,9 * 0,87 * 2300 * 3,5 = \text{R\$ } 188,00 \text{ milhões}$

# TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Para um custo Fotovoltaico de US\$ 7,00/Watt

- $\text{R\$ } 660,00 - \text{R\$ } 188,00 = \text{R\$ } 472,00$  milhões
- $\text{R\$ } 472,00 / \text{R\$ } 17,00 / \text{ano} = 28$  anos

Para um custo Fotovoltaico de US\$ 3,50/Watt

- $\text{R\$ } 329,00 - \text{R\$ } 188,00 = \text{R\$ } 141,00$  milhões
- $\text{R\$ } 141,00 / \text{R\$ } 17,00 / \text{ano} = 8,3$  anos

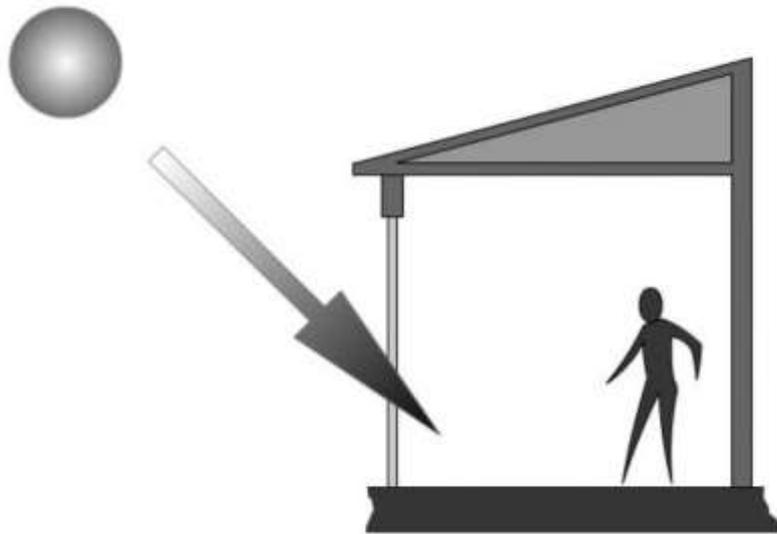


## AQUECIMENTO PASSIVO

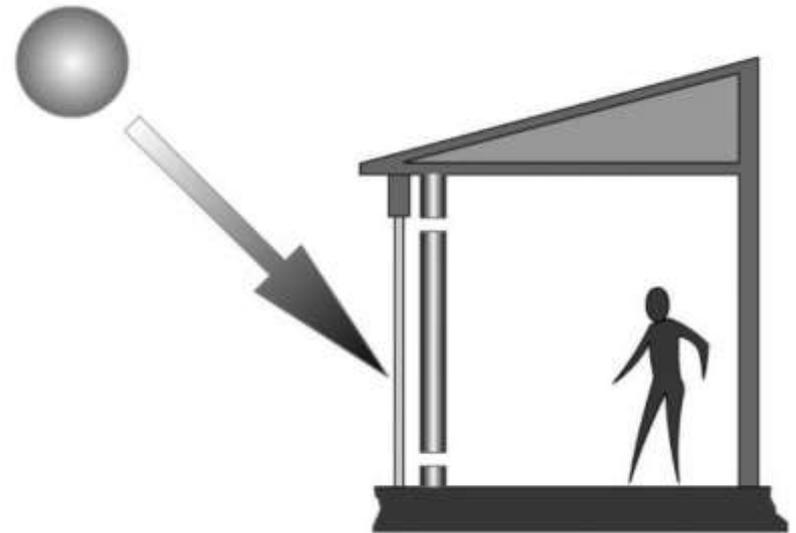
- O calor resultante da radiação solar pode ser aproveitado para o aquecimento de edifícios sem necessidade de recorrer a sistemas ativos:
- Através da arquitetura do edifício combinando corretamente o aproveitamento dos raios solares ao longo do dia e do ano, a acumulação de calor na estrutura, o controlo do fluxo de calor através da estrutura do edifício e a ventilação natural.

# APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA

por ganhos diretos



por ganhos indiretos



- envolvente activa (regulação do sombreamento da envolvente exterior, captação de calor da dupla envolvente e ventilação natural)

# APROVEITAMENTO DO CALOR

- Sistemas de aquecimento de águas sanitárias e ambiente de edifícios: a radiação solar captada (absorvida por uma superfície) aquece, efectuando o aquecimento dum fluido que é utilizado para fins de aquecimento.
- O fluido térmico quente pode ser utilizado como fonte de calor para um sistema frigorífico de absorção, pelo que a radiação solar servirá neste caso como fonte de calor para a produção de “frio” (arrefecimento ambiente).

# IMPOSIÇÕES REGULAMENTARES

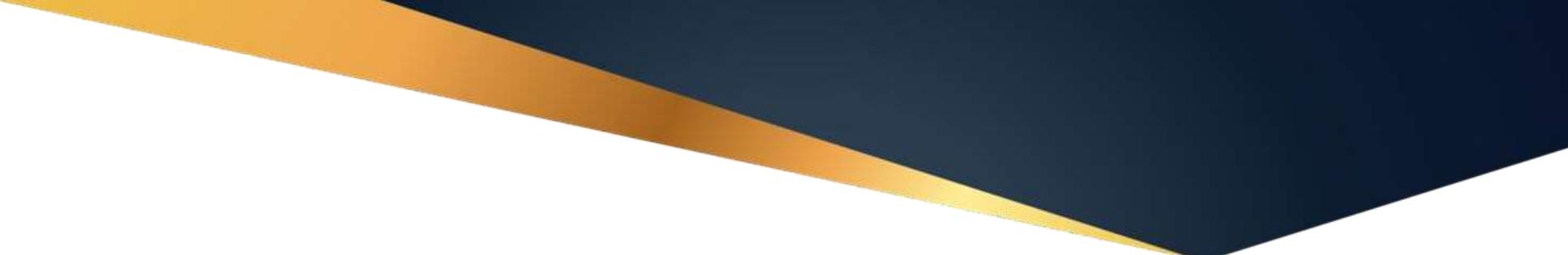
- RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006) impõe a obrigatoriedade de instalação de painéis solares para aquecimento de águas sanitárias nas novas construções, ampliações ou grandes reabilitações de edifícios que utilizem águas quentes sanitárias (AQS).
- Esta situação ocorre em habitações e em diversos tipos de edifícios de serviços.

# COLETOR SOLAR

- Para aproveitar a energia proveniente da radiação solar interessa que a superfície sobre a qual incide a radiação consiga absorver o máximo da energia radiante incidente e que essa energia, uma vez captada, seja fornecida ao fluido que se pretende aquecer.
- O dispositivo que faz a captação de energia (o coletor solar) deve possuir uma superfície com elevada absorptividade para maximizar a captação de energia radiante incidente (que apresenta comprimentos de onda reduzidos, da ordem de 0,3 a 3,0  $\mu\text{m}$ ), ser isolado termicamente de forma a reduzir as perdas por convecção-condução e possuir uma baixa emissividade para os comprimentos de onda da radiação própria (que são mais elevados, da ordem de 3 a 30  $\mu\text{m}$ ).

- Geralmente o coletor é composto pelo absorvedor, o componente do coletor que absorve a radiação solar e transfere a energia térmica para o fluido que nele circula (normalmente uma mistura de água e anticongelante) e pela cobertura e caixa (termicamente isolada) que reduzem as perdas de calor para o exterior.





O absorvedor deve estar otimizado para ter a maior absorvidade possível e a menor emissividade possível (tratamento da chapa metálica, com pintura preto-azul ou revestimento seletivo - absorvidade distinta para pequenos e grandes comprimentos de onda).

A cobertura transparente deve possuir uma elevada transmissividade e conseqüentemente uma baixa refletividade.

O isolamento deve poder suportar temperaturas elevadas (o coletor, quando está parado, pode atingir temperaturas superiores a 150°C).

# TIPOS DE COLETOR SOLAR

- Existem diferentes tipos de coletores. Os mais simples são constituídos apenas por absorvedor. Coletor Parabólico Composto (CPC) e coletor de tubos evacuados podem ser utilizados no aquecimento de águas sanitárias e no aquecimento do gerador dos sistemas frigoríficos de absorção
- Os coletores planos com ou sem acumulação, com ou sem cobertura de vidro ou material sintético, são os mais utilizados para o aquecimento de água sanitária que se pretende atingir temperaturas próximas dos 60°C.

# CONTROLE DA QUANTIDADE DE CALOR ABSORVIDA

- Ao contrário do que ocorre quando é utilizada uma caldeira ou uma bomba de calor, a quantidade de energia recebida por um painel solar não está dependente do sistema de controlo atuando sobre o equipamento. Depende das condições climáticas sobre as quais o utilizador não tem controle.
- O sistema necessita, na maioria dos casos, dum conjunto de acessórios e de equipamento auxiliar que permitem garantir a manutenção da sua funcionalidade, bem como garantir o fornecimento de calor sempre que necessário

# TIPO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

Classificação em função de:

Movimentação do fluido

Número de circuitos existentes

Fixo ou orientável

Forma de aquecimento de apoio

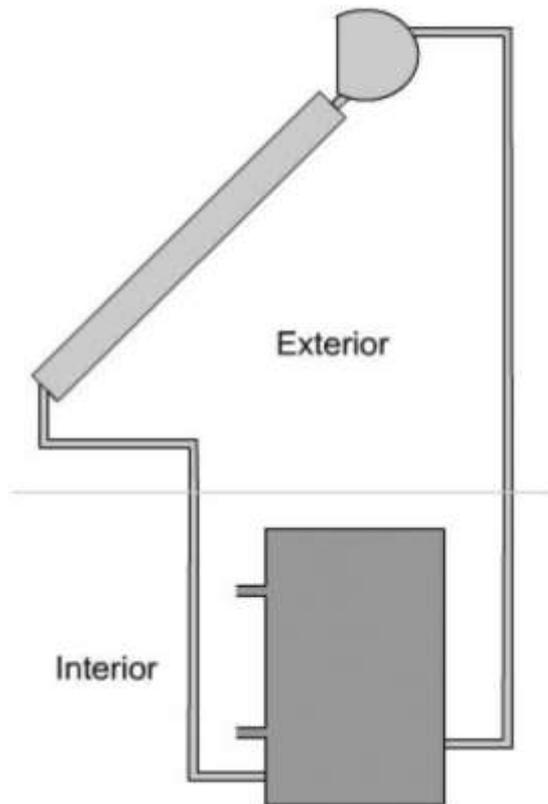
Forma como é garantido o não funcionamento quando as condições exteriores são adversas (evitar sobreaquecimento ou congelação da água no sistema).

# **SISTEMA PASSIVO E SISTEMA ATIVO**

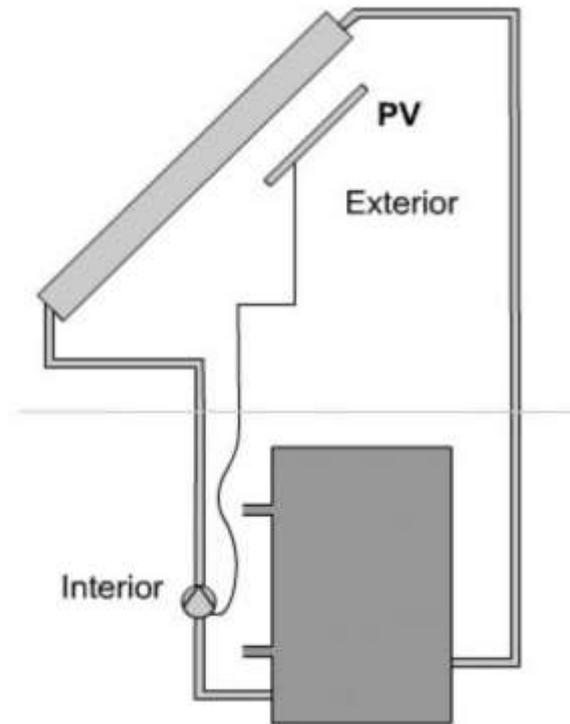
Os sistemas, quanto à forma como é efetuada a circulação do fluido térmico, podem ser:

- Do tipo passivo: inclui os sistemas de termosifão sem acumulação integrada ou com acumulação integrada (integral collector storage-ics) e de tubos de calor;
- Do tipo ativo em que a circulação é feita através de bombagem.

Sistema passivo

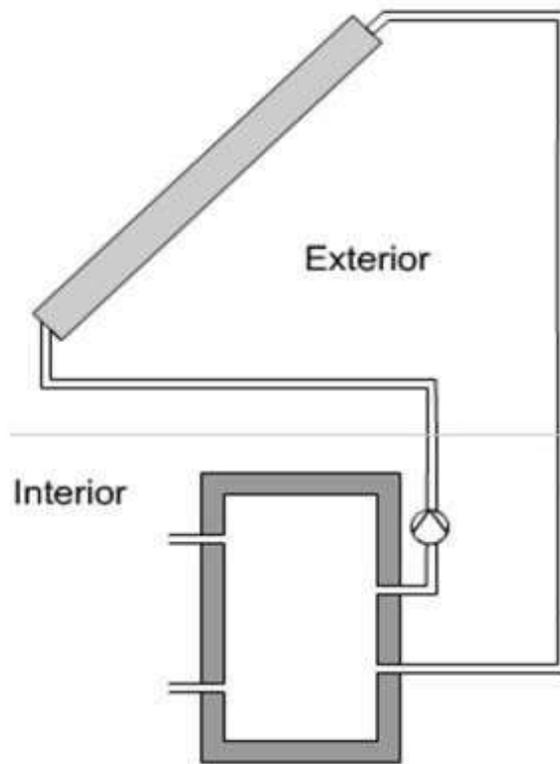


Sistema attivo

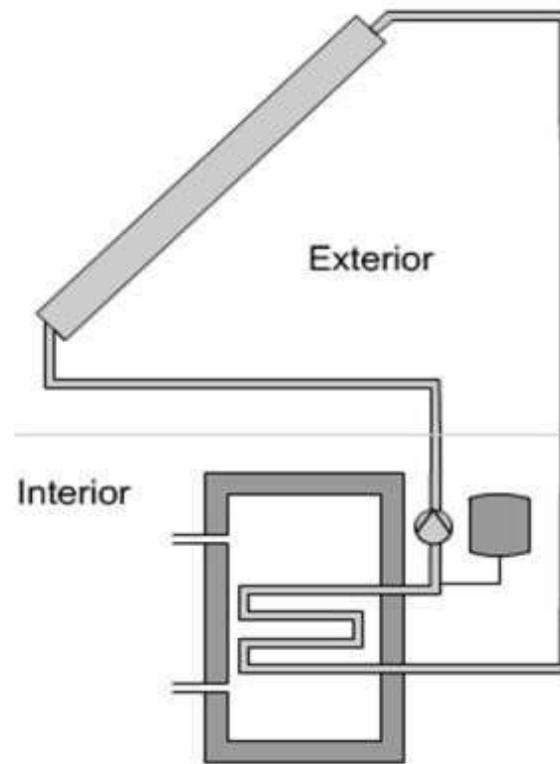


## SISTEMA DIRETO E INDIRETO

- Os sistemas em função do número de circuitos existentes podem ser diretos e indiretos.
- Nos sistemas diretos a água potável que é utilizada no edifício percorre o painel solar (a água, dado poder ser consumida, não pode ser tratada).
- Nos sistemas indiretos os circuitos do painel solar e das águas sanitárias são distintos. É possível efetuar o tratamento da água que circula no painel tendo em vista a preservação dos equipamentos (uso de inibidores, uso de anticongelante, regulação do pH da água).



Sistema directo



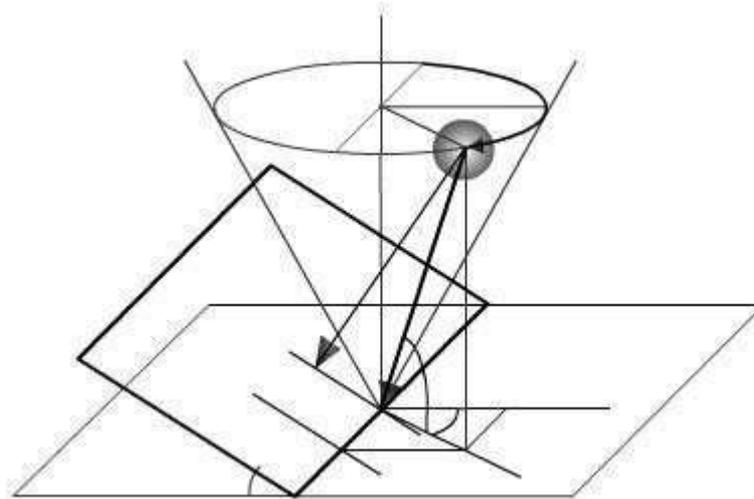
Sistema indirecto

# PARÂMETROS MAIS RELEVANTES

- Eficiência (rendimento) do coletor ( $\eta$ ): razão entre a radiação incidente no coletor e a energia convertida em calor. Depende da diferença de temperatura entre o absorvedor e o meio ambiente, bem como da radiação solar global.
- Eficiência óptica (fator de conversão  $\eta_0$ ): percentagem de radiação disponível no coletor que pode ser convertida em calor ( $\eta_0 = \tau \alpha$ ).
- Fator de perda de calor ( $\eta_K$ ): perda de calor (em percentagem) devida ao desenho e isolamento do coletor.
- Fração Solar: percentagem de energia utilizada no aquecimento de água que pode ser coberta pelo sistema solar.
- Temperatura de estagnação: temperatura máxima que o absorvedor pode atingir (quando as perdas de calor para a atmosfera forem iguais ao calor absorvido pelo absorvedor).

# ENERGIA RECEBIDA

- A energia recebida por um painel solar depende do ângulo que a superfície coletora faz com a direção dos raios solares.



- $I_{DS} = I_D (\sin \alpha \cos \theta + \cos \alpha \cos Azs \sin \theta)$

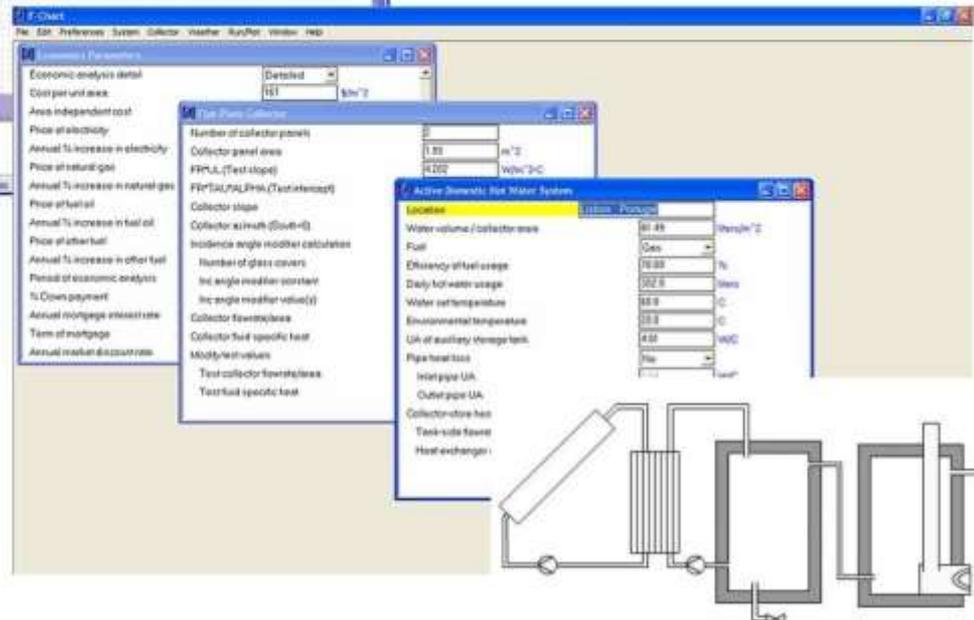
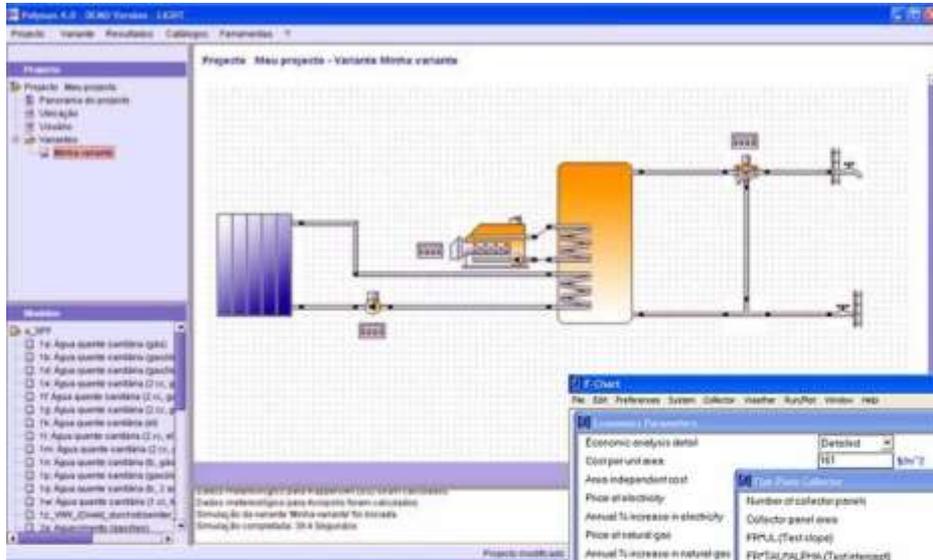
# ORIENTAÇÃO DO PAINEL

- O máximo de energia que uma dada geometria de painel pode captar tem lugar num painel orientável que poder ser mantido numa posição perpendicular aos raios solares. Estes painéis têm que permitir a rotação segundo dois eixos. Outros painéis orientáveis podem permitir apenas a sua rotação ao longo do dia, garantindo desta forma que o ângulo azimutal do painel é sempre nulo ao longo do dia (o painel está sempre orientado na direção do azimute solar), mas não permitem variar a sua inclinação

# CÁLCULO DA ENERGIA CAPTADA

- Para um painel fixo, interessa geralmente conhecer o total de energia captada ao longo do ano (tendo em atenção as variações do ângulo de incidência dos raios solares na superfície de captação do painel, ao longo dos diferentes dias do ano, bem como as variações da intensidade da radiação devido às condições climáticas).
- É aconselhável o uso de programas que, incluindo uma base de dados climática, permitem de forma expedita o cálculo da energia captada.

# PROGRAMAS



# DÚVIDAS NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

- ADENE aceita outros programas se aprovados por normas internacionais, mas atualmente não existem normas para a aprovação de programas para simulação do desempenho de painéis solares...
- (tentativa de proceder com os programas de simulação do comportamento de sistemas de coletores solares de forma semelhante ao que ocorre com os programas de simulação detalhada do comportamento energético de edifícios, que devem ser creditados de acordo com a norma da ASHRAE 140-2004 “Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs”?)
- Não podem ser considerados os ganhos de sistemas solares instalados até ao final de 2004 e em perfeito funcionamento? (a acreditação de instaladores de sistemas solares apenas teve lugar através da Portaria n.º 1451/2004 de 26 de Novembro, posteriormente alterada pela Portaria n.º 561/2006 de 12 de Junho)

# DÚVIDAS NA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

O RCCTE em relação aos sistemas de coletores solares térmicos para AQS:

- Indica a área de coletor para o caso dos edifícios de habitação (1 m<sup>2</sup>/ocupante), mas é omissa em relação aos edifícios de serviços;
- Nada é indicado em relação à orientação, inclinação e distância entre painéis;
- Não indica as condições nominais de utilização das AQS (ao longo do dia e ao longo do ano).
- A contribuição do sistema de coletores solares depende da utilização das aqs

- RCCTE, apenas contabiliza uso de energias renováveis para fins aquecimento de AQS . O regulamento não especifica como deve ser contabilizada essa energia para outros fins.
- A energia solar fotovoltaica pode ser utilizada para produção de eletricidade para fins de ventilação, bombagem, iluminação e funcionamento de alguns eletrodomésticos.
- O aproveitamento térmico pode servir para fins de arrefecimento utilizando um sistema de absorção com apoio solar.
- A fórmula referente ao limite do consumo global em termos de energia primária contempla as necessidade de aquecimento (Nic), arrefecimento (Nvc) e águas quentes sanitárias (Nac).

- 
- A contabilização da energia obtida por uma fonte renovável não está corretamente contemplada na atual formulação que apenas inclui esta energia no aquecimento de águas sanitárias (Nac).
  - A redução associada à energia renovável não é indiferente no caso de ser associada a Nic, Nvc ou Nac, dado existirem limitações regulamentares para cada uma destas necessidades não ser utilizado um fator de ponderação igual para cada um destes termos no cálculo do valor de Ntc.

- Discutível onde incluir, p. e., a eletricidade produzida por um painel fotovoltaico: se deduzida no valor do termo associado à climatização (repartido por  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ , Folhas de cálculo FC IV.2 e FC V.1f) ou no valor do consumo nominal para os ventiladores (Folhas de cálculo FC IV.1d e FC V.1f), se num termo genérico que deveria referenciar equipamentos em geral entrando diretamente na fórmula de cálculo de  $N_{tc}$  indicado no Art.º 15º do regulamento.
- Discutível onde considerar e como repartir (por  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ ) o calor captado por um painel solar térmico se existir um sistema frigorífico de absorção com apoio solar, no caso de parte do calor não ser aproveitado pelo sistema de absorção