



LABORATÓRIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

IEE0003 - APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Marcelo Pinho Almeida
marcelopa@iee.usp.br

Roberto Zilles
zilles@iee.usp.br



LABORATÓRIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

IEE0003 - APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Introdução

Marcelo Pinho Almeida
marcelopa@iee.usp.br

Roberto Zilles
zilles@iee.usp.br

Plano do curso

OBJETIVOS

Fornecer uma **visão geral** das aplicações da **energia solar térmica**, apresentando os princípios básicos dos dispositivos envolvidos na conversão e no aproveitamento da energia solar como fonte de aquecimento para fluidos de trabalho em diferentes níveis de temperatura.

Introduzir as **metodologias de dimensionamento** das diversas configurações de sistemas térmicos.

Disciplina: IEE0003 – Aplicações da Energia Solar Térmica

Créditos Aula: 2

Créditos Trabalho: 1

Carga Horária Total: 60 h (15 semanas)

Tipo: Semestral (início: 07/08/2023 – fim: 21/12/2023)

Turma: 2023201

Horário: Quarta-feira (10:00 às 12:15)

Plano do curso

IEE0004 - Aplicações da Energia Solar Fotovoltaica



Plano do curso

Critérios de avaliação:

NOTA FINAL: A nota final será calculada da seguinte forma:

$$NF = 0,25 \times P1 + 0,25 \times P2 + 0,5 \times T1$$

NF - Nota final

P1 - Nota da primeira prova individual

P2 - Nota da segunda prova individual

T1 - Nota do trabalho em equipe (tríos)

RECUPERAÇÃO: Somente para os casos previstos na Resolução CoG Nº 3583, de 29 de setembro 1989. Consistirá em uma (01) prova escrita realizada no início do semestre seguinte envolvendo todos os conteúdos abordados na disciplina, ficando a nota final, a ser calculada após a recuperação, da seguinte forma:

$$NF_{APÓS\ RECUPERAÇÃO} = 0,5 \times NOTA_RECUPERAÇÃO + 0,5 \times NF_{ANTES\ DA\ RECUPERAÇÃO}$$

PROVA SUBSTITUTIVA: Prova “fechada”, isto é, somente nos casos de ausência do aluno nos dias de aplicação regular das provas P1 e P2, mediante justificativa devidamente comprovada. A prova substitutiva será realizada no final do semestre, no dia 06/12/2023, terá conteúdo igual ao da prova que irá substituir e não é válida para substituir o trabalho.

Plano do curso

Data	Descrição
09/08/2023	Introdução / Panorama das aplicações da Energia Solar Térmica
16/08/2023	Princípios da Transferência de Calor (termodinâmica)
23/08/2023	Recurso solar – parte 1
30/08/2023	Recurso solar – parte 2
06/09/2023	FERIADO
13/09/2023	Armazenamento Térmico / Refrigeração solar
20/09/2023	PROVA 1
27/09/2023	Coletores Solares Planos
04/10/2023	Instalações de Aquec. Solar de Pequeno Porte / Método da Carta – F
11/10/2023	Instalações de Aquec. Solar de Médio e Grande Porte / Aquecimento Solar de Piscina
18/10/2023	Coletores Solares Concentradores
25/10/2023	Aplicações termossolares para média e alta temperaturas
01/11/2023	Avaliação Econômica
08/11/2023	PROVA 2
15/11/2023	FERIADO
22/11/2023	APRESENTAÇÃO DE TRABALHO – PARTE 1
29/11/2023	APRESENTAÇÃO DE TRABALHO – PARTE 2

Plano do curso

Provas:

- Duas provas individuais presenciais com 2h15min de duração cada.
- Provas com questões discursivas.

Trabalho:

- Um trabalho em equipe (trios) com entrega de documento escrito (relatório) e apresentação para a turma com duração de 20 min.
- Descrição do trabalho:
 - Escolher uma aplicação da energia solar térmica, preferencialmente com uso residencial;
 - Idealizar um cenário de utilização desta aplicação (que seja plausível!);
 - Propor uma solução para o atendimento deste cenário com uma tecnologia de aproveitamento da energia solar térmica;
 - Comparar a solução proposta com uma solução que utiliza apenas eletricidade;
 - Incluir na comparação uma avaliação econômica das duas opções.



LABORATÓRIO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

IEE0003 - APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Panorama das aplicações da Energia Solar Térmica

Marcelo Pinho Almeida
marcelopa@iee.usp.br

Roberto Zilles
zilles@iee.usp.br

Introdução à energia solar térmica

As aplicações termossolares abrangem a conversão da radiação solar em energia térmica, podendo ser classificadas como **ativas** ou **passivas**.

De um modo geral, as aplicações **ativas** estão relacionadas ao uso de algum dispositivo de conversão, como coletores solares, enquanto as aplicações **passivas** tratam dos projetos para aproveitamento das condições climáticas locais, minimizando o consumo de energia requerida para aquecimento, condicionamento de ambientes, iluminação natural e ventilação nas edificações. Essa área é conhecida como **Arquitetura Bioclimática**.

Fonte: Elizabeth Marques Duarte Pereira

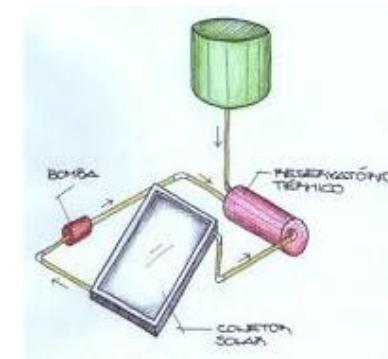
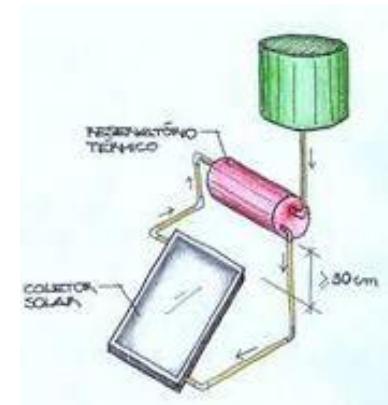
Aproveitamento térmico ativo - aquecimento



Aproveitamento térmico ativo - aquecimento

Classificação das aplicações para aquecimento de água

	Tipos	Aplicações
Quanto à circulação do fluido de trabalho	Circulação natural	Residências unifamiliares
	Circulação forçada ou bombeada	Aquecimento central / uso industrial
Quanto ao porte da instalação	Pequeno Porte (até 1.500 L)	Residências unifamiliares
	Médio Porte (1.500 L a 5.000 L)	Aquecimento central
	Grande Porte (maior que 5.000 L)	Aquecimento central / uso industrial
Quanto ao tipo de conexão coletor-reservatório	Convencional	Residências unifamiliares / aquecimento central / uso industrial
	Acoplado e integrado	Residências unifamiliares



Aproveitamento térmico ativo - aquecimento

Classificação das aplicações para aquecimento de água

	Tipos	Aplicações
Quanto à circulação do fluido de trabalho	Circulação natural	Residências unifamiliares
	Circulação forçada ou bombeada	Aquecimento central / uso industrial
Quanto ao porte da instalação	Pequeno Porte (até 1.500 L)	Residências unifamiliares
	Médio Porte (1.500 L a 5.000 L)	Aquecimento central
	Grande Porte (maior que 5.000 L)	Aquecimento central / uso industrial
Quanto ao tipo de conexão coletor-reservatório	Convencional	Residências unifamiliares / aquecimento central / uso industrial
	Acoplado e integrado	Residências unifamiliares



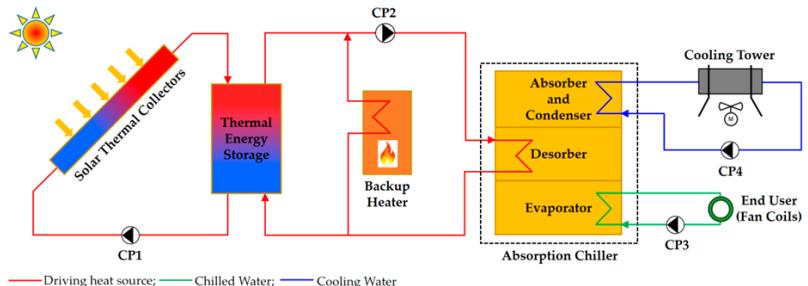
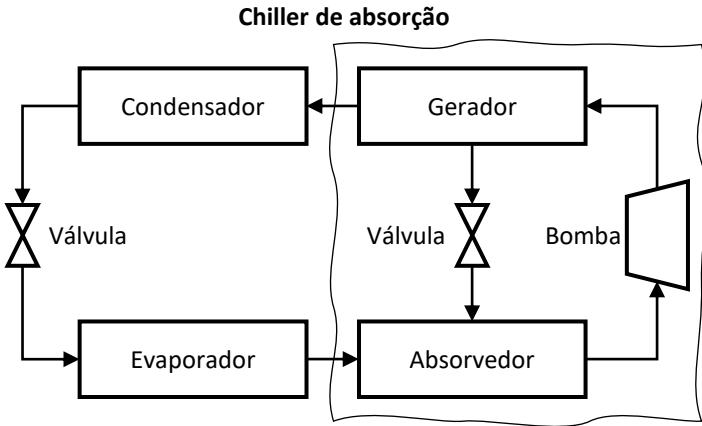
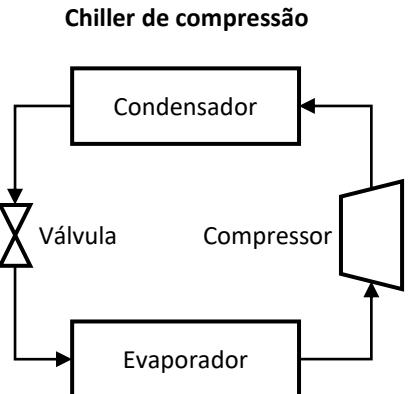
Aproveitamento térmico ativo - aquecimento

Classificação das aplicações para aquecimento de água

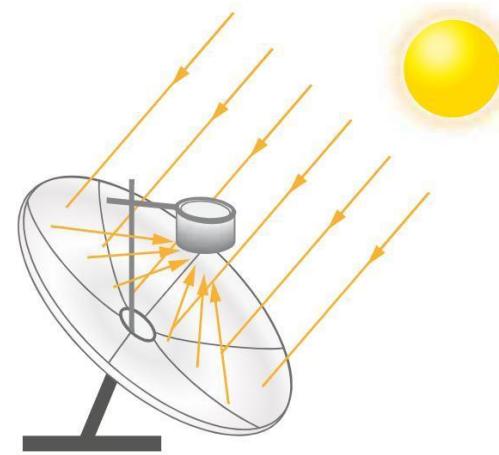
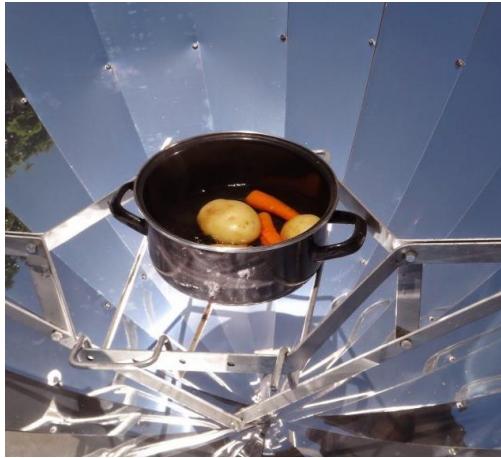
	Tipos	Aplicações
Quanto à circulação do fluido de trabalho	Circulação natural	Residências unifamiliares
	Circulação forçada ou bombeada	Aquecimento central / uso industrial
Quanto ao porte da instalação	Pequeno Porte (até 1.500 L)	Residências unifamiliares
	Médio Porte (1.500 L a 5.000 L)	Aquecimento central
	Grande Porte (maior que 5.000 L)	Aquecimento central / uso industrial
Quanto ao tipo de conexão coletor-reservatório	Convencional	Residências unifamiliares / aquecimento central / uso industrial
	Acoplado e integrado	Residências unifamiliares



Aproveitamento térmico ativo - refrigeração



Aproveitamento térmico ativo - cocção

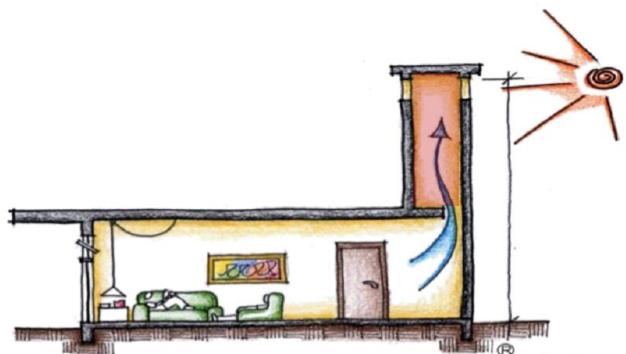
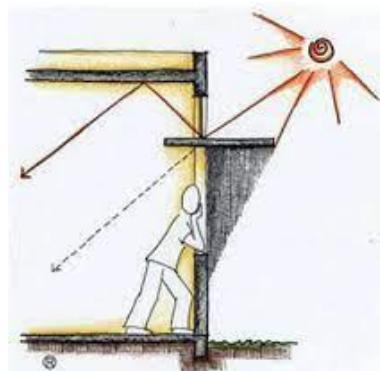
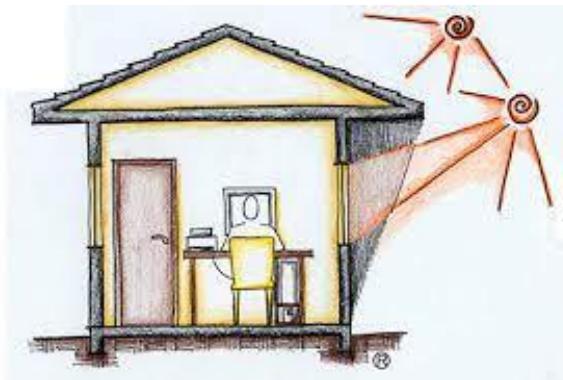
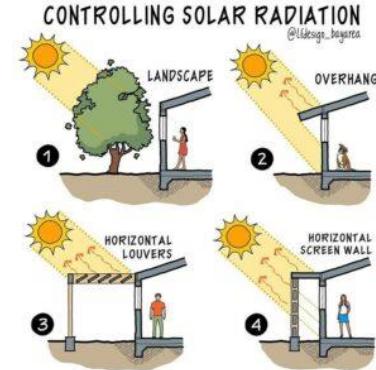
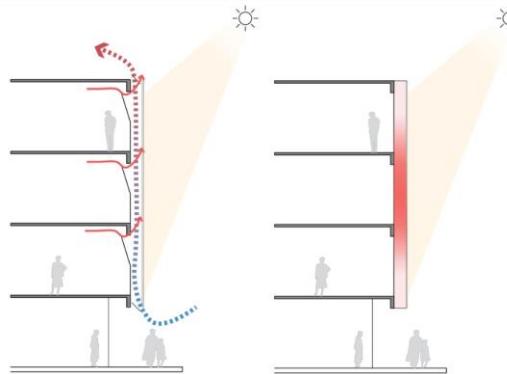
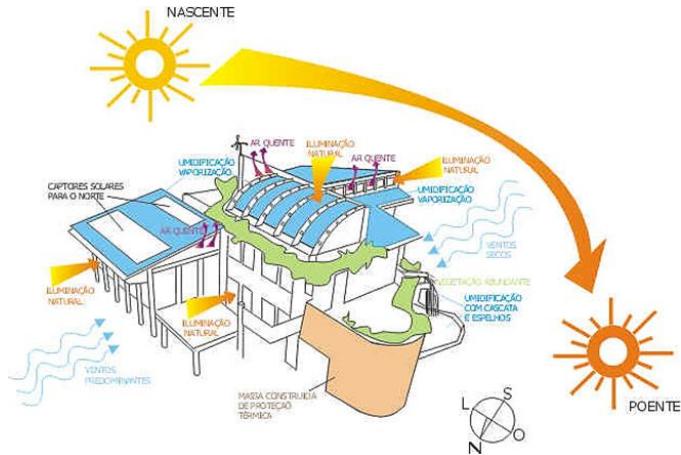


Aproveitamento térmico ativo – geração de eletricidade

Concentrated Solar Power (CSP)



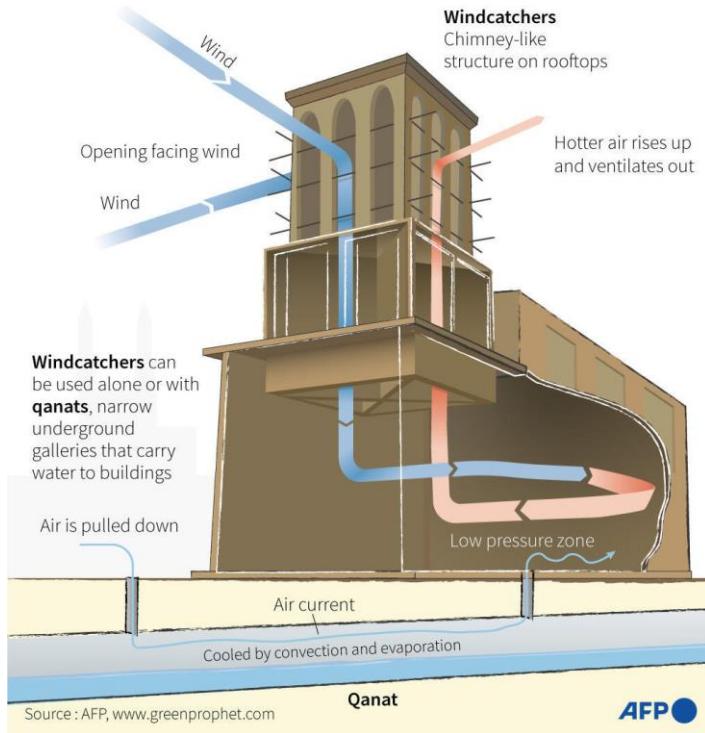
Aproveitamento térmico passivo – Arquitetura Bioclimática



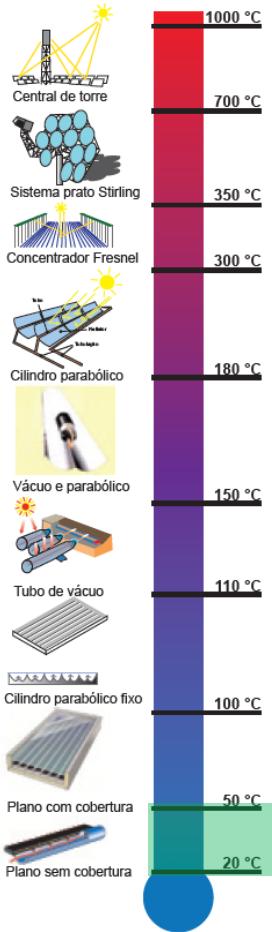
Aproveitamento térmico passivo – Arquitetura Bioclimática

Iran's ancient windcatchers

Yazd in Iran, one of the hottest cities in the world, is known for windcatchers, traditional structures on rooftops to cool buildings



Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores

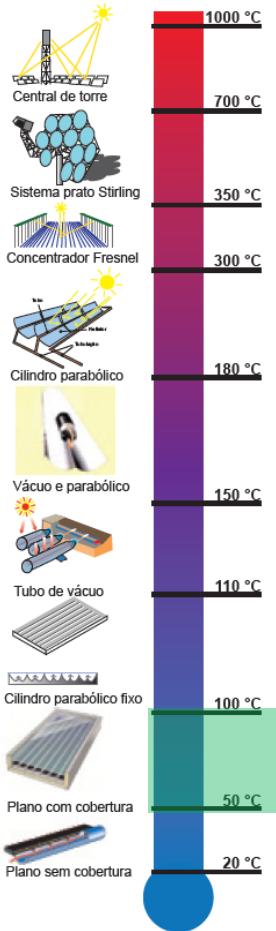


Coletor plano aberto

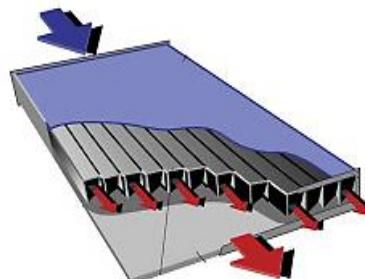


Fluido de trabalho: ar / água

Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores

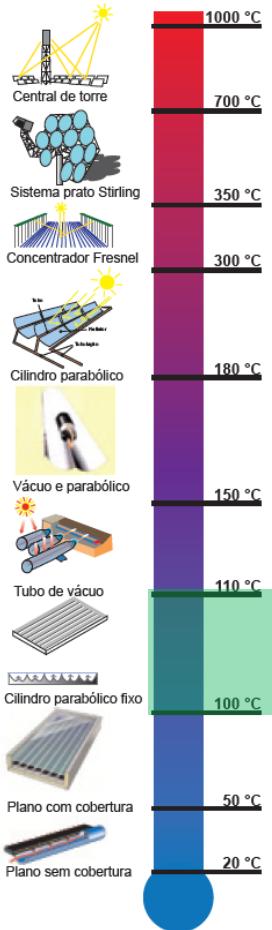


Coletor plano fechado

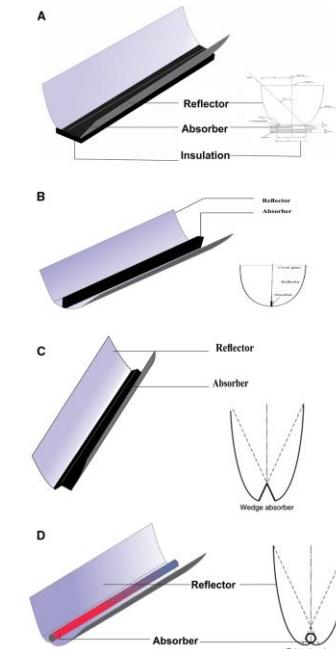
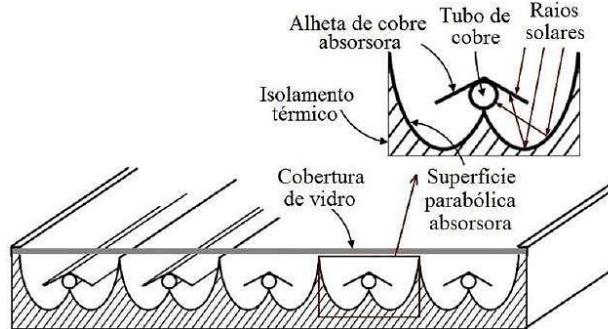


Fluido de trabalho: ar / água

Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores

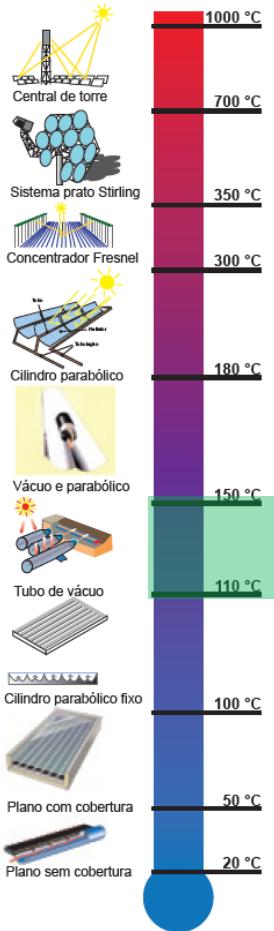


Concentrador parabólico composto (CPC)



Fluido de trabalho: água

Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores

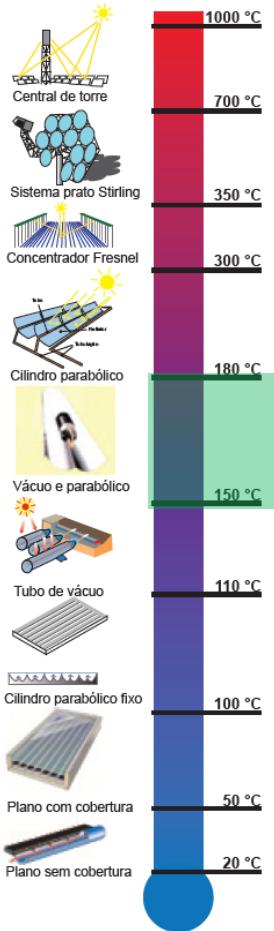


Tubo de vácuo

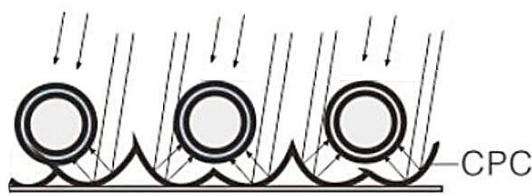


Fluido de trabalho: água

Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores

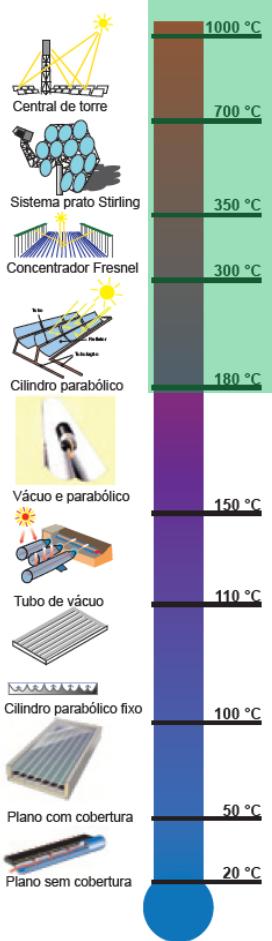


Tubo de vácuo + CPC

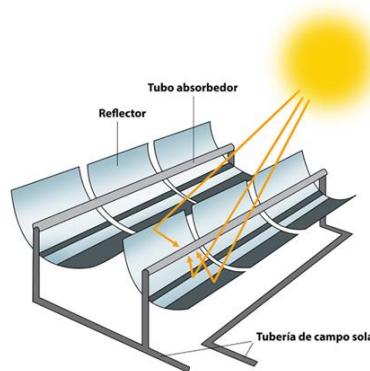


Fluido de trabalho: água / fluido térmico

Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores

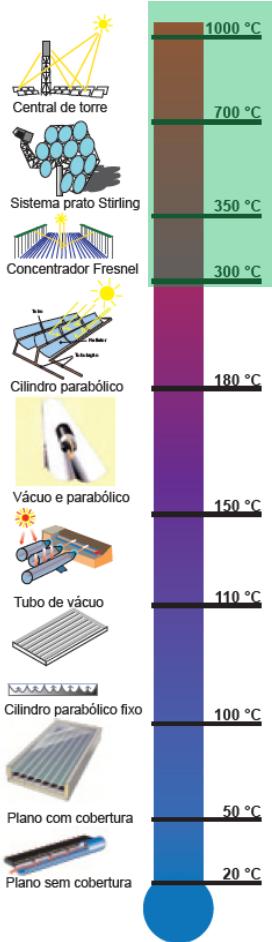


Concentrador cilíndrico parabólico

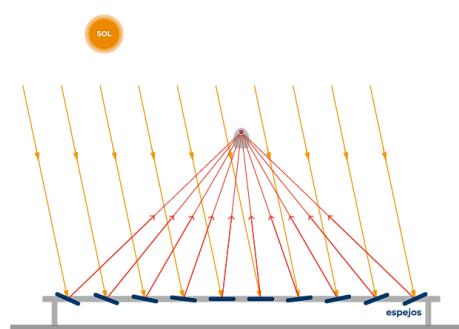
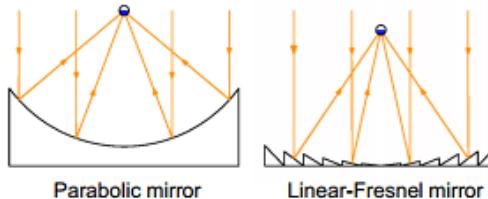


Fluido de trabalho: água / fluido térmico / sal / gás

Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores

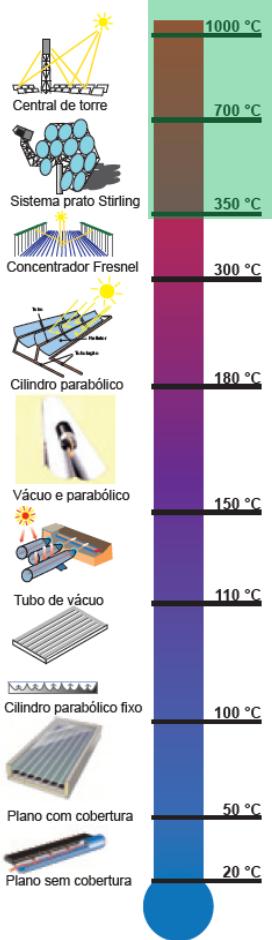


Concentrador linear Fresnel

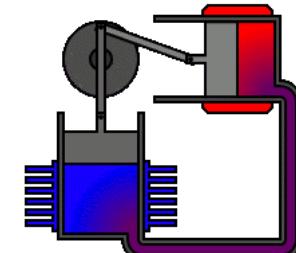
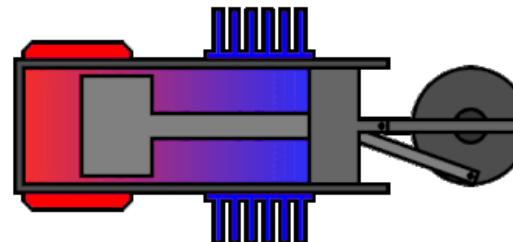


Fluido de trabalho: água / fluido térmico / sal / gás

Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores

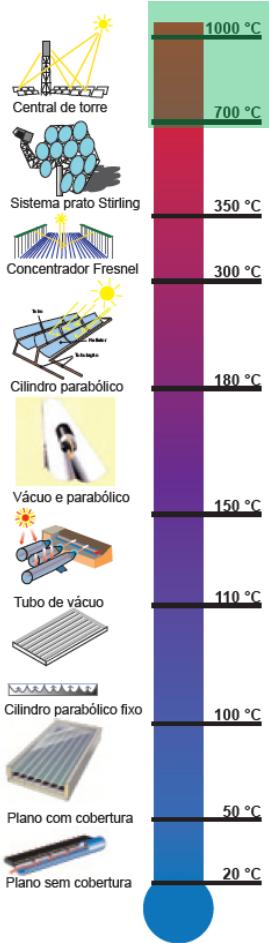


Concentrador parabólico com motor Stirling

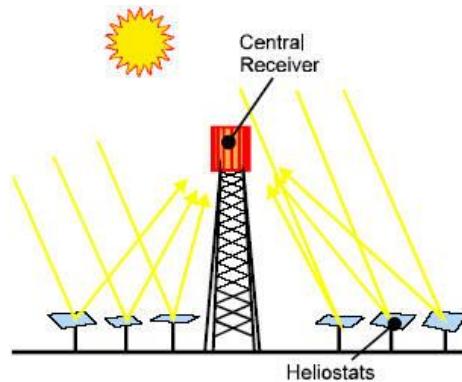


Fluido de trabalho: água / fluido térmico / sal / gás

Temperatura de trabalho de diferentes tecnologias de coletores



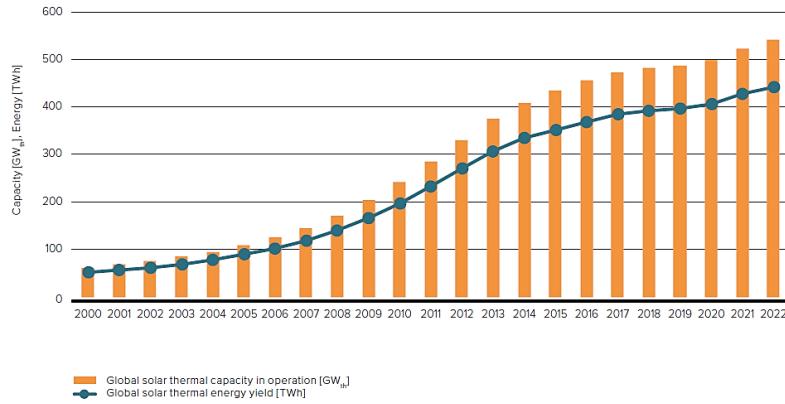
Torre de concentração



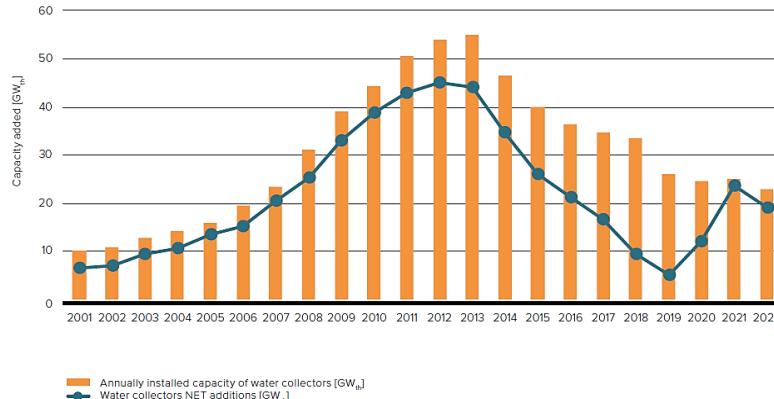
Fluido de trabalho: água / fluido térmico / sal / gás

Panorama internacional

Capacidade instalada acumulada e energia gerada acumulada

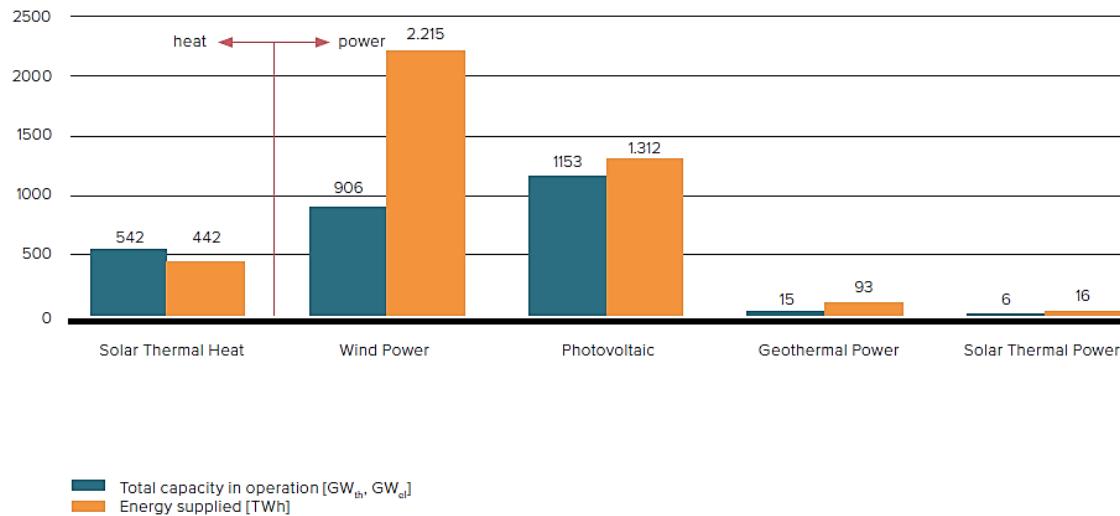


Capacidade instalada anual



Panorama internacional

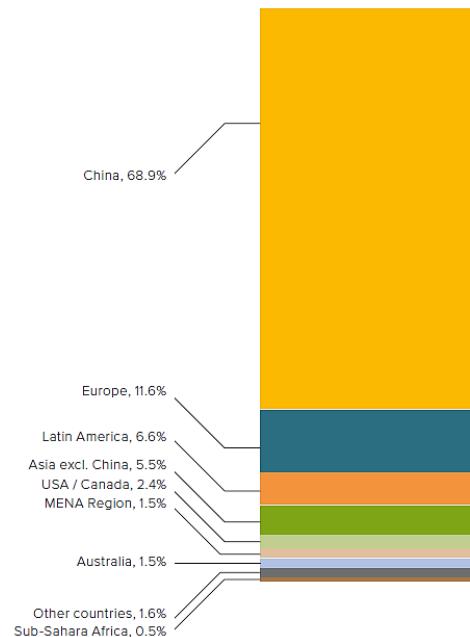
Comparação entre solar térmico e outras tecnologias renováveis



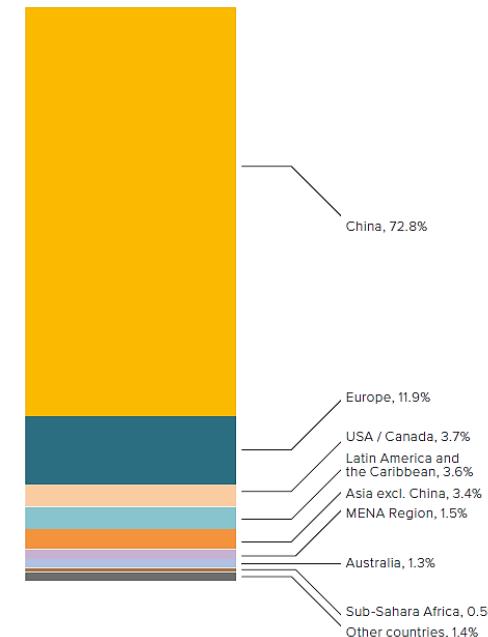
Panorama internacional

Capacidade instalada por região

Mercado em 2021



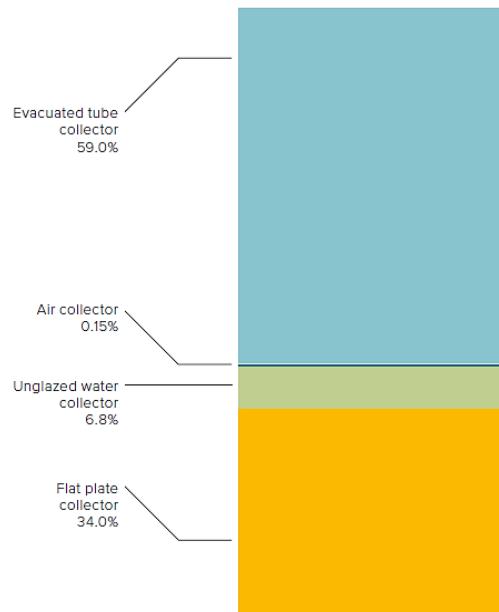
Acumulado até 2022



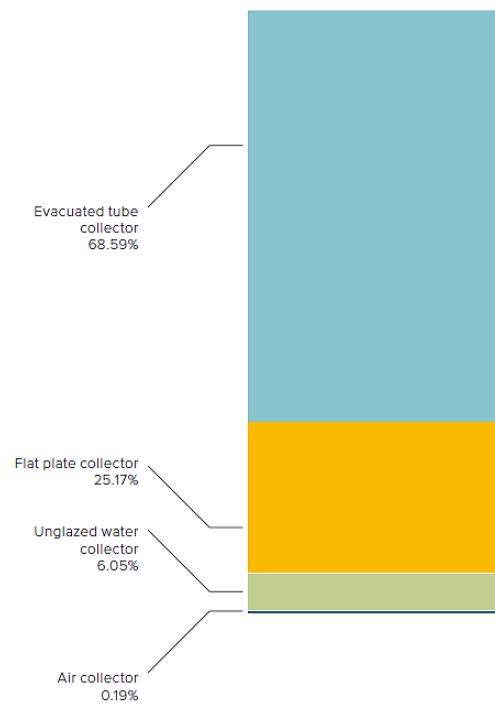
Panorama internacional

Capacidade instalada por tecnologia

Mercado em 2021



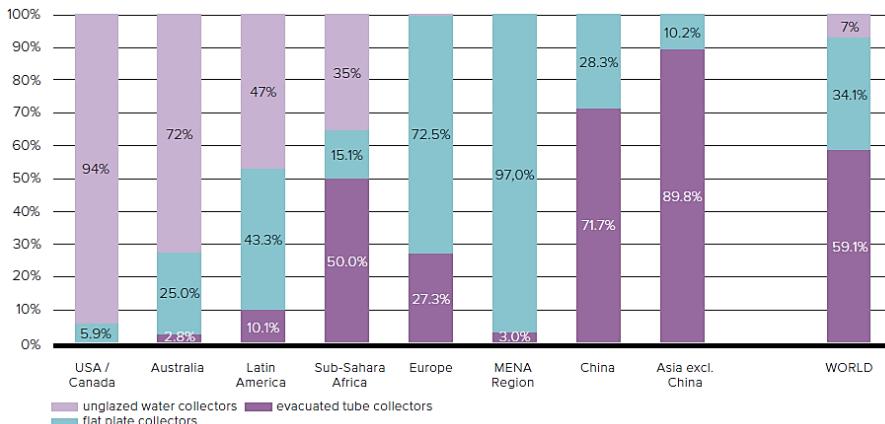
Acumulado até 2022



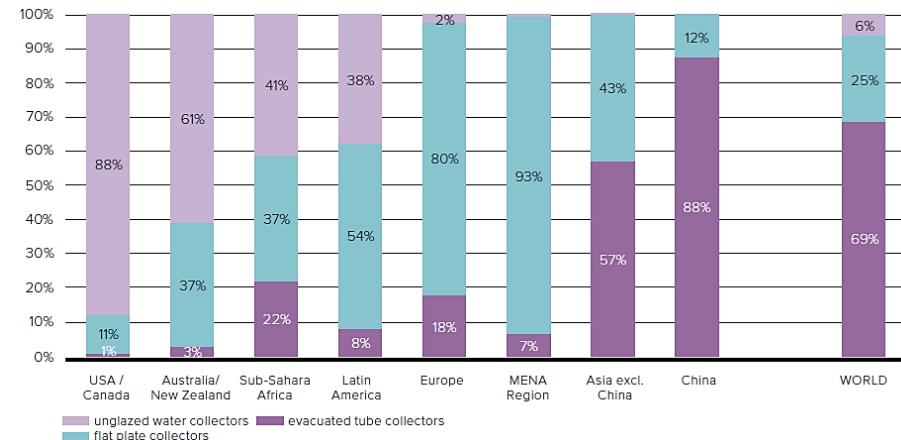
Panorama internacional

Capacidade instalada por tecnologia e região

Mercado em 2021

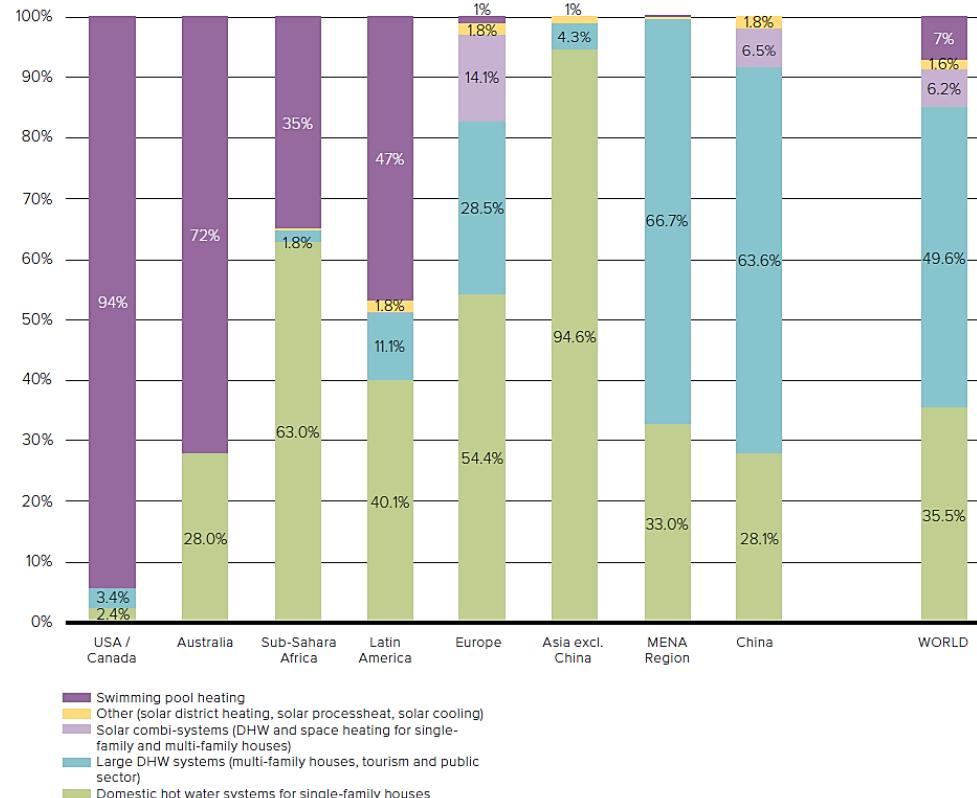


Acumulado até 2022



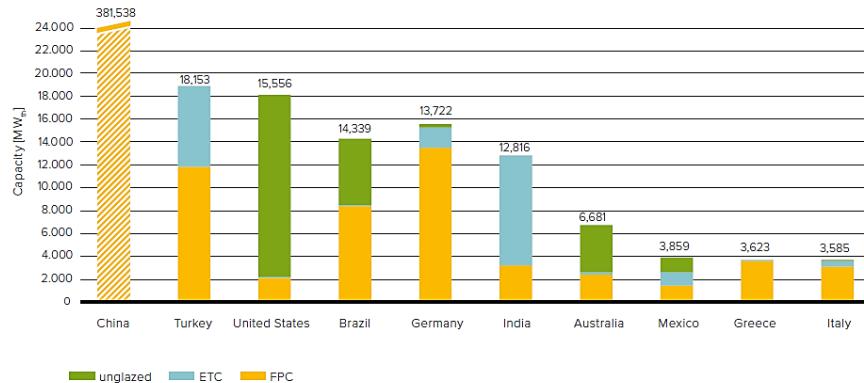
Panorama internacional

Divisão da capacidade instalada acumulada por tipo de aplicação

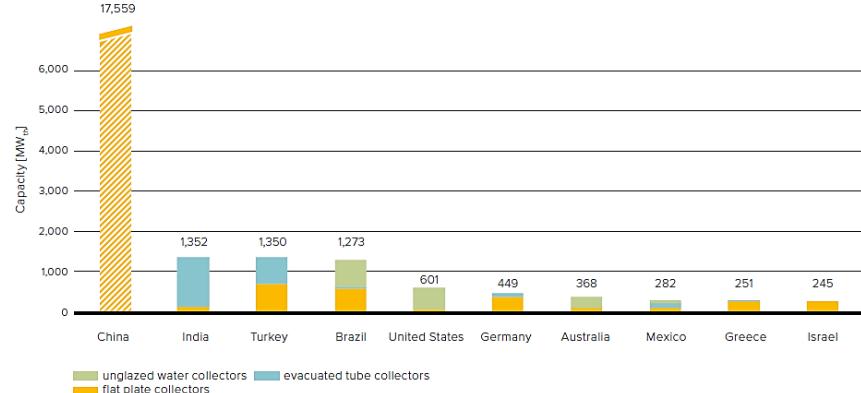


Panorama internacional

Capacidade instalada acumulada
por país (10 primeiros)

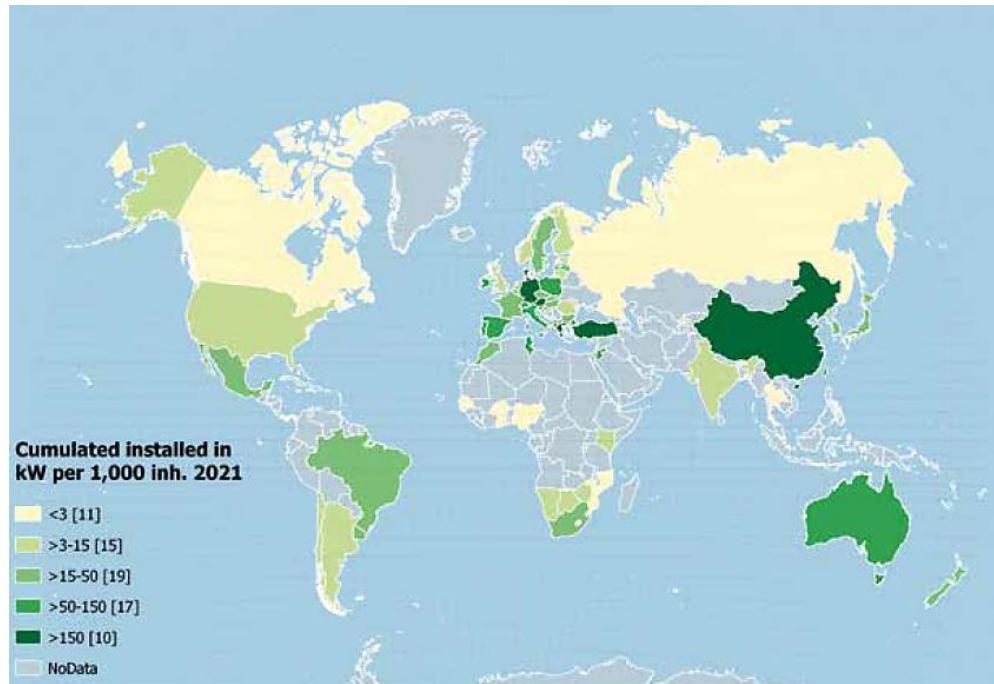


Capacidade instalada em 2021
por país (10 primeiros)



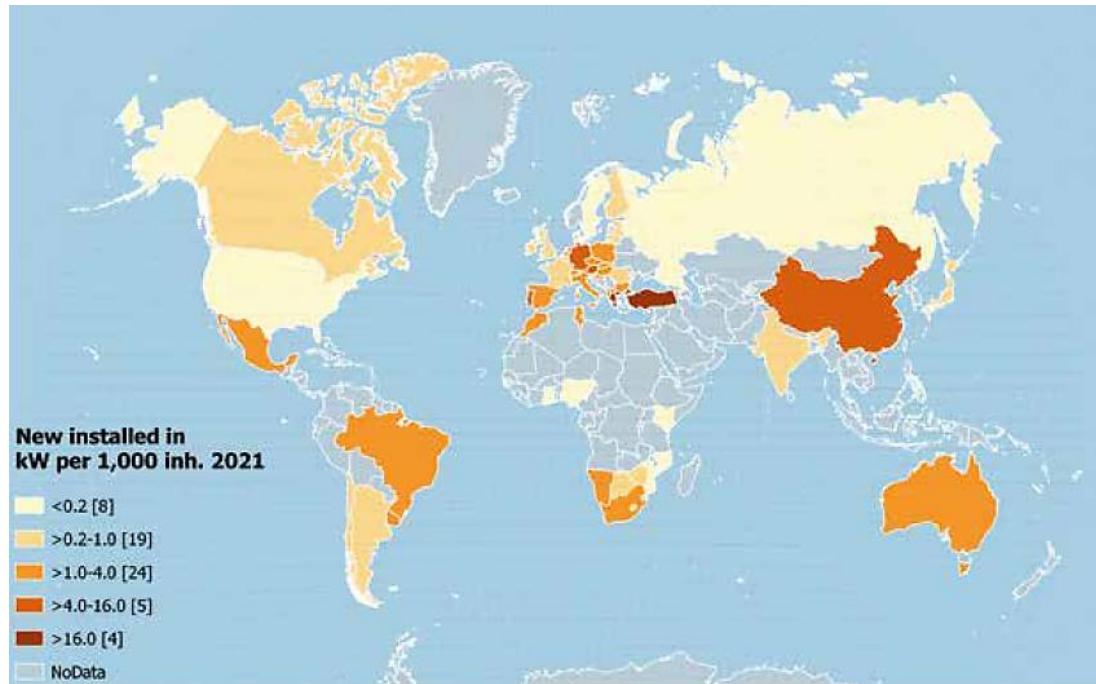
Panorama internacional

Capacidade instalada acumulada per capita



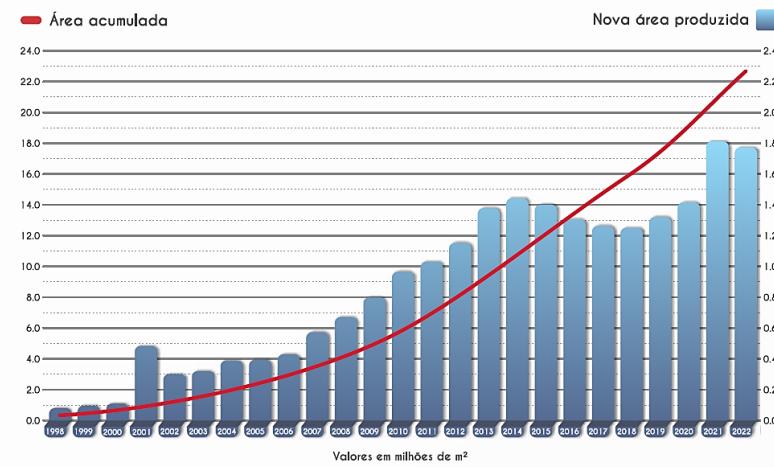
Panorama internacional

Capacidade instalada em 2021 per capita



Panorama nacional

Capacidade instalada acumulada e anual



Obs.: A área acumulada considera os últimos 25 anos, critério adotado pela IEA - Agência Internacional de Energia.

Ano	Aberto (m ²)	Var. (%)	Fechado (m ²)	Var. (%)	T. Vácuo (m ²)	Var. (%)	Total	%	Acum. (m ²)	Var. (%)
2014	643.888	3,6%	781.117	4,5%	15.864	60,1%	1.440.869	4,5%	11.238.732	14,7%
2015	610.066	-5,3%	767.311	-1,8%	25.055	57,9%	1.402.432	-2,7%	12.641.164	12,5%
2016	548.205	-10,1%	734.240	-4,3%	22.477	-10,3%	1.304.922	-7,0%	13.946.086	10,3%
2017	632.425	15,4%	602.803	-17,9%	28.546	27,0%	1.263.774	-3,2%	15.209.860	9,1%
2018	627.321	-0,8%	594.482	-1,4%	28.397	-0,5%	1.250.200	-1,1%	16.460.060	8,2%
2019	662.451	5,6%	627.773	5,6%	30.761	8,3%	1.320.985	5,7%	17.781.045	8,0%
2020	710.810	7,3%	673.600	7,3%	32.360	5,2%	1.416.771	7,3%	19.197.816	8,0%
2021	948.931	33,5%	831.223	23,4%	38.509	19,0%	1.818.663	28,4%	21.016.479	9,5%
2022	920.463	-3,0%	821.248	-1,2%	38.124	-1,0%	1.779.835	-2,1%	22.796.314	8,5%



Panorama nacional

Capacidade instalada por região e por setor

