



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 0718605-3 A2



(22) Data de Depósito: 13/11/2007
(43) Data da Publicação: 17/12/2013
(RPI 2241)

(51) Int.Cl.:
H01L 35/00
H01L 35/30

(54) Título: CONVERSÃO TERMOELÉTRICA SOLAR. **(57) Resumo:**

(30) Prioridade Unionista: 13/11/2006 US 60/858,515

(73) Titular(es): Massachusetts Institute Of Technolgy, Trustess
Of Boston College

(72) Inventor(es): Gang Chen, MILDRED DRESSELHAUS,
Xiaoyuan Chen, Zhifeng Ren

(74) Procurador(es): Dannemann ,Siemens, Bigler &
Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007023776 de
13/11/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/063474de
29/05/2008

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"CONVER-
SÃO TERMOELÉTRICA SOLAR"**.

REFERÊNCIA CRUZADA COM PEDIDOS RELACIONADOS

O presente pedido reivindica o benefício do Pedido de Patente
5 Provisório U.S. transportando o número em série 60/858.515, depositado em
13 de novembro de 2006. Os conteúdos inteiros do pedido provisório são,
por meio disso, incorporados por referência aqui.

CAMPO DA INVENÇÃO

a presente invenção refere-se, de forma geral, a métodos e dis-
10 positivos para a conversão de energia solar, e em particular a tais métodos e
dispositivos que podem executar a conversão termoeletrica solar.

ANTECEDENTES

A utilização de energia solar pode ser classificada como solar-
fotovoltaica e solar-térmica. A solar fotovoltaica (PV) converte a energia do
15 fóton diretamente em eletricidade. A outra é a solar-térmica, que tipicamente
converte a energia do fóton em calor armazenado em uma fonte de calor
terrestre tal como um fluido, geralmente através de um concentrador ótico, e
usa motores térmicos mecânicos para gerar eletricidade. As células fotovol-
taicas podem ser usadas em cima dos telhados, enquanto a conversão da
20 energia solar-térmica pelos motores térmicos mecânicos é mais adequada
para aplicações de geração de energia de grande escala.

Embora a conversão solar-térmica atual para eletricidade conte
com a geração de vapor e motores térmicos mecânicos, a perspectiva de
usar materiais geradores termoeletricos para converter energia solar primei-
25 ro em calor e a seguir em eletricidade tem sido perseguida, mas não foi am-
plamente utilizada por causa da baixa eficiência dos dispositivos termoeletri-
cos. A geração de energia termoeletrica conta com o efeito Seebeck em ma-
teriais sólidos para converter a energia térmica em eletricidade. A eficiência
da conversão da energia teórica η_{te} de um dispositivo termoeletrico operan-
do entre uma temperatura no lado quente T_h e uma temperatura no lado frio
30 T_c é dada por

$$\eta_{te} = \left(1 - \frac{T_c}{T_h}\right) \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + T_c / T_h}$$

onde o fator $(1 - T_c/T_h)$ é a eficiência Carnot, e o segundo fator é determinado pela figura termoelétrica de mérito Z e a temperatura média T $[=0,5(T_h+T_c)]$ dos materiais termoelétricos. A figura termoelétrica de mérito (Z) está relacionada com o coeficiente Seebeck S do material, a condutividade elétrica σ e a condutividade térmica k através de $Z = S^2 \sigma/k$. Os cálculos com base nessa eficiência sugerem que com um ZT entre 1-2, um dispositivo termoelétrico trabalhando entre 29,8-226,8°C (303-500 K) pode ter uma eficiência de 9-14%, enquanto a eficiência de um dispositivo termoelétrico operando entre 26,8-726,8°C (300-1000 K) com um ZT entre 1-2 pode alcançar 17-25%.

Entretanto, atingir tais condições de trabalho em um gerador solar-termoelétrico provou ser enganoso. Na realidade, as perdas por calor e a capacidade de proporcionar concentração térmica adequada para tais dispositivos permanecem problemáticas. Dessa maneira, existe uma necessidade de proporcionar técnicas aperfeiçoadas relacionadas com a geração termoelétrica solar.

SUMÁRIO

Técnicas para utilizar geradores elétricos solares são discutidas. Geradores elétricos solares podem ter uma estrutura de captura de radiação e um ou mais conversores termoelétricos. O calor produzido em uma estrutura de captura através da colisão da radiação solar pode manter uma porção de um conversor termoelétrico em uma alta temperatura, enquanto o uso de uma baixa temperatura em uma outra porção permite a geração da eletricidade. Dessa maneira, ao contrário das células fotovoltaicas que são geralmente consideradas primariamente com controle da radiação ótica, os conversores termoelétricos solares são geralmente relacionados com uma variedade de mecanismos para controle do calor.

Algumas modalidades são direcionadas para geradores elétricos solares, que podem ser personificados em uma configuração de painel plano. Em alguns casos, o gerador pode exibir uma eficiência de conversão da energia solar de pelo menos aproximadamente 4%. Um gerador elétrico solar pode incluir uma estrutura de captura de radiação, que pode ser pelo me-

nos parcialmente disposta em um invólucro isolado (por exemplo, um invólucro evacuado ou um invólucro cheio com um gás nobre). A estrutura de captura da radiação pode ter uma superfície frontal e uma superfície posterior. Um ou mais elementos de difusão de calor podem ser opcionalmente dispostos entre as superfícies frontal e posterior; o(s) elemento(s) de difusão de calor pode(m) ter uma alta condutividade térmica (por exemplo, maior do que aproximadamente 20 W/m K). Qualquer uma ou ambas as superfícies podem exibir baixa emissividade. Por exemplo, a emissividade de qualquer uma ou ambas as superfícies pode ser menor do que aproximadamente 0,1, 0,05, 0,02 ou 0,01, para comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns. A baixa emissividade pode ser exibida sobre uma faixa de temperatura selecionada, tal como entre aproximadamente 0°C e aproximadamente 500°C, ou entre aproximadamente 50°C e aproximadamente 300°C, ou entre aproximadamente 100°C e aproximadamente 300°C.

A superfície frontal pode ser adaptada para exposição à radiação solar e/ou pode ser adaptada para gerar calor em resposta à exposição à radiação solar. Por exemplo, a superfície frontal pode exibir uma alta condutividade térmica, por exemplo, em uma direção lateral. A condutividade térmica pode ser maior do que aproximadamente 20 W/m K ou em uma faixa de aproximadamente 20 W/m K a aproximadamente 400 W/m K. Em alguns casos, a superfície frontal é adaptada para ter uma absorvência à radiação solar maior do que aproximadamente 80%, 90% ou 95%. Por meio de exemplo, tais absorvências podem ser atingidas para comprimentos de onda de radiação solar menores do que aproximadamente 3 microns, ou comprimentos de onda de radiação solar entre aproximadamente 50 nm e aproximadamente 3 microns.

Um ou mais conversores termoelétricos podem ser dispostos pelo menos parcialmente no invólucro. O(s) conversor(es) termoelétrico(s) podem ter uma extremidade de alta temperatura, que pode ser termicamente acoplada na estrutura de captura de radiação para receber pelo menos um pouco do calor gerado. O calor pode ser usado para atingir um diferencial de temperatura através do(s) conversor(es). O diferencial de temperatura pode

ser pelo menos aproximadamente 50°C, 100°C, 150°C, 200°C ou 250°C. Qualquer um dos conversores pode incluir um membro do tipo p e um membro do tipo n, que podem ser unidos por uma junção. A junção pode ser termicamente acoplada na estrutura de captura de radiação. Um ou mais condutores eletricamente condutivos podem ser acoplados no(s) conversor(es) para extrair a energia elétrica gerada pelo(s) conversor(es).

O gerador elétrico solar pode incluir opcionalmente uma estrutura de suporte, que pode ser acoplada em uma extremidade de baixa temperatura do conversor termoeletrico. A estrutura de suporte pode incluir uma superfície interna, que pode ser adaptada para defrontar-se com a superfície posterior da estrutura de captura de radiação. A superfície interna pode exibir uma baixa emissividade, por exemplo, uma emissividade menor do que aproximadamente 0,1, para todos os comprimentos de onda, ou comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns. A estrutura de suporte pode também agir como um difusor de calor, que pode ser usado para remover o calor da extremidade de baixa temperatura de um ou mais conversores termoeletricos. A estrutura de suporte pode também ser termicamente acoplada em um dissipador de calor.

Outras modalidades são direcionadas para geradores elétricos solares que podem incluir uma estrutura de captura de radiação e uma pluralidade de conversores termoeletricos termicamente acoplados na estrutura de captura, onde cada conversor pode receber pelo menos uma porção do calor da estrutura de captura. Um gerador elétrico solar pode exibir uma eficiência maior do que aproximadamente 4% ou 7%. A estrutura de captura de radiação pode ter uma superfície frontal adaptada para exposição à radiação solar de modo a gerar calor e uma superfície posterior. Qualquer uma ou ambas as superfícies podem exibir uma emissividade menor do que aproximadamente 0,1 para comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1, 2 ou 3 microns.

Os conversores podem ser espacialmente dispostos em relação à estrutura de captura de radiação tal que um diferencial de temperatura pode ser gerado entre as extremidades de alta e baixa temperatura dos con-

versores em resposta à radiação solar incidente na estrutura de captura de radiação. Por meio de exemplo, o diferencial de temperatura pode ser pelo menos aproximadamente 50°C. A extremidade de baixa temperatura pode ser mantida em uma temperatura abaixo de aproximadamente 90°C, 70°C ou 50°C. Um ou mais dos conversores pode incluir um membro do tipo p e um membro do tipo n, onde os membros podem ser acoplados em uma junção. Em alguns casos, a junção pode incluir uma estrutura metálica, que pode interligar os membros do tipo p e do tipo n. Pelo menos um do membro do tipo p e do membro do tipo n pode ser caracterizado por uma razão de área de seção transversal para comprimento em uma faixa de aproximadamente 0,0001 metros a aproximadamente 1 metro. Uma estrutura de suporte pode ser acoplada nas extremidades de baixa temperatura dos conversores. Os conversores podem exibir uma condutância térmica coletiva menor do que aproximadamente 20% da condutância térmica total entre a estrutura de captura de radiação e a estrutura de suporte. Em alguns casos, a estrutura de captura de radiação pode ser caracterizada por uma área de captura e a pluralidade de conversores termoeletrônicos pode ser caracterizada por uma área de conversor. Em algumas modalidades, a razão da área de captura para a área do conversor pode ser maior do que aproximadamente 100, 400 ou 600. A pluralidade de conversores termoeletrônicos pode ser encapsulada em um ambiente evacuado em relação à pressão atmosférica e/ou ser personificada em uma configuração de painel plano.

Algumas modalidades da invenção são direcionadas para geradores elétricos solares, que são opcionalmente configurados em uma configuração de painel plano, que inclui pelo menos um membro termoeletrônico do tipo n e pelo menos um membro termoeletrônico do tipo p. Os membros podem ser termicamente acoplados para formar uma junção e podem ser caracterizados, cada um, por uma direção axial. A junção pode incluir um ponto de contato entre um membro do tipo p e um membro do tipo n, ou pode incluir uma estrutura de captura termicamente acoplada em pelo menos um membro do tipo p e pelo menos um membro do tipo n. A estrutura de captura pode ser adaptada para absorver a radiação solar concentrada impingida na

estrutura para gerar calor. Um ou mais coletores de radiação podem ser in-
 cluídos para coletar e concentrar a radiação solar incidente. O(s) coletor(es)
 de radiação pode(m) ser adaptado(s) para direcionar a radiação solar con-
 centrada para a junção. Os membros podem também ser eletricamente aco-
 5 plados na junção para formar um conversor termoeletrico. Cada membro
 pode ser disposto em relação a um outro membro tal que o ângulo entre as
 direções axiais dos membros fique em uma faixa de aproximadamente 0
 graus a aproximadamente 180 graus. Por exemplo, um membro do tipo n e
 um membro do tipo p podem ser linearmente alinhados. Em um outro caso,
 10 uma pluralidade de pares de membros do tipo n e do tipo p é montada em
 pares com cada par tendo um membro do tipo n e um membro do tipo p.
 Cada par pode ser linearmente alinhado e cada par pode ter uma junção de
 par. Uma pluralidade de coletores de radiação pode ser adaptada para dire-
 cionar a radiação solar concentrada para as junções do par. Em alguns ca-
 15 sos, os pares podem compartilhar uma junção comum, que pode ter qual-
 quer um dos traços de qualquer outra junção.

Uma outra modalidade é direcionada para um gerador elétrico
 solar que inclui pelo menos um conversor termoeletrico, que pode ser aloja-
 do em uma configuração de painel plano. O gerador elétrico solar pode inclu-
 20 ir um membro do tipo n e um membro do tipo p. Os membros podem ser ali-
 nhados ao longo de uma trajetória tal como uma trajetória linear e podem
 compartilhar uma junção. A junção pode ficar localizada entre as extremida-
 des do conversor termoeletrico. Um ou mais coletores de radiação podem
 ser adaptados para coletar e concentrar a radiação solar incidente. O(s) co-
 25 letor(es) de radiação pode(m) também ser adaptado(s) para direcionar a ra-
 diação solar concentrada para a junção. A junção pode incluir uma estrutura
 de captura termicamente acoplada nos membros. A estrutura de captura po-
 de ser adaptada para absorver a radiação solar concentrada impingida na
 estrutura para gerar calor.

30 Algumas modalidades são direcionadas para geradores elétricos
 solares que incluem uma pluralidade de conversores termoeletricos, que po-
 dem ser termicamente unidos nas suas extremidades de alta temperatura

por uma junção. Os conversores podem ser adaptados para gerar eletricidade quando submetidos a um diferencial de temperatura. O material do isolamento pode ser acoplado em pelo menos uma porção de um ou mais conversores para reduzir a transferência de calor deles. Os conversores podem ser alojados em uma configuração de painel plano, alojados em um módulo removível e/ou encapsulados em um ambiente isolado. Os conversores podem ser configurados para compartilhar um plano e podem ser opcionalmente alinhados para ficarem paralelos entre si. Um ou mais dos conversores podem incluir um membro do tipo p e um membro do tipo n, nos quais a junção pode incluir um acoplamento entre os membros. Um ou mais concentradores óticos podem ser incluídos para coletar e concentrar a radiação solar incidente. O concentrador pode direcionar a radiação solar concentrada para a junção. Uma junção pode incluir uma estrutura de captura termicamente acoplada na pluralidade de conversores. A estrutura de captura pode ser adaptada para absorver a radiação solar concentrada impingida na estrutura de captura para gerar calor.

Outras modalidades são direcionadas para geradores elétricos solares que utilizam uma estrutura de barreira para circundar um ambiente isolado. O ambiente isolado pode ser um ambiente com uma menor capacidade térmica do que a pressão atmosférica, pode ser um ambiente evacuado em relação à pressão atmosférica e/ou incluir o uso de um material exibindo baixa condutância térmica (por exemplo, um material isolante). A estrutura de barreira, que pode ter uma forma semelhante a bulbo, pode ser pelo menos parcialmente transmissiva a um ou mais comprimentos de ondas da radiação solar. Um ou mais conversores termoeletricos podem ser dispostos no ambiente isolado. Uma estrutura de captura pode ser incluída dentro da estrutura de barreira e termicamente acoplada no(s) conversor(es). A estrutura de captura pode ser adaptada para absorver a radiação solar concentrada de um concentrador de radiação e pode gerar calor. Um concentrador de radiação pode ser óticamente acoplado no ambiente isolado de modo a direcionar a radiação solar para aquecer pelo menos uma porção do conversor, o que pode facilitar a geração de um diferencial de temperatura

através do conversor (por exemplo, através das extremidades de alta e baixa temperatura do conversor). Um concentrador de radiação pode ser adaptado para concentrar a radiação solar em um nível pelo menos aproximadamente 10 vezes esse da radiação solar incidente. O concentrador de radiação pode

5 incluir um ou mais elementos de lente, um ou mais elementos refletivos ou um ou mais elementos refrativos ou difrativos, que podem ser adaptados, cada um, para direcionar a radiação solar para aquecer o conversor termoe-létrico. Um rastreador de radiação solar pode ser incluído. O rastreador pode ser adaptado para mover o concentrador de radiação em relação a um ou

10 mais conversores para manter a exposição à radiação solar para aquecer o(s) conversor(es). Um difusor de calor pode também ser incluído e adapta-do para termicamente acoplar no(s) conversor(es), o que pode potencial-mente remover o calor de pelo menos uma porção de um conversor. Em al-guns casos, uma ou mais estruturas de barreira podem ser térmica, elétrica

15 e/ou removivelmente acopladas no difusor de calor.

Algumas modalidades são direcionadas para um gerador elétri-co solar que inclui uma estrutura de captura de radiação tendo uma superfície de absorção de radiação adaptada para exposição à radiação solar para gerar calor, um ou mais conversores termoeletrônicos e um concentrador ótico

20 (por exemplo, um coletor de espelho parabólico), que pode ser oticamente acoplado na estrutura de captura de radiação de modo a direcionar a radia-ção solar para ela. O(s) conversor(es) pode(m) ser termicamente acoplados na estrutura de captura para receber o calor dela. Os conversores podem ser alojados em um invólucro evacuado. A estrutura de captura pode incluir

25 um ou mais elementos projetados. Por exemplo, o elemento projetado pode ser disposto substancialmente ortogonal a uma tangente da superfície da estrutura de captura, que pode ser plana em alguns casos. Os elementos projetados podem ser adaptados para receber pelo menos uma porção da radiação direcionada por um concentrador ótico sobre uma estrutura de cap-tura. Um elemento projetado pode gerar calor em resposta à exposição à

30 radiação solar e pode ser termicamente acoplado em uma extremidade de um conversor para transferir o calor para ele.

Algumas modalidades são direcionadas para geradores elétricos solares, que podem incluir uma ou mais estruturas de captura de radiação adaptadas para gerar calor com a absorção da radiação solar de uma superfície de captura solar. Um ou mais conversores termoeletrônicos podem ser incluídos, que podem ser adaptados para serem termicamente acoplados na(s) estrutura(s) de captura de radiação e que podem gerar eletricidade com a exposição ao calor da(s) estrutura(s) de captura de radiação. Em alguns casos, uma ou mais estruturas de captura de radiação e os conversores termoeletrônicos podem ser adaptados como uma pluralidade de dispositivos de painel plano e/ou alojados em uma pluralidade de ambientes evacuados relativos à pressão atmosférica. Um ou mais coletores solares podem ser adaptados para coletar e concentrar a radiação solar incidente. Cada coletor solar pode ser configurado para direcionar a radiação solar concentrada sobre pelo menos uma porção da superfície de captura solar. Coletores solares podem ser personificados como uma ou mais estruturas de lente ou concentradores parabólicos compostos. Também, uma pluralidade de concentradores solares pode ser configurada para formar uma pluralidade de canais, que podem ser personificados como estruturas bidimensionais e/ou tridimensionais. Em um caso, a pluralidade de concentradores solares pode incluir duas ou mais superfícies refletivas, que podem ser dispostas em um ângulo em relação uma a outra. Cada superfície refletiva pode ser adaptada para refletir a radiação solar para dentro de um canal. Também, um lado frio de pelo menos um da pluralidade de conversores pode ser termicamente acoplado em pelo menos uma estrutura refletiva, que pode agir como um dissipador térmico. Em um outro caso, a uma ou mais estruturas de captura de radiação e a pluralidade de conversores podem ser adaptadas como uma pluralidade de dispositivos de painel plano. Cada um dos dispositivos de painel plano pode ficar localizado em um canal quando os concentradores solares são apropriadamente adaptados. Em um outro caso, uma primeira e uma segunda estrutura de captura de radiação têm, cada uma, uma superfície de captura associada. Um ou mais coletores solares podem incluir uma primeira porção adaptada para direcionar a radiação solar para a

primeira superfície de captura solar e uma segunda porção adaptada para direcionar a radiação solar para a segunda superfície de captura solar. Em algumas modalidades, toda a estrutura pode ser encapsulada em um ambiente isolado, incluindo os concentradores solares. Em outras modalidades, os concentradores solares podem ser excluídos da encapsulação.

Em outras modalidades, um gerador elétrico solar pode incluir uma estrutura de captura de radiação adaptada para gerar calor com a absorção da radiação solar. Uma superfície de captura solar da estrutura de captura pode capturar a radiação solar para gerar calor. Um ou mais conversores termoeletricos podem ser termicamente acoplados na estrutura de captura de radiação, e podem ser adaptados para gerar eletricidade com a exposição ao calor proveniente da estrutura de captura de radiação. Um transmissor de coleta solar pode ser acoplado rente (por exemplo, em contato com) à superfície de captura solar e pode ser adaptado para coletar e concentrar a radiação solar incidente sobre a superfície de captura solar. Um ou mais elementos projetados podem ser incluídos com a estrutura de captura de radiação para coletar a radiação solar do transmissor de coleta solar e para capturar a radiação solar de múltiplas direções (por exemplo, uma multiplicidade de direções que não podem ser capturadas por uma superfície plana).

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Os objetivos e as características descritas no presente pedido podem ser entendidos melhor com referência aos desenhos descritos aqui e às reivindicações. Os desenhos não estão necessariamente em escala, a ênfase, ao invés disso, geralmente sendo colocada na ilustração de um ou mais princípios da invenção. Nos desenhos, numerais semelhantes são usados para indicar partes semelhantes por todas as várias vistas. Embora a invenção seja particularmente mostrada e descrita aqui com referência aos exemplos específicos e modalidades específicas, deve ser entendido por aqueles versados na técnica que várias mudanças na forma e detalhes podem ser feitas nela sem se afastar do espírito e do escopo da invenção.

figura 1 é uma representação de vista lateral de uma configura-

ção de painel plano de um módulo gerador elétrico solar, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 2 representa um gráfico da refletibilidade de superfícies de cobre polidas diferentes como uma função do comprimento de onda, permitindo a dedução da emissividade, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 3 é uma representação da vista lateral de uma configuração de painel plano de um módulo gerador elétrico solar com um membro do tipo p e um membro do tipo n, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 4 é uma representação da vista lateral de vários módulos de painel plano circundados em um ambiente isolado, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 5A é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar usando uma lente como um concentrador solar, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 5B é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar usando duas estruturas refletivas como um concentrador solar, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 5C é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar usando uma lente transmissiva como um concentrador solar que contata uma estrutura de captura solar, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 6A é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar utilizando um concentrador solar e um conversor termoelétrico em uma posição horizontal, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 6B é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar utilizando um concentrador solar e dois conversores termoelétricos em uma posição horizontal empilhada em cima uma da outra, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 6C é uma representação da vista lateral de um gerador

elétrico solar utilizando um concentrador solar em uma forma de cogumelo e um conversor termoelétrico em uma posição horizontal, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

5 figura 7 é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar utilizando uma pluralidade de superfícies refletivas dispostas em um projeto de canal como uma pluralidade de concentradores solares, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

10 figura 8A é uma representação da vista em perspectiva de um gerador elétrico solar utilizando uma pluralidade de estruturas de lente como uma pluralidade de concentradores solares, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 8B é uma representação da vista lateral do gerador elétrico solar mostrado na figura 8A,

15 figura 9 é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar utilizando uma pluralidade de estruturas de lente como uma pluralidade de concentradores solares e um único gerador termoelétrico solar tendo conversores agrupados, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

20 figura 10A é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar usando uma lente Fresnel plana como um concentrador solar e uma estrutura de barreira circundando um conversor termoelétrico em um ambiente isolado, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

25 figura 10B é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar usando uma lente Fresnel curvada como um concentrador solar e uma estrutura de barreira circundando um conversor termoelétrico em um ambiente isolado, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

30 figura 10C é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar usando duas superfícies refletivas para concentrar a radiação solar sobre uma estrutura de barreira circundando um conversor termoelétrico em um ambiente isolado, consistente com algumas modalidades da pre-

sente invenção,

figura 11 é uma representação da vista lateral de um gerador elétrico solar usando uma superfície refletiva parabólica para concentrar a radiação solar sobre uma estrutura de barreira circundando um conversor acoplado em uma estrutura de captura tendo um elemento projetado, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 12A é uma representação da vista lateral de uma estrutura de suporte acoplada em um sistema de transferência de calor baseado em fluido para remover o calor da estrutura de suporte, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 12B é uma representação da vista lateral de uma estrutura de suporte com extensões para aumentar a transferência de calor para longe da estrutura de suporte, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 13A proporciona um esquemático de um gerador elétrico solar protótipo, consistente com algumas modalidades da presente invenção,

figura 13B proporciona um gráfico de energia contra resistência de carga testada no gerador elétrico solar protótipo representado na figura 13^a; e

figura 13C proporciona um gráfico da eficiência contra resistência de carga testada consistente com os dados mostrados na figura 13B.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES

A presente invenção proporciona, de forma geral, geradores termoelétricos solares que proporcionam uma alta eficiência, por exemplo, uma eficiência maior do que aproximadamente 4 por cento, de preferência maior do que aproximadamente 5, 6, 7, 10, 15 ou 20 por cento na conversão da energia de radiação solar em eletricidade. Em muitas modalidades, tais altas eficiências podem ser atingidas por uma combinação de características, tal como o uso de elementos de absorção de radiação solar eficientes (por exemplo, na forma de camadas de absorção bidimensionais) junto com superfícies de baixa emissividade que podem minimizar a perda de calor radiativo. Em muitos casos, a camada de absorção exibe uma alta condu-

tância térmica lateral que permite que ela funcione como um bom concentrador térmico para transferência fácil do calor gerado para um ou mais conversores termoeletrônicos do gerador solar. Além disso, em muitas modalidades, os vários elementos do gerador solar são circundados dentro de um ambiente isolado (por exemplo, um ambiente evacuado ou um ambiente incluindo um material tendo baixa condutividade térmica (por exemplo, um gás nobre)) de modo a minimizar a perda de calor condutivo e/ou convectivo. Além do mais, em muitos casos, o vazamento do calor através de uma pluralidade de conversores termoeletrônicos de um gerador solar é minimizado através de uma distribuição esparsa desses conversores. Além disso, em muitas modalidades, o uso de materiais termoeletrônicos tendo altos valores ZT pode também melhorar a eficiência de um gerador termoeletrônico. Em alguns casos, os concentradores óticos são utilizados para coletar e concentrar a radiação solar sobre as extremidades de alta temperatura dos conversores termoeletrônicos para também facilitar a geração de um diferencial de temperatura através deles.

Definições

A menos que o contexto de uso sugira de outra forma, as definições seguintes se aplicam aos termos e frases usados por todo o presente pedido.

Os termos "um" e "uma" são permutáveis e são os mesmos como a frase "um ou mais".

O termo "emissividade" refere-se à tendência de um material emitir radiação. Valores de emissividade associados com um material, como utilizado aqui, são a razão da emissão do material em relação à emissão de um corpo negro perfeito sob as mesmas condições. Isto é:

$$e = \frac{q^{(e)}}{q_b^{(e)}}$$

onde e é a emissividade, $q^{(e)}$ é a energia radiante total emitida por unidade de área por unidade de tempo do material e $q_b^{(e)}$ é a energia radiante total emitida por unidade de área por unidade de tempo de um corpo negro perfeito. Dessa maneira, a emissividade mais alta de um material é 1,

correspondendo com um corpo negro perfeito.

A frase "baixa emissividade" refere-se à tendência de um elemento exibir pequenos valores de emissividade em relação a um corpo negro. Baixa emissividade pode ser caracterizada por valores menores do que aproximadamente 0,1, 0,05, 0,04, 0,03, 0,02, 0,01 ou 0,005. Também, a baixa emissividade pode ser definida para um ou mais comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Por exemplo, a baixa emissividade pode ser relativa aos comprimentos de onda de infravermelho e/ou comprimentos de onda mais longos. Em outros exemplos, a baixa emissividade pode ser acima de comprimentos de onda que são mais longos do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns.

O termo "junção" como usado em conjunto com um elemento do tipo p e um elemento do tipo n refere-se a um acoplamento local entre os dois elementos. O acoplamento pode se referir a qualquer combinação de acoplamento térmico, elétrico e mecânico. O acoplamento pode ser pelo contato direto entre os elementos ou pode utilizar uma ou mais estruturas intermediárias que podem ser presas nos elementos. Por exemplo, uma junção pode compreender um elemento do tipo n e um elemento do tipo p em contato um com o outro, e tendo uma estrutura de captura solar presa em ambos os elementos também, onde a superfície de captura solar pode ser um bom condutor térmico e/ou condutor elétrico. Em um outro exemplo, uma junção entre um membro do tipo p e do tipo n pode incluir um condutor térmico intermediário onde cada membro é somente diretamente contatado com o condutor. Em um terceiro exemplo, uma junção pode compreender o local onde 2 membros do tipo n e 2 membros do tipo p estão localizados. O acoplamento térmico pode existir entre os 4 membros, enquanto o acoplamento elétrico pode ser limitado a cada membro do tipo p sendo eletricamente acoplado em somente um membro do tipo n. Dessa maneira, esses exemplos, e outras configurações, estão dentro do escopo do que pode constituir uma junção.

A frase "radiação solar" refere-se à radiação gerada do sol. Em muitos casos, o uso da frase se refere à radiação como recebida de modo

terrestre depois da atenuação através da atmosfera da terra. Embora a radiação solar tenha muitos componentes de comprimento de onda, em muitos casos, a radiação solar de interesse tem componentes tendo comprimentos de onda menores do que aproximadamente 1,5 a 4 microns ou menores do que aproximadamente 3 microns ou menores do que aproximadamente 2 microns ou menores do que aproximadamente 1,5 microns. Em alguns casos, a radiação solar de interesse se refere aos componentes tendo um comprimento de onda em uma faixa de aproximadamente 50 nm a aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns, ou aproximadamente 200 nm a aproximadamente 1,5, 2, 3, ou 4 microns.

O termo "incidente" quando usado em conjunto com "radiação solar" refere-se à radiação solar que não é artificialmente concentrada ou de outra forma concentrada por mecanismos não naturais ou antropogênicos. Embora a "radiação solar incidente" varie como uma função do resultado do sol e da posição na terra, em alguns casos, nós assumimos um valor de radiação solar incidente entre aproximadamente 400 W/m^2 e 1500 W/m^2 ou um valor único na faixa acima mencionada (por exemplo, 1000 W/m^2).

O termo "concentrado" quando usado em conjunto com "radiação solar" se refere à radiação solar que tem uma medida da intensidade acima da radiação solar incidente. Em alguns casos, a radiação solar concentrada pode se referir à radiação solar concentrada para um nível acima de 400 W/m^2 a acima de 1500 W/m^2 .

Modalidades da presente invenção são direcionadas para uma variedade de projetos e aspectos para converter a radiação solar em eletricidade usando geradores termoeletricos. Um número de modalidades particulares é descrito tendo características particulares. Em um exemplo, uma configuração de painel plano usando uma superfície de captura solar tendo absorção seletiva de energia solar e baixa emissividade de infravermelho é descrita. Em outro exemplo, uma configuração encapsulada é usada em conjunto com um concentrador solar. Deve ser entendido que essas configurações particulares, entretanto, não representam o escopo completo da presente revelação. Qualquer número de características de qualquer modalida-

de pode ser combinado com qualquer número de características de qualquer outra combinação de modalidades. Por exemplo, a configuração de painel plano descrita no primeiro exemplo pode ser combinada com um concentrador solar, ou reorganizada em uma configuração de bulbo de luz ou ambos, consistente com algumas modalidades da presente invenção. Dessa maneira, todas tais combinações potenciais são consideradas e estão dentro do escopo da presente invenção. Igualmente, o versado também prontamente verificará um número de outras modificações ou mudanças que podem ser utilizadas com a presente revelação. Dessa maneira, todas tais modificações estão também dentro do escopo da presente invenção.

Configurações do Concentrador térmico

O dispositivo ilustrado na figura 1 exemplifica algumas modalidades da invenção. Um exemplo de um gerador elétrico solar 13 é representado na figura 1 que inclui uma estrutura de captura de radiação 12 acoplada em um ou mais (por exemplo, um par) conversores termoeletrônicos 14. A estrutura de captura 12 inclui uma camada de absorção de radiação 1a que, por sua vez, inclui uma superfície frontal 1b que é adaptada para exposição à radiação solar, diretamente ou através de um concentrador. Embora nesse exemplo a superfície frontal 1b seja substancialmente plana, em outros exemplos, a camada 1a pode ser curvada. Além do que, embora a camada de absorção de radiação 1a seja mostrada nesse exemplo como contínua, em outros casos, ela pode ser formada como uma pluralidade de segmentos separados. A radiação solar impingida na superfície frontal 1b pode gerar calor na estrutura de captura 12, que pode ser transferido para uma extremidade 15 de cada um dos conversores termoeletrônicos 14, como discutido em mais detalhes abaixo. Mais especificamente, nesse exemplo, a camada de absorção de radiação 1a pode ser formada de um material que exhibe alta absorção para radiação solar (por exemplo, comprimentos de onda menores do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns) enquanto exibindo baixa emissividade e, portanto, baixa absorção (por exemplo, para comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns).

A absorção da radiação solar causa a geração de calor na ca-

mada de absorção 1a, que pode ser transmitida através de uma camada intermediária termicamente condutora 2 para uma camada posterior termicamente condutora 3a. Os conversores termoeletrônicos 14 são termicamente acoplados em uma extremidade 15 na camada posterior 3a para receber pelo menos uma porção do calor gerado. Dessa maneira, a extremidade 15 dos conversores (aqui também citada como a extremidade de alta temperatura) é mantida em uma temperatura elevada. Com a extremidade oposta 16 dos conversores exposta a uma temperatura menor, os conversores termoeletrônicos podem gerar energia elétrica. Como discutido em mais detalhes abaixo, a camada de absorção de radiação superior 1a exibe uma alta condutância térmica lateral (isto é, uma alta condutância térmica nas direções tangentes à superfície frontal 1b) para mais efetivamente transmitir o calor gerado para os conversores.

Em algumas modalidades, tal como representado na figura 1, uma estrutura de reforço 100 (também conhecida como uma estrutura de suporte) é acoplada nas extremidades de baixa temperatura 16 dos conversores termoeletrônicos para prover o suporte estrutural e/ou para transferir o calor para longe das extremidades 16, isto é, agindo como um difusor de calor. Por exemplo, a estrutura de reforço 10 pode ser termicamente acoplada em um dissipador térmico, tal como um fluido de resfriamento ou ar ambiente ou outro mecanismo dissipador térmico incluindo esses dentro do conhecimento do versado na técnica. Por exemplo, como representado na figura 12A, uma estrutura de reforço 1220 fica em comunicação térmica com um conversor termoeletrônico 1210. Um circuito de líquido de resfriamento 1250 é acoplado na estrutura de reforço 1220 para remover o calor dela. Encaixes herméticos ao vácuo 1260 podem ser utilizados para manter um ambiente evacuado ao redor do conversor 1210. O conduto 1230 pode permitir a transferência do calor da estrutura de reforço 1220 para o circuito 1250. Um trocador de calor 1240 pode ser utilizado para remover o calor do circuito 1250. Outras estruturas condutivas térmicas acopladas em extremidades opostas 16 dos conversores termoeletrônicos podem também ser utilizadas como representado na figura 1. Por exemplo, como representado na figura

12B, uma estrutura de reforço 1225, em comunicação térmica com um conversor termoeletrico 1210, pode incluir uma ou mais extensões 1226, que podem ser estruturas semelhantes a barbatanas para aumentar a transferência de calor para longe da estrutura de reforço 1225 devido à maior área de superfície. Deve ser reconhecido que tais estruturas de reforço com características de resfriamento podem ser usadas com qualquer uma das modalidades descritas aqui, além do que é representado na figura 1. Por exemplo, o uso de barbatanas pode ser utilizado no ambiente isolado circundado como discutido com referência às figuras 10A, 10B, 10C e 11 (por exemplo, barbatanas ficando na estrutura de suporte 1030, 1035).

Para o gerador 13 mostrado na figura 1, eletrodos 9 são representados para acoplar o gerador 13 em uma carga elétrica. Condutores eletricamente condutivos 4, 11 são também representados na figura 1, que podem prover o acoplamento elétrico apropriado dentro e/ou entre os conversores termoeletricos e pode ser usado para extrair a energia elétrica gerada pelos conversores 14.

O gerador elétrico solar 13 representado na figura 1 é adaptado para ter uma configuração de painel plano, isto é, o gerador 13 tem pelo menos uma extensão dimensional 18, representativa da superfície de captura solar, maior do que pelo menos uma outra extensão dimensional 17 que não é representativa da superfície de captura solar. Uma tal configuração pode aumentar vantajosamente a área disponível para a captura da radiação solar enquanto provendo concentração térmica suficiente para permitir que uma diferença de temperatura suficiente seja estabelecida através do conversor termoeletrico para gerar eletricidade substancial. Uma configuração de painel plano pode encontrar aplicação prática provendo um dispositivo de pequeno perfil que pode ser utilizado em cima de telhados ou outras estruturas manufaturadas. Embora o dispositivo mostrado na figura 1 seja representado com uma configuração de painel plano, é entendido que o dispositivo da figura 1, e outros, podem ser também configurados em configurações não planas enquanto mantendo a operabilidade.

Em muitas modalidades, a porção de absorção de radiação da

estrutura de captura pode exibir, pelo menos em porções da mesma, uma alta condutância térmica lateral, por exemplo, uma condutância térmica lateral grande o suficiente que a diferença de temperatura através da superfície de absorção é pequena (por exemplo, menor do que aproximadamente 100°C, 50°C, 10°C, 5°C ou 1°C), para agir como um concentrador térmico eficiente para transferir o calor para as extremidades de alta temperatura dos conversores termoeletrônicos. Em algumas modalidades, tal como representado pela camada de substrato 2 na figura 1, uma estrutura de captura de radiação pode também exibir uma alta condutância térmica em uma direção transversal (por exemplo, nesse caso em uma direção substancialmente ortogonal à superfície de absorção 1b) e/ou lateral para facilitar a transferência do calor da camada de absorção para os conversores. Por exemplo, a estrutura de captura pode incluir uma camada de absorção de radiação formada de um material com alta condutividade térmica, por exemplo, acima de aproximadamente 20 W/m K ou em uma faixa de aproximadamente 20 W/m K a aproximadamente 400 W/m K. Em algumas modalidades, uma película fina pode ser depositada em um substrato com tais valores de condutividade térmica. A alta condutância térmica pode também ser atingida usando materiais mais grossos com condutividades térmicas menores. Casos de materiais que podem ser usados incluem qualquer combinação de metais (por exemplo, contendo cobre, contendo alumínio), cerâmica, materiais anisotrópicos, tal como polímeros orientados (por exemplo, tendo uma condutância térmica suficiente em uma direção desejada tal como em um plano de uma camada) e vidros. Embora as propriedades de alta condutância térmica de uma estrutura de captura sejam exemplificadas por uma camada de substrato unitária 2 na figura 1, é entendido que múltiplas estruturas, tal como uma pluralidade de materiais em camada, podem também ser usadas para prover a propriedade de alta condutância térmica desejada em algumas modalidades.

Em algumas modalidades, uma estrutura de captura pode incluir um número de componentes adaptados para prover uma ou mais funções vantajosas. Por exemplo, a camada de absorção de radiação 1a da estrutura

de captura 12 mostrada na figura 1 pode ser adaptada para absorver seletivamente a radiação solar. Por exemplo, a camada de absorção de radiação 1a pode ser adaptada para absorver a radiação solar tendo comprimentos de onda menores do que aproximadamente 1,5, 2 ou 3 microns, ou tendo

5 comprimentos de onda entre aproximadamente 50 nm e aproximadamente 1,5, 2 ou 3 microns, ou tendo comprimentos de onda entre aproximadamente 200 nm e aproximadamente 1,5, 2 ou 3 microns. Em termos da fração da radiação solar impingida que pode ser absorvida, a camada de absorção 1a pode ser adaptada para exibir uma absorvência da radiação solar que pode

10 ser maior do que aproximadamente 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%, 96%, 97%, 98% ou 99%. Por exemplo, a camada de absorção de radiação 1a pode atingir tal absorvência para comprimentos de onda de radiação solar em uma faixa de aproximadamente 50 nm a aproximadamente 3 microns. Em algumas modalidades, a camada de absorção 1a pode compreender um ou

15 mais revestimentos que são aplicados em um substrato 2 para prover as propriedades de absorvência solar seletivas desejadas. Um ou mais revestimentos seletivos podem ser personificados por uma ou mais camadas de heteromateriais com índices óticos diferentes, isto é, uma estrutura fotônica unidimensional. Um revestimento seletivo pode também ser personificado

20 como uma grade, textura de superfície ou outra estrutura bidimensional adequada. Em um outro exemplo, um revestimento seletivo pode ser personificado pela formação de liga ou composição de dois ou mais tipos de materiais, incluindo nanocompósitos. O substrato 2 pode também ser parte da superfície seletiva 1b.

25 Em algumas modalidades, a superfície frontal da estrutura de captura ou outra superfície adaptada para ficar exposta à radiação solar pode exibir propriedades de baixa emissividade sobre uma faixa do comprimento de onda, por exemplo, em comprimentos de onda de radiação maiores do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns. Por exemplo, na estrutura de captura de radiação 12 acima, a superfície frontal 1b pode exibir uma

30 emissividade em comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 3 microns que é menor do que aproximadamente 0,1, ou menor do que apro-

ximadamente 0,05, ou mais preferivelmente menor do que aproximadamente 0,01. Uma tal baixa superfície de emissividade pode reduzir a perda de calor da estrutura de captura solar devido à emissão radioativa. Embora tal baixa emissividade possa também reduzir a absorção dos comprimentos de onda de radiação solar maiores do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns, seu efeito na absorção é mínima já que a irradiação solar cai significativamente em tais comprimentos de onda. Nessa modalidade exemplar, não somente a superfície frontal 1b, mas também uma superfície posterior 3a da estrutura de captura de radiação 12 exibe uma baixa emissividade, por exemplo, uma baixa emissividade em comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 3 microns. As características de baixa emissividade da superfície frontal 1b e da superfície posterior 3a não precisam ser idênticas. Por exemplo, a superfície posterior pode exibir uma baixa emissividade sobre uma faixa de comprimento de onda mais ampla já que, ao contrário da superfície frontal 1b, ela não participa na absorção da radiação solar. Em algumas outras modalidades, somente uma das superfícies frontal e posterior pode exibir baixa emissividade.

Além do mais, uma superfície interna 3b da estrutura de reforço 10, que defronta-se com a superfície posterior 3a da estrutura de captura de radiação 12 pode exibir baixa emissividade. A baixa emissividade pode ser acima de todos os comprimentos de onda ou pode ser acima de comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns. As características da baixa emissividade da superfície interna 3b podem ser similares a essas da superfície posterior 3a da estrutura de captura de radiação ou ela pode ser diferente. A combinação da baixa emissividade da superfície posterior 3a da estrutura de captura 12 e essa da superfície interna 3b da estrutura posterior 10 minimiza a transferência de calor da radiação entre essas duas superfícies e, portanto, facilita a geração de um diferencial de temperatura através dos conversores termoelétricos.

A superfície interna 3b pode ser formada do mesmo material que o restante da estrutura de reforço 10, especialmente quando a estrutura de reforço é formada de metal. Alternativamente, a superfície interna 3b po-

de ser formada de um material diferente do que o restante da estrutura de reforço 10, por exemplo, um metal diferente tendo refletibilidade otimizada no infravermelho. Essa camada ou revestimento pode ser uma camada contínua ou dividida em regiões diferentes eletricamente isoladas uma da outra, ou divididas em regiões eletricamente unidas, que podem agir como interligações para elementos termoeletricos também. Os revestimentos com alta refletibilidade, tal como ouro, podem agir como emissores pouco radiativos. Em geral, metais polidos podem exibir refletibilidades mais elevadas e, portanto menores emissividades, em relação às superfícies de metal áspero. Como mostrado na figura 2, superfícies de cobre que são polidas para refinamentos melhores resultam em superfícies com refletibilidades mais altas, isto é, superfícies de cobre polidos em máquinas têm as mais altas refletibilidades, seguidas por superfícies de cobre polidas à mão e superfícies de cobre não polidas. As medidas de refletibilidade da figura 2 podem ter um erro de 3-5% porque o exemplo do alumínio de referência pode ter refletibilidade ligeiramente menor do que a unidade. Tais altas refletibilidades acima de uma faixa de comprimento de onda correspondem com baixas emissividades acima dessa faixa de comprimento de onda, já que a soma da refletibilidade e uma emissividade respectiva é unitária. Também, superfícies não oxidadas tendem a ter menores emissividades em relação às superfícies oxidadas.

O uso de qualquer combinação das superfícies de baixa emissividade 1b, 3a, 3b pode agir para impedir a transferência de calor para longe da estrutura de captura 12 e, assim, manter um gradiente de temperatura substancial através dos conversores termoeletricos 14. Quando múltiplas superfícies de baixa emissividade são utilizadas, as superfícies podem ter propriedades similares ou podem diferir nas suas características de emissividade. Em algumas modalidades, as propriedades de baixa emissividade de uma ou mais estruturas podem ser exibidas sobre uma faixa de temperatura selecionada tal como a faixa de temperatura que a superfície de captura solar, ou outras porções de uma estrutura de captura, são submetidas durante a operação do gerador elétrico solar. Por exemplo, as propriedades de baixa emissividade podem ser exibidas sobre uma faixa de temperatura de apro-

ximadamente 0°C a aproximadamente 1000°C, ou aproximadamente 50°C a aproximadamente 500°C, ou aproximadamente 50°C a aproximadamente 300°C, ou aproximadamente 100°C a aproximadamente 300°C. Em algumas modalidades, as propriedades de baixa emissividade de quaisquer camada(s) podem ser exibidas sobre um ou mais comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Por exemplo, a baixa emissividade pode ser sobre uma faixa que inclui a faixa do infravermelho (por exemplo, comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 750 nm). Em outro exemplo, a baixa emissão de quaisquer camada(s) pode ser sobre comprimentos de onda mais longos do que aproximadamente 1,5, 2, 3 ou 4 microns. Em outras modalidades, a baixa emissividade de quaisquer camada(s) pode ser caracterizada por uma superfície tendo um valor total de emissividade menor do que aproximadamente 0,1, menor do que aproximadamente 0,05, menor do que aproximadamente 0,02 ou menor do que aproximadamente 0,01 na sua temperatura de trabalho.

Em algumas modalidades, uma superfície pode compreender um ou mais revestimentos que são aplicados nela a fim de prover as propriedades desejadas de baixa emissividade, como descrito anteriormente. Em um outro caso, a baixa emissividade pode ser atingida usando cristais fotônicos metalodielétricos de múltiplas camadas, como descrito na publicação por Narayanaswamy, A e outros, "Thermal emission control with one-dimensional metallodielectric photonic crystals", *Physical Review B*, 70, 125101-1 (2004), que é incorporada aqui por referência na sua integridade. Em algumas modalidades, outras estruturas podem também agir como uma porção da superfície de baixa emissividade. Por exemplo, com referência às modalidades exemplificadas pela figura 1, o substrato 2 pode também ser parte da superfície de baixa emissividade 1b. Por exemplo, um metal altamente refletivo usado como o substrato pode também agir como uma superfície de baixa emissividade na faixa do infravermelho, enquanto um ou mais revestimentos em cima do metal podem ser projetados para absorver a radiação solar.

Em algumas modalidades, uma superfície externa da estrutura de reforço (por exemplo, superfície 19 no gerador solar exemplar 13) na figura 1 pode exibir uma alta emissividade, por exemplo, para comprimentos de onda de radiação do infravermelho, de modo a facilitar o resfriamento radiativo. Isso pode ser realizado, por exemplo, depositando uma camada de revestimento apropriada na superfície externa da estrutura de reforço.

Nas modalidades representadas pela figura 1, entre outras modalidades aqui, um gerador elétrico solar pode incluir uma porção que é encapsulada (por exemplo, por um alojamento) tal que a porção é submetida a um ambiente isolado 6 (por exemplo, evacuado em relação à pressão atmosférica). De preferência, o ambiente isolado é selecionado para minimizar a transferência do calor para longe da estrutura de captura 12. Dessa maneira, algumas modalidades utilizam um ambiente evacuado em uma pressão substancialmente menor do que a pressão atmosférica. Por exemplo, o ambiente evacuado pode ter uma pressão menor do que aproximadamente 0,133 Pa (1 mtorr) ou menor do que aproximadamente $1,33 \times 10^{-4}$ Pa (10^{-6} torr). Como representado na figura 1, um alojamento 5 pode encapsular todo o dispositivo 13. Pelo menos a superfície superior do alojamento 5 pode ser substancialmente transparente à radiação solar, por exemplo, tendo alta transmissibilidade e baixa refletibilidade e absorvência à radiação solar. Materiais potenciais que podem ser utilizados incluem tipos diferentes de vidros ou plásticos translúcidos. Um ou mais revestimentos podem ser aplicados em um ou mais lados das paredes do alojamento para conceder propriedades desejadas (por exemplo, pequenas perdas por reflexão). Em algumas modalidades, a estrutura de captura 12 pode ter pouco a nenhum contato físico com o alojamento 5 para reduzir possível transferência de calor para longe da estrutura de captura 12. Embora as modalidades representadas pela figura 1 possam utilizar um alojamento 5 que substancialmente encapsula toda a estrutura do gerador elétrico solar 13, outras modalidades podem ser configuradas em maneiras alternativas. Por exemplo, a superfície de captura solar 1b pode ser não encapsulada para receber a radiação solar incidente direta, enquanto o restante do dispositivo 13, ou a região entre as

superfícies internas 3a, 3b, podem ser encapsuladas para ficarem em um ambiente evacuado. Alojamentos ou outras estruturas para conter o ambiente evacuado podem ser construídos em qualquer maneira aceitável, incluindo dentro do conhecimento daqueles versados na técnica.

5 Em modalidades alternativas, o alojamento e os invólucros discutidos aqui podem ser usados para circundar um ambiente isolado, que pode ser caracterizado por baixa condutância térmica (por exemplo, em relação à atmosfera ambiente). Dessa maneira, no lugar do vácuo, um ambiente circundado pode incluir um gás com baixa capacidade térmica, tal como
10 um gás inerte (por exemplo, um gás nobre tal como argônio). Em um outro exemplo, materiais isolantes podem ser incluídos dentro de um invólucro para limitar a transferência de calor. Por exemplo, a superfície posterior de uma superfície de captura e a superfície interna de uma estrutura de reforço
15 podem incluir um material preso a elas para prover o isolamento adicional além do uso da camada de baixa emissividade. Dessa maneira, as modalidades discutidas aqui que utilizam um "ambiente evacuado" podem também ser praticadas usando esses ambientes alternativos.

 Conversores termoeletricos, tal como os conversores 14 representados na figura 1, podem gerar eletricidade quando uma diferença de
20 temperatura suficiente é estabelecida através deles. Em algumas modalidades, um elemento conversor termoeletrico compreende um membro termoeletrico do tipo p e um membro termoeletrico do tipo n, os membros são térmica e eletricamente acoplados em uma extremidade, por exemplo, para formar uma junção tal como uma junção pn. A junção pode incluir, ou ser
25 acoplada em, uma estrutura de captura de radiação, que pode agir como um concentrador térmico, consistente com as estruturas discutidas aqui. Uma ampla variedade de materiais pode ser utilizada para os conversores termoeletricos. Em geral, pode ser vantajoso utilizar materiais tendo grandes valores ZT (por exemplo, material com um valor ZT médio maior do que a-
30 proximadamente 0,5, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2, 3, 4 u 5). Alguns exemplos de tais materiais são descritos na Publicação do Pedido de Patente U.S. No. US 2006-0102224 A1, transportando o número serial 10/977.363 depositado

em 29 de outubro de 2004 e no Pedido de Patente Provisório U.S. transportando o número serial 60/872.242, depositado em 1 de dezembro de 2006, intitulado "Methods for High-Figure-of-Merit in Nanostructured Thermoelectric Materials", ambos os quais são, com isso, incorporados por referência aqui na sua integridade.

Com relação aos materiais do tipo p e do tipo n, tal dopagem de materiais pode ser executada, por exemplo, usando técnicas conhecidas para o versado. Os materiais dopados podem ser substancialmente um material único com certos níveis de dopagem ou podem compreender vários materiais utilizados em combinação, que são conhecidos em alguns casos como configurações segmentadas. Conversores elétricos térmicos podem também utilizar geradores termoelétricos em cascata, onde dois ou mais geradores diferentes são unidos, cada gerador operando em uma faixa de temperatura diferente. Por exemplo, cada par p-n pode ser uma pilha de pares p-n, cada par projetado para funcionar em uma temperatura selecionada. Em alguns casos, configurações segmentadas e/ou configurações em cascata são adaptadas para uso sobre uma faixa de temperatura grande.

As disposições dos elementos do tipo p e do tipo n podem variar em qualquer maneira que resulte em um gerador elétrico solar operacional. Por exemplo, os elementos do tipo p e do tipo n podem ser dispostos em um padrão que tem periodicidade ou carece de periodicidade. A figura 1 apresenta um exemplo onde membros do tipo p e do tipo n 7,8 são aglomerados firmemente juntos para formar um conversor termoelétrico 14. Grupos de membros de conversor, ou membros de conversor individuais, podem ser igual ou desigualmente separados. Pares de elementos do tipo p e do tipo n podem ser usados em qualquer número incluindo simplesmente um par. Uma outra configuração potencial pode separar mais os elementos do tipo p e do tipo n, como exemplificado pelo gerador elétrico solar 100 mostrado na figura 3. O dispositivo 100 é similar em alguns aspectos ao gerador elétrico solar 13 mostrado na figura 1, tendo uma estrutura de barreira 5' para prover um ambiente evacuado 6' relativo à pressão atmosférica, uma estrutura de captura 12' com uma superfície de captura 1', uma estrutura de reforço 10' e

elétrodos 9'. A estrutura de captura 12' e a estrutura de reforço 10' podem ser formadas de um material metálico. O material metálico, que pode formar uma camada 2b', pode agir como um difusor de calor na estrutura de reforço 10', e nas camadas 2a', 2b' para prover o acoplamento elétrico entre as estruturas termoeletricas 7', 8' em ambas as extremidades das estruturas 7', 8'. Observe que a camada 2b' na estrutura de reforço 10' é separada por um segmento isolante 20 para impedir o curto-circuito das estruturas 7', 8'. Dessa maneira, é entendido que um revestimento e/ou camada como utilizado em várias modalidades aqui pode ser contínua ou descontínua para prover a funcionalidade desejada, tal como uma configuração desejada de acoplamento elétrico. Opcionalmente, uma ou ambas das superfícies do material metálico 2a', 2b' podem ser polidas para ter baixa emissividade, consistente com algumas modalidades descritas aqui. No dispositivo 100 representado na figura 3, o elemento termoeletrico do tipo n 7' e o elemento termoeletrico do tipo p 8' são mais separados em relação ao que é mostrado na figura 1. Quando uma pluralidade de elementos conversores termoeletricos é utilizada em um gerador termoeletrico solar, elementos termoeletricos do tipo p e do tipo n podem ser separados (por exemplo, igualmente) em oposição a serem aglomerados. Por exemplo, considerando as perdas por calor como sendo devidas somente à radiação, e usando um material de cobre como um absorvedor, o espaçamento entre os membros pode ser tão grande quanto 0,3 m.

Uma outra disposição potencial dos elementos conversores termoeletricos é representada na figura 4, onde múltiplos elementos conversores termoeletricos (membros) 210 de uma pluralidade de conversores termoeletricos são aglomerados em grupos 220 que são separados. Os grupos 220 de elementos conversores termoeletricos 210 são encapsulados por uma barreira 230 para circundar o conjunto em um ambiente evacuado. Uma tal disposição pode ser vantajosamente utilizada quando a radiação solar não é uniformemente distribuída sobre uma ou mais superfícies de captura solar como nas modalidades que utilizam concentradores óticos como descrito aqui. Mesmo se um concentrador ótico não é utilizado, a disposição dos

elementos conversores poderia ser, por exemplo, configurada para seguir a trajetória de uma mancha solar quando ela se movimenta durante o dia sobre uma superfície de captura. Para a disposição mostrada na figura 4, os grupos são fisicamente separados. É entendido, entretanto, que o dispositivo

5 poderia ser personificado como uma entidade única com grupos de elementos conversores esparsamente separados um do outro.

A distribuição espacial dos elementos conversores termoelétricos pode também causar impacto no desempenho da geração elétrica de um gerador termoelétrico solar. Em algumas modalidades, os elementos

10 conversores termoelétricos são espacialmente dispostos tal que uma diferença de temperatura mínima pode ser estabelecida entre uma porção de alta temperatura e uma porção de baixa temperatura de um elemento conversor termoelétrico. A diferença de temperatura mínima pode ser maior do que aproximadamente 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 100°C, 150°C, 200°C,

15 250°C, 280°C ou 300°C. Em alguns casos, tais diferenciais de temperatura através dos conversores termoelétricos podem ser atingidos mantendo as extremidades de baixa temperatura dos conversores em uma temperatura abaixo de aproximadamente 95°C, 90°C, 80°C, 70°C, 60°C, ou de preferência abaixo de aproximadamente 50°C, enquanto elevando as extremidades

20 de alta temperatura dos conversores para uma temperatura não maior do que aproximadamente 350°C, quando a concentração ótica não é utilizada. Para a baixa concentração solar (por exemplo, uma concentração menor do que aproximadamente 2 a aproximadamente 4 vezes a radiação solar incidente), a temperatura não pode ser maior do que aproximadamente 500°C.

25 Tais diferenciais de temperatura podem garantir que o gerador termoelétrico solar opere em uma alta eficiência. Em particular, essas especificações de temperatura podem ser utilizadas para um gerador termoelétrico que utiliza somente a radiação solar incidente (isto é, a radiação não concentrada) e/ou a radiação solar concentrada.

30 Alternativamente, ou, além disso, as modalidades podem utilizar uma distribuição espacial de conversor(es) termoelétricos que proporciona uma condutância térmica limitada entre suas extremidades respectivas. Por

exemplo, a condutância térmica coletiva total dos conversores pode ser menor do que aproximadamente 5%, 10%, 15% ou 20% da condutância térmica total entre uma estrutura de captura de radiação e uma estrutura de suporte de um gerador termoelétrico solar. A condutância térmica pode também ser limitada pelo comprimento de um membro de um conversor termoelétrico - membros mais longos permitindo menos condutância térmica. Dessa maneira, algumas modalidades limitam a razão da área da seção transversal em relação ao comprimento de um membro para ajudar a diminuir a condutância térmica pelo membro. Por exemplo, a razão da área da seção transversal de um membro em relação ao comprimento do membro pode ficar na faixa de aproximadamente 0,0001 metros a aproximadamente 1 metro.

Em algumas modalidades, os conversores termoelétricos e/ou membros dos conversores podem ser distribuídos em uma maneira esparsa (por exemplo, relativa à superfície de captura solar ou uma estrutura de reforço). A distribuição esparsa dos elementos termoelétricos pode ajudar a reduzir a remoção do calor através dos elementos a partir de suas extremidades de alta temperatura para suas extremidades de baixa temperatura. As disposições representadas nas figuras 1 e 3 dos elementos conversores termoelétricos proporcionam algumas modalidades ilustrativas de elementos esparsamente distribuídos.

Em algumas modalidades onde um ou mais elementos conversores termoelétricos são esparsamente distribuídos em relação a uma superfície de captura solar, a dispersão pode ser medida pela razão relativa de uma área de captura solar (aqui "área de captura") em relação a uma área da seção transversal total associada com elementos conversores (aqui "área do conversor"). A área de captura pode ser definida pela quantidade total de área de uma superfície de captura solar selecionada disponível para ser exposta à radiação solar para gerar calor. A área do conversor pode ser definida pela área da seção transversal efetiva total dos elementos (ou elemento) conversores termoelétricos. Por exemplo, com relação à figura 1, assumindo que todos os 4 elementos do tipo p e do tipo n são geometricamente similares com áreas de seção transversal uniformes, a "área do conversor" pode

- ser definida como 4 vezes a área da seção transversal de um elemento do tipo p ou do tipo n, a seção transversal de cada elemento sendo definida pela área da seção da superfície da seção transversal situada em um plano suposto paralelo à superfície de captura 1b interceptando esse elemento.
- 5 Em geral, à medida que a razão da área de captura em relação à área do conversor aumenta, a distribuição dos elementos conversores se torna mais esparsa, isto é, existem menos elementos conversores termoelétricos em relação à quantidade total da superfície de captura solar.

- Várias modalidades descritas aqui podem utilizar uma faixa de
- 10 razões de área de captura em relação à área do conversor. Em algumas modalidades, um gerador elétrico solar pode ser caracterizado por uma razão de área de captura em relação à área de conversor igual ou maior do que aproximadamente 200, aproximadamente 400, aproximadamente 500 ou aproximadamente 600. Tais modalidades podem ser vantajosas, particu-
- 15 larmente quando utilizadas com geradores elétricos solares tendo uma configuração de painel plano que captura a radiação solar sem o uso de um concentrador solar. Em algumas modalidades, um gerador elétrico solar pode ser caracterizado por uma razão da área de captura em relação à área do conversor maior do que aproximadamente 50, 100, 200 ou 300. Tais modali-
- 20 dades podem ser vantajosas, particularmente quando utilizadas com geradores elétricos solares que capturam a radiação solar concentrada (isto é, um concentrador solar é usado para coletar e concentrar a radiação solar incidente sobre uma superfície de captura solar). Embora as modalidades discutidas possam ser vantajosas para as configurações particulares discutidas, é
- 25 entendido que o escopo de tais modalidades não é limitado a tais configurações particulares.

Configurações do Concentrador Ótico

- Algumas modalidades descritas abaixo utilizam configurações de gerador termoelétrico solar que são adaptadas para uso com um ou mais
- 30 concentradores óticos. Um concentrador ótico refere-se a um ou mais dispositivos capazes de coletar a radiação solar incidente e concentrar tal radiação solar. O concentrador ótico pode tipicamente também direcionar a radia-

ção solar concentrada para um alvo, tal como uma superfície de captura solar. Em muitas modalidades, nas quais um concentrador ótico é utilizado, o concentrador pode facilitar a geração de um diferencial de temperatura mais alto através dos conversores termoeletricos, via aquecimento mais eficiente de suas extremidades de alta temperatura, que pode resultar em rendimento elétrico potencialmente mais elevado pelos conversores. Um concentrador ótico pode também ser potencialmente utilizado com estruturas de captura solar que têm uma menor capacidade de concentração térmica (por exemplo, superfícies de captura solar menores e/ou estruturas de captura que podem exibir maiores perdas por calor) enquanto potencialmente mantendo o desempenho do gerador elétrico solar. Embora as modalidades descritas com relação às figuras 1, 3 e 4 possam ser adaptadas para uso onde a radiação solar incidente (isto é, não concentrada) é utilizada, tais modalidades podem também ser utilizadas em conjunto com um concentrador ótico, usando qualquer número das características discutidas aqui. Similarmente, alguns dos projetos de gerador termoeletrico solar discutidos explicitamente com referência a um concentrador solar não exigem necessariamente um tal concentrador.

Algumas modalidades de um gerador termoeletrico solar que inclui o uso de um concentrador ótico são ilustradas pelos dispositivos exemplares mostrados nas figuras 5A-5C. Como mostrado na figura 5A, um gerador elétrico solar 510 pode incluir um concentrador ótico, uma estrutura de captura de radiação, um elemento conversor termoeletrico e uma estrutura de reforço. Para o dispositivo particular representado na figura 5A, o concentrador ótico é personificado como um elemento transmissivo 511, isto é, um elemento capaz de transmitir a radiação solar através dele. Elementos transmissivos podem ser lentes de geração de imagem ou não ou outras estruturas transmissivas capazes de concentrar e direcionar a radiação solar. Como representado na figura 5A, a radiação solar incidente 517 pode ser concentrada pelo elemento transmissivo 511 em radiação solar concentrada 518 direcionada sobre uma estrutura de captura solar 512 da estrutura de captura de radiação. Nesse exemplo, o concentrador ótico 511 compreende uma

lente ótica convergente com a estrutura de captura de radiação 512 posicionada em proximidade do seu foco para receber a radiação solar concentrada. A concentração da radiação solar pode permitir potencialmente o uso de uma menor superfície de captura solar relativa aos projetos que utilizam radiação solar incidente. Tal captura da radiação solar pode resultar no aquecimento da estrutura de captura de radiação, que pode, por sua vez, aquecer as extremidades termicamente acopladas dos elementos do tipo n e do tipo p 514, 515 do conversor termoelétrico 516. A estrutura de reforço pode ser configurada como uma estrutura de combinação de elétrodo/difusor térmico 513, que pode prover o acoplamento elétrico entre os elementos do tipo n e do tipo p 514, 515 e o acoplamento térmico em um dissipador térmico para diminuir a temperatura das extremidades opostas do elemento conversor.

Uma outra modalidade de um gerador elétrico solar é representada na figura 5B. Para o gerador elétrico solar 520, um conjunto de elementos refletivos 521, 522 age como um concentrador solar. Elementos refletivos podem agir para redirecionar a radiação sem a radiação passar substancialmente através do elemento. Espelhos e estruturas com outros tipos de revestimentos refletivos podem agir como um elemento refletivo. Para a modalidade particular mostrada na figura 5B, a radiação solar incidente 517 é direcionada pela estrutura 524 para a superfície espelhada 521, que é disposta nesse exemplo em proximidade ao lado de baixa temperatura do conversor termoelétrico 525. A estrutura 524, que é opcionalmente transparente e/ou semelhante a um quadro, pode suportar o espelho e direcionar a radiação solar para baixo de modo que a difusão do calor pode ser realizada por um substrato inferior. O elemento refletivo de radiação 521 reflete a radiação incidente sobre ele para o elemento refletivo 522, que por sua vez reflete a radiação solar sobre a superfície de captura da radiação 523 para aquecer uma extremidade de alta temperatura do conversor termoelétrico 525. Em alguns casos, o elemento refletivo 521 pode ter uma forma curvada, por exemplo, uma superfície refletiva parabólica que faz com que a luz refletiva seja concentrada sobre o elemento refletivo 522 (que pode ser colocado, por exemplo, em proximidade ao centro de curvatura do elemento refletivo 521).

Tal radiação solar concentrada é então direcionada através do elemento refletivo 522, que pode, em alguns casos, também proporcionar sua própria concentração da radiação solar, sobre a estrutura de captura da radiação 523.

5 Uma alternativa para um concentrador ótico é utilizada na modalidade ilustrada pela figura 5C. Um gerador elétrico solar 530 pode incluir um transmissor de coleta solar 531 para coletar e concentrar a radiação solar incidente. O transmissor de coleta solar 531 pode ser acoplado rente a uma estrutura de captura de radiação 532 (por exemplo, ficando em contato ou
10 tendo um espaço muito pequeno ou tendo um material fino no meio) para canalizar diretamente a radiação solar concentrada para a estrutura de captura, potencialmente resultando em transferência de energia mais eficiente. Pode existir o contato direto entre a estrutura de captura 532 e o transmissor 531. Alternativamente, um isolante térmico fino (por exemplo, feito de vidro
15 poroso ou um material polimérico) pode ser alojado entre as estruturas 531, 532. A modalidade ilustrada pode também ser praticada sem a necessidade de encapsular o dispositivo em um ambiente evacuado por causa do acoplamento térmico mais próximo com o elemento do conversor termoeletrico 533. Igualmente, quando a concentração da energia solar é alta (por exemplo, mais do que 10 vezes ou 50 vezes a radiação solar incidente), as perdas
20 por convecção são menos importantes. É entendido, entretanto, que o dispositivo também poderia ser utilizado em um ambiente evacuado.

Algumas modalidades são direcionadas para geradores elétricos solares nos quais os conversores termoeletricos ficam alinhados em configurações alternadas relativas a essas representadas nas figuras 5A-5C. Como
25 mostrado na figura 6A, um conversor termoeletrico 614 pode ser configurado de modo que os seus elementos (membros) do tipo n e do tipo p 614a, 614b ficam alinhados ao longo de uma trajetória de modo a ter duas extremidades 601. Como particularmente exemplificado na figura 6A, as extremidades 601 dos dois membros definem uma extensão substancialmente linear. Aqui os
30 elementos são um membro do tipo p 614a e um membro do tipo n 614b, cada membro sendo caracterizado por uma direção alongada (aqui também

citada como axial), embora outras configurações de membro possam também ser utilizadas, tal como formas curvadas. Nesse exemplo, os membros são dispostos em um plano comum com suas direções axiais substancialmente coalinhadas. De forma mais geral, tais membros com direções axiais podem ser dispostos em um plano comum em um ângulo relativo um ao outro, onde o ângulo pode variar de 0 grau (isto é, coalinhado) para menos do que aproximadamente 180 graus, ou aproximadamente 45 graus a aproximadamente 180 graus ou aproximadamente 90 graus a aproximadamente 180 graus. Em outras modalidades, três ou mais membros podem ser acoplados em ângulos relativos variados. Na figura 6A, os membros 614a, 614b são alinhados em uma configuração linear. Em particular, os membros 614a, 614b podem ser horizontalmente dispostos em relação aos membros mostrados nas figuras 5A – 5C, que são verticalmente orientados. Uma tal configuração pode proporcionar uma série de vantagens potenciais. Por exemplo, os membros horizontalmente orientados podem proporcionar uma estrutura mecânica mais robusta de face a face utilizando membros verticalmente orientados desde que todo o alojamento do dispositivo para o conversor termoelétrico pode ter um perfil menor. A configuração de perfil menor pode ajudar na construção das configurações de painel plano para geradores elétricos solares e/ou proporcionar um menor volume para encapsulação quando tais modalidades também utilizam um ambiente evacuado, como discutido aqui.

Como representado na figura 6A, os elementos 614a, 614b compartilham uma junção 617 localizada entre as extremidades 601 do conversor termoelétrico 614. Para a modalidade mostrada aqui, a junção 617 inclui um coletor térmico 616 agindo como uma estrutura de captura, embora a junção possa também incluir outros tipos de elementos para proporcionar o acoplamento térmico e/ou elétrico entre os elementos 614a, 614b. Alternativamente, os elementos do tipo p e do tipo n 614a, 614b podem ficar em contato físico para produzir a junção. Um ou mais coletores de radiação podem ser usados para coletar e capturar a radiação incidente e direcionar a radiação concentrada sobre o conversor termoelétrico de modo a aquecer a junção. Para o caso específico da figura 6A, uma lente 611 direciona a radiação

solar concentrada sobre o coletor térmico 616, o que pode resultar na geração de calor no coletor 616. Como o coletor térmico 616 é termicamente acoplado com a junção 617, ele transfere o calor gerado nele (ou pelo menos uma porção de tal calor) para a junção, dessa forma submetendo a junção 617 a uma temperatura elevada. Um coletor térmico 616 pode também ser um absorvedor de radiação solar, enquanto tendo baixa emissividade, como descrito com relação às outras modalidades aqui. Um exemplo de um tal material de coletor térmico é uma ou mais camadas de grafite ao carbono. Além do que, as estruturas 612, 613 podem agir como difusores de calor para manter as extremidades acopladas dos elementos 614a, 614b em uma temperatura menor, permitindo que o conversor termoeletrônico 614 gere eletricidade.

É entendido que uma ampla variedade de geometrias pode ser utilizada como uma estrutura de captura, que pode agir como um concentrador térmico para direcionar a energia térmica para uma junção, como mostrado nas figuras 6A e 6B. Em algumas modalidades, pode ser vantajoso utilizar uma estrutura de captura que tenha uma área de captura relativamente grande em relação à junção onde a energia térmica é direcionada. A figura 6C mostra esquematicamente um exemplo de uma estrutura de captura como um elemento termicamente condutivo 630 que pode ser termicamente acoplado na junção 640 do conversor termoeletrônico 650 para transferir o calor gerado nele devido à exposição à radiação solar para a junção 640. O elemento termicamente condutivo 630 tem uma forma semelhante a cogumelo com uma porção de captura de radiação 632 que pode gerar calor em resposta à exposição à radiação solar. Outras formas podem ser utilizadas também. Uma haste termicamente condutiva 634 adaptada para acoplamento térmico na junção 640 proporciona uma trajetória térmica entre a porção de captura de radiação 632 e a junção 640. Outros exemplos de estruturas de captura com maiores áreas de captura para captura da radiação solar em relação às áreas da junção podem também ser utilizados.

Embora o dispositivo 610 mostrado na figura 6A utilize um conversor termoeletrônico, deve ser entendido que outras modalidades podem uti-

lizar uma pluralidade de conversores termoeletricos. Um exemplo de uma tal configuração é mostrado na figura 6B, que representa dois conversores termoeletricos 614, 615 em um gerador elétrico solar 620. Cada um dos conversores 614, 615 pode ter um membro do tipo p 614a, 615b e um membro do tipo n 614b, 615a, onde os membros do tipo p e n correspondentes são térmica e eletricamente acoplados. Os conversores 614, 615 compartilham uma junção comum 618 que inclui um condutor térmico 616. Nessa modalidade, os membros do tipo p e do tipo n dos dois conversores são dispostos substancialmente em um plano comum. A junção 618 fica localizada entre as extremidades 602, 603 dos conversores 615, 614. O concentrador ótico 611 direciona a radiação solar sobre o condutor térmico, e, portanto, a junção 618 para aquecer as extremidades dos membros do conversor 614a, 614b, 615a, 615b, isto é, as extremidades de alta temperatura dos conversores 614, 615. Nesse exemplo, o concentrador ótico compreende uma lente ótica convergente que é posicionada em relação aos conversores termoeletricos 615, 614, tal que o seu eixo geométrico principal PA fica substancialmente paralelo ao plano comum no qual os membros termoeletricos do tipo p e do tipo n são dispostos. A orientação empilhada e horizontal dos conversores 614, 615 pode agir para ajudar no projeto de geradores elétricos solares de pequeno perfil, mais robustos mecanicamente.

Para os vários elementos representados nas figuras 5A, 5B, 5C, 6A, 6B e 6C, tais elementos podem incluir qualquer uma das características ou variações associadas com tais elementos como descrito com relação às várias outras modalidades da presente invenção. Dessa maneira, o uso de uma ou mais superfícies de baixa emissividade, a configuração dos dispositivos em uma configuração de painel plano, a encapsulação dos dispositivos ou porções do mesmo em um ambiente isolado (por exemplo, evacuado) e a distribuição espacial dos conversores termoeletricos podem ser implementados em qualquer combinação, por exemplo.

Da mesma forma, as modalidades mostradas nas figuras 5A, 5B, 5C, 6A, 6B e 6C podem utilizar componentes adicionais para melhorar o desempenho do gerador elétrico solar. Por exemplo, como mostrado na figu-

ra 6A, em algumas modalidades, um aparelho de rastreo solar 660 pode ser incluído para manter a radiação solar incidente sobre um ou mais elementos do concentrador solar 611. Tipicamente, o aparelho de rastreo solar pode incluir um mecanismo 665 para mover um ou mais elementos de um concentrador solar 611 para rastrear o movimento do sol para ajudar a melhorar a captura solar. Alternativamente, um aparelho de rastreo solar pode também ser usado nos sistemas sem um concentrador solar. Em tais casos, um módulo termoeletrico pode incluir uma superfície de captura solar na qual o aparelho de rastreo pode mover a superfície de captura para manter a colisão da radiação solar incidente na superfície. Embora algumas das modalidades discutidas aqui possam ser configuradas para serem usadas sem um dispositivo de rastreo, é entendido que dispositivos de rastreo solar podem ser usados geralmente em conjunto com qualquer uma das modalidades reveladas aqui a menos que explicitamente proibido.

Outras modalidades da invenção são direcionadas para geradores elétricos solares que utilizam uma pluralidade de coletores solares que podem concentrar a radiação solar em uma pluralidade de regiões para prover aquecimento para uma ou mais estruturas de captura solar. Algumas modalidades utilizam uma pluralidade de coletores solares refletivos tal como exemplificado na figura 7. Como representado, uma pluralidade de coletores solares 710, 729 é personificada como um conjunto ou superfícies espelhadas 713, 715, 723, 725 configuradas para formar uma pluralidade de canais 711, 721. Módulos termoeletricos separados 717, 727 podem ficar localizados nos canais 711, 721. As superfícies espelhadas 713, 715, 723, 725 podem refletir a radiação solar para dentro dos canais 711, 721, tal que a radiação solar colide sobre uma superfície de captura de cada um dos módulos termoeletricos 717, 727. Essa disposição dos conversores termoeletricos e dos concentradores óticos pode ser estendida além dessa mostrada na figura. Nesse caso, duas superfícies refletivas inclinadas 715, 723 dos coletores solares 710 e 720, que se defrontam, convergem a energia ótica sobre uma superfície de captura de radiação do conversor termoeletrico 717. Similarmente, muitos dos outros conversores termoeletricos podem receber

a radiação solar concentrada através da reflexão da radiação a partir de duas superfícies refletivas opostas de dois concentradores óticos. Uma tal configuração pode ser usada para proporcionar concentração de radiação solar de baixo nível (por exemplo, um fluxo solar maior do que um e até aproximadamente 4 vezes a radiação solar incidente). Os coletores solares podem ser adaptados, tal que como o sol e a terra se movem em relação um ao outro, uma quantidade substancial de radiação solar pode ser continuamente coletada nos canais. Dessa maneira, o uso de um rastreador solar pode ser evitado em algumas aplicações dessas modalidades, embora em outras aplicações, um tal rastreador possa ser utilizado. Em uma modalidade alternativa, o coletor em formato de V da figura 7 pode ser utilizado como um coletor secundário, onde um grande concentrador solar com um dispositivo de rastreio solar é usado para projetar a radiação solar sobre o coletor em formato de V. Igualmente, um coletor em formato de V pode ser reduzido para ser adaptado em um ambiente isolado circundado por uma estrutura de barreira.

A pluralidade de módulos termoeletrônicos mostrados na figura 7 é personificada como dispositivos de painel plano, cada um encapsulado em um ambiente evacuado. É entendido que outras configurações modulares, incluindo qualquer um dos dispositivos ou características de dispositivos reveladas aqui, podem ser utilizadas ao invés disso. Em algumas modalidades, entretanto, o módulo pode ser escolhido para ser consistente com o fluxo solar que pode ser gerado por tais coletores solares (por exemplo, módulos que operam usando fluxos de radiação solar de 1 a aproximadamente 4 vezes os valores da radiação solar incidente, que podem depender dos ângulos de coleta). É também entendido que embora a figura 7 represente uma disposição bidimensional, os canais podem também ser personificados em uma disposição tridimensional, onde cada canal é mais semelhante a um poço, permitindo uma distribuição tridimensional dos módulos elétricos solares.

Outras modalidades de um gerador elétrico solar utilizando uma pluralidade de coletores solares podem ser configuradas usando tipos dife-

rentes de coletores solares em disposições diferentes. Por exemplo, um gerador elétrico solar 810 é representado em uma vista em perspectiva na figura 8A e em uma vista de seção transversal parcial na figura 8B. Um conjunto 820 de coletores solares personificado como uma pluralidade de estruturas de lente 825 serve para capturar a radiação solar incidente. Cada uma das estruturas de lente 825 pode concentrar e direcionar a radiação solar sobre um módulo termoeletrico 830, onde para cada estrutura de lente 825, um módulo respectivo 830 é provido. Cada módulo 830 pode ser personificado em qualquer número de configurações, incluindo qualquer uma das configurações descritas no presente pedido. Como representado na figura 8B, cada módulo 830 pode ser configurado como um conjunto de conversores termoeletricos em uma orientação horizontal, como mostrado nas figuras 6A e 6B. Dessa forma, as estruturas de lente 825 podem ser adaptadas para direcionar a radiação solar sobre as junções correspondentes dos módulos 830. Os módulos 830 podem ser acoplados em uma estrutura de reforço 840, que pode ser opcionalmente configurada como um dissipador de calor para manter as extremidades 831 dos conversores em uma temperatura menor relativa às extremidades de alta temperatura 832. Como as modalidades exemplificadas pela figura 7, o uso das múltiplas estruturas de lente 825 pode direcionar a radiação solar para uma localização específica e potencialmente aliviar a necessidade de um dispositivo de rastreo solar.

Embora as figuras 7 e 8 exemplifiquem algumas modalidades exemplares nas quais uma pluralidade de concentradores é usada com uma pluralidade de módulos termoeletricos, deve ser entendido que os concentradores podem ser também configurados para serem usados com um módulo termoeletrico único. Um exemplo de uma tal configuração é mostrado na figura 9. Um conjunto de coletores solares exemplificados como estruturas de lente 920 pode ser usado para capturar e concentrar a radiação solar incidente sobre um módulo termoeletrico 910, que pode ser usado para criar eletricidade a partir da radiação solar concentrada. Um tal módulo pode incluir qualquer número das características descritas com relação ao módulo representado na figura 1 (por exemplo, superfícies de baixa emissividade,

configuração de painel plano e/ou o ambiente evacuado). Para a configuração particular representada na figura 9, o módulo 910 pode incluir agrupamentos 916 de membros do tipo p e membros do tipo n 915 que são separados em relação a uma estrutura de captura 913. Cada estrutura de lente 920
5 pode ser adaptada para direcionar a radiação solar concentrada sobre uma porção 911 da superfície de coleta solar da estrutura de captura, onde a porção pode corresponder com a localização próxima de um agrupamento 916 dos membros 915. É entendido que variações no projeto do sistema representado na figura 9 (como é o caso para as figuras 7 e 8) podem ser utilizadas consistentes com as modalidades da presente invenção. Por exemplo,
10 uma configuração diferente de coletores solares (por exemplo, usando superfícies refletivas apropriadamente configuradas) poderia ser utilizada ao invés das estruturas de lente. Um concentrador ótico pode ser usado com relação ao módulo mostrado na figura 9 da mesma forma. Em um tal caso, o
15 foco/ponto de luz concentrada pode se mover seguindo o sol se o dispositivo não utiliza o rastreo. Uma unidade termoeétrica no conjunto pode produzir maior eficiência devido ao tamanho reduzido e, portanto, uma menor perda por radiação.

Embora as modalidades representadas nas figuras 7 – 9 tenham
20 mostrado o uso de uma variedade de configurações de módulo termoeétrico com concentradores solares, outros projetos de módulo são também possíveis. Um projeto de módulo alternativo e seu uso são representados nas figuras 10A e 10B. Como mostrado na figura 10A, um coletor solar 1010, que pode ser personificado como uma lente Fresnel ou algum outro tipo de elemento difrativo, é usado para focalizar a radiação solar concentrada sobre
25 um módulo termoeétrico 1020, que pode ser termicamente acoplado em um difusor de calor 1030 (ou mais genericamente acoplado em uma estrutura de suporte). Outros tipos de coletores solares potenciais incluem usar um ou mais elementos de lente, elementos refletivos e/ou elementos refrativos. Em
30 algumas modalidades, o módulo termoeétrico 1020 pode ser removivelmente acoplado (por exemplo, mecânica, térmica e/ou eletricamente) no difusor de calor 1030. Dessa forma, o módulo 1020 pode ser substituído facilmente

no difusor de calor para a manutenção otimizada de um tal sistema.

Uma visão mais detalhada do módulo termoeletrico 1020 é provida na caixa aumentada 1025 na figura 10A. O módulo 1020 pode incluir uma estrutura de barreira 1021 (nesse caso, uma estrutura semelhante a bulbo) que circunda o módulo 1020 em um ambiente isolado. O ambiente isolado pode ser um ambiente evacuado em relação à pressão atmosférica ou pode compreender uma atmosfera que tem baixa condutância térmica em relação à atmosfera ambiente. Exemplos podem incluir o uso de gases tendo baixas capacidades térmicas, tal como um gás inerte. Materiais termicamente isolantes podem também ser incorporados dentro da estrutura de barreira 1021 para reduzir a perda por calor das extremidades de alta temperatura do módulo termoeletrico. A barreira pode ser adaptada para ser pelo menos parcialmente transmissiva à radiação solar, onde a barreira pode incluir qualquer número de características como descrito para a encapsulação com relação à figura 1. Para a configuração particular mostrada na figura 10A, a estrutura de barreira 1021 forma pelo menos parte de um invólucro semelhante a bulbo, outras configurações geométricas também são consideradas. A estrutura de barreira 1021 pode, opcionalmente, incluir uma estrutura de lente 1026, que pode também direcionar e/ou concentrar a radiação solar impingindo na estrutura de barreira 1021. Dentro do invólucro, uma estrutura de captura de radiação 1023 pode ser acoplada nos membros 1022 de um conversor termoeletrico. A radiação solar impingindo na estrutura de barreira 1021 pode ser direcionada sobre a estrutura de captura para gerar calor e manter uma extremidade dos membros 1022 em uma temperatura relativamente alta. A eletricidade gerada pelos membros 1022 do conversor pode ser acoplada em uma carga elétrica através dos elétrodos 1024.

Módulos termoeletricos que utilizam a estrutura de barreira exemplificada na figura 10A podem propiciar uma série de vantagens. O módulo pode ser configurado de maneira compacta, tendo um volume reduzido (por exemplo, em relação ao volume de uma configuração de painel plano maior) para facilitar a facilidade de manter um ambiente evacuado. O uso de um concentrador solar (por exemplo, concentradores solares que proporcio-

nam um alto grau de concentração tal como maior do que aproximadamente dez vezes a radiação solar incidente) pode permitir o uso de estruturas de captura menores para a concentração térmica, o que possibilita o uso de volumes menores. Como mencionado previamente, tais estruturas compactas podem também ser de natureza modular, permitindo a facilidade de substituição de tais módulos. Esse aspecto pode ser particularmente vantajoso nas configurações que incluem uma multiplicidade de módulos. Por exemplo, o sistema representado nas figuras 8A e 8B pode utilizar o módulo encapsulado 1020 da figura 10A, ao invés do módulo 830. Isso pode prover a facilidade de manutenção se um módulo se quebra. É entendido, entretanto, que o módulo 830 das figuras 8A e 8B pode também ficar contido em uma configuração modular substituível que é encapsulada.

Uma variedade de outras configurações é considerada além do que é mostrado na figura 10A, incluindo essas modificações evidentes para o versado na técnica. Por exemplo, o concentrador de lente Fresnel pode ser configurado como uma estrutura plana 1010, como representada na figura 10A ou como uma estrutura tendo uma curva 1015, como mostrado na figura 10B. Igualmente, outros tipos de concentradores óticos além das lentes Fresnel podem ser usados, tal como outros tipos de elementos difrativos. Como mostrado na figura 10C, um dispositivo elétrico solar 1060 pode utilizar dois refletores 1040, 1050 como uma radiação solar direta do coletor solar para o módulo termoeletrico 1020, similar ao que é mostrado como descrito com relação à figura 5B. O difusor de calor 1070 pode ser termicamente acoplado no ambiente para produzir um dissipador de calor. Da mesma forma, projetos encapsulados podem utilizar um rastreador solar, como discutido aqui, para manter a radiação solar em uma porção da estrutura encapsulada. Tais projetos podem ajudar na manutenção de um nível particular de radiação solar concentrada na estrutura encapsulada (por exemplo, pelo menos 10 vezes a radiação solar incidente). Todas essas variações, e outras, estão dentro do escopo da presente descrição.

Uma outra configuração modular para uso com as várias modalidades elétricas solares discutidas aqui é representada na figura 11. Um

concentrador solar para uso no direcionamento e concentração da radiação solar pode incluir um elemento refletivo 1140 (por exemplo, um espelho parabólico). Um outro elemento ótico 1130 (por exemplo, uma lente convergente) pode também ser usado para direcionar a radiação solar incidente para o elemento refletivo 1140. O elemento refletivo 1140 pode concentrar e direcionar, por sua vez, a radiação solar incidente sobre o módulo termoeletrico 1110. O módulo 1110, que pode ser opcionalmente encapsulado em um invólucro 1120 para prover um ambiente evacuado em relação à pressão atmosférica, pode incluir uma estrutura de captura de radiação 1130, que pode incluir uma ou mais superfícies para absorver a radiação solar. A estrutura de captura pode gerar calor com a exposição à radiação solar. A estrutura de captura pode incluir um ou mais elementos projetados 1135 que podem ser adaptados para receber um pouco da radiação solar refletida pelo elemento refletivo 1140 e pode ainda ser configurada para gerar calor pela absorção de pelo menos uma porção do espectro de radiação solar. Por exemplo, como representado na figura 11, o elemento projetado 1135 é substancialmente perpendicular à superfície plana 1133 da estrutura de captura 1130. Dessa maneira, o espelho parabólico não precisa ser configurado para direcionar a luz somente para uma superfície plana, mas pode também direcionar a luz sobre as superfícies projetadas. Um tal projeto pode ser vantajoso desde que ele pode proporcionar flexibilidade nas exigências nos projetos de coletor solar e pode aumentar a capacidade de geração de calor de uma estrutura de captura. Um elemento projetado pode permitir que uma estrutura de captura absorva a radiação solar proveniente de uma multiplicidade de ângulo e direções (por exemplo, incluindo direções que não podem ser capturadas por uma superfície plana única). Um ou mais conversores termoeletricos 1160 podem ser acoplados na estrutura de captura 1130, com uma extremidade do conversor termicamente acoplada na estrutura de captura e uma outra extremidade acoplada em um difusor de calor 1150. O elemento projetado pode ser composto e projetado de acordo com qualquer uma das estruturas de captura reveladas no presente pedido (por exemplo, um metal ou outro material com alta absorvência solar seletiva e/ou baixa emissivida-

de à luz infravermelha). Igualmente, o projeto de um módulo com um elemento projetado pode ficar em um módulo que pode ser removivelmente acoplado como discutido com relação às figuras 10A – 10C.

5 O exemplo seguinte é provido para ilustrar algumas modalidades da invenção. O exemplo não é planejado para limitar o escopo de quaisquer modalidades (ou modalidade) particulares utilizadas e não é planejado para indicar necessariamente um desempenho ótimo de um gerador termoeletrico de acordo com os ensinamentos da invenção.

10 A figura 13A ilustra um protótipo de um gerador termoeletrico e o seu desempenho. A figura 13A é um esquemático do protótipo. O gerador feito de um par de elementos termoeletricos do tipo p e do tipo n comercialmente disponíveis. Uma espessura de ~1 mm é utilizada nos nossos elementos termoeletricos. A espessura dos membros pode ser de 20 microns e até 5 mm. Um absorvedor seletivo feito de cobre é preso no topo dos mem-
15 bros e também serve como uma interligação elétrica. O aparelho experimental foi testado dentro de uma câmara de vácuo. A saída de potência do par dos membros sob uma iluminação de ~1000 W/m² é mostrada na figura 13B e a eficiência é mostrada na figura 13C. Esse protótipo não usou placas paralelas e não tentou aumentar a refletibilidade do lado posterior do absorvedor. Adotando essas medidas, entre outras que são reveladas no presente
20 pedido, eficiências mais altas podem ser potencialmente atingidas.

Embora modalidades específicas da invenção exposta tenham sido discutidas, o relatório descritivo acima é ilustrativo e não restritivo. Muitas variações da invenção se tornarão evidentes para aqueles versados na
25 técnica com a revisão desse relatório descritivo. O escopo completo da invenção deve ser determinado por referência às reivindicações, junto com seu escopo completo de equivalentes, e o relatório descritivo, junto com tais variações. A menos que de outra maneira indicado, todos os números expressando quantidades de ingredientes, condições de reação e assim por
30 diante usados no relatório descritivo e reivindicações devem ser entendidos como sendo modificados em todos os casos pelo termo "aproximadamente". Dessa maneira, a menos que indicado o contrário, os parâmetros numéricos

apresentados nesse relatório descritivo e reivindicações anexas são aproximações que podem variar dependendo das propriedades desejadas pesquisadas para serem obtidas pela presente invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Gerador elétrico solar, compreendendo:
 - um invólucro evacuado,
 - uma estrutura de captura de radiação disposta pelo menos par-
- 5 cialmente no dito invólucro, a dita estrutura de captura de radiação tendo uma superfície frontal e uma superfície posterior, a dita superfície frontal sendo adaptada para exposição à radiação solar de modo a gerar calor, pelo menos um conversor termoelétrico disposto pelo menos
- parcialmente no dito invólucro e termicamente acoplado na dita estrutura em
- 10 uma extremidade de alta temperatura da mesma para receber pelo menos uma porção do dito calor gerado, tal que um diferencial de temperatura é atingido através do pelo menos um conversor termoelétrico,
- sendo que pelo menos uma porção de cada uma das ditas su-
- perfícies frontal e posterior exibe uma emissividade menor do que aproxima-
- 15 damente 0,1 para comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1,5 microns.
2. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a dita superfície frontal exibe uma condutividade térmica lateral maior do que aproximadamente 20 W/m K.
- 20 3. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a dita superfície frontal exibe uma condutividade térmica lateral em uma faixa de aproximadamente 20 W/m K a aproximadamente 400 W/m K.
4. Gerador elétrico solar, da reivindicação 1, no qual as ditas
- superfícies exibem a dita emissividade sobre uma faixa de temperatura de
- 25 aproximadamente 0°C a aproximadamente 500°C.
5. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que as ditas superfícies exibem a dita emissividade sobre uma faixa de temperatura de aproximadamente 50°C a aproximadamente 300°C.
6. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em
- 30 que as ditas superfícies exibem a dita emissividade sobre uma faixa de temperatura de aproximadamente 100°C a aproximadamente 300°C.
7. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em

x. que a emissividade exibida por pelo menos uma das superfícies é menor do que aproximadamente 0,05.

8. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a emissividade exibida por pelo menos uma das superfícies é menor do
5 que aproximadamente 0,02.

9. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a emissividade exibida por pelo menos uma das superfícies é menor do que aproximadamente 0,01.

10. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a dita superfície frontal exibe uma absorvência à radiação solar maior do
10 que aproximadamente 80%.

11. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a dita superfície frontal exibe uma absorvência à radiação solar maior do que aproximadamente 90%.

12. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a dita superfície frontal exibe uma absorvência à radiação solar maior do
15 que aproximadamente 95%.

13. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo uma estrutura de suporte para acoplar a uma extremida-
20 de de baixa temperatura do dito conversor termoelétrico, a dita estrutura de suporte compreendendo:

uma superfície interna adaptada para defrontar-se com a dita superfície posterior da estrutura de captura de radiação,

sendo que a dita superfície frontal da estrutura de suporte exibe
25 uma emissividade menor do que aproximadamente 0,1 para comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1,5 microns.

14. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 13, em que a estrutura de suporte é adaptada como um difusor de calor para remo-
30 ver o calor da extremidade de baixa temperatura do dito conversor termoelétrico.

15. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 13, em que a dita estrutura de suporte é termicamente acoplada em um dissipador

de calor.

16. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 13, em que a diferença de temperatura entre as extremidades de alta temperatura e de baixa temperatura do dito conversor termoelétrico é pelo menos aproximadamente 50°C.

17. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 13, em que a diferença de temperatura entre as extremidades de alta temperatura e de baixa temperatura do dito conversor termoelétrico é pelo menos aproximadamente 100°C.

18. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 13, em que a diferença de temperatura entre as extremidades de alta temperatura e de baixa temperatura do dito conversor termoelétrico é pelo menos aproximadamente 150°C.

19. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 13, em que a diferença de temperatura entre as extremidades de alta temperatura e de baixa temperatura do dito conversor termoelétrico é pelo menos aproximadamente 200°C.

20. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 13, em que a diferença de temperatura entre as extremidades de alta temperatura e de baixa temperatura do dito conversor termoelétrico é pelo menos aproximadamente 250°C.

21. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a dita superfície frontal da estrutura de captura de radiação é adaptada para absorver a radiação solar com comprimentos de onda menores do que aproximadamente 3 microns.

22. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que a dita superfície frontal da estrutura de captura de radiação é adaptada para absorver a radiação solar com comprimentos de onda em uma faixa de aproximadamente 50 nm a aproximadamente 3 microns.

23. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo pelo menos um elemento difusor de calor disposto entre as ditas superfícies frontal e posterior da estrutura de captura de radiação.

24. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 23, em que o dito pelo menos um elemento difusor de calor provê uma condutividade térmica lateral na estrutura de captura de radiação tendo um valor maior do que aproximadamente 20 W/m K.

5 25. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que o dito conversor termoeletrico compreende um membro do tipo p e um membro do tipo n unidos por uma junção.

26. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 25, em que a dita junção é termicamente acoplada na dita estrutura de captura de
10 radiação.

27. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, em que o dito gerador elétrico solar exibe uma conversão de energia solar de pelo menos aproximadamente 4%.

28. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo pelo menos um condutor eletricamente condutivo acoplado no dito conversor termoeletrico para extrair a energia elétrica gerada pelo dito conversor.
15

29. Gerador elétrico solar, compreendendo:
uma estrutura de captura de radiação tendo uma superfície frontal e uma superfície posterior, a dita superfície frontal sendo adaptada para
20 exposição à radiação solar de modo a gerar calor, cada uma das ditas superfícies frontal e posterior tendo pelo menos uma porção exibindo uma emissividade menor do que aproximadamente 0,1 para comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1,5 microns,

25 uma pluralidade de conversores termoeletricos termicamente acoplados na dita estrutura de captura de radiação tal que cada conversor recebe pelo menos uma porção do dito calor gerado para criar um diferencial de temperatura entre as suas extremidades de alta temperatura e de baixa temperatura,

30 sendo que uma disposição espacial dos conversores relativa à dita estrutura de captura de radiação é adaptada tal que um diferencial de temperatura de pelo menos aproximadamente 50°C é gerado entre as ex-

tremidades de alta temperatura e de baixa temperatura de cada conversor em resposta à radiação solar incidente na dita estrutura de captura de radiação, as extremidades de baixa temperatura dos ditos conversores sendo mantidas em uma temperatura abaixo de aproximadamente 90°C.

5 30. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29, em que as extremidades de baixa temperatura dos ditos conversores são mantidas em uma temperatura abaixo de aproximadamente 70°C.

 31. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29, em que as extremidades de baixa temperatura dos ditos conversores são mantidas em uma temperatura abaixo de aproximadamente 50°C.

10 32. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29, em que o gerador elétrico solar exibe uma eficiência maior do que aproximadamente 4%.

 33. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29, em que o gerador elétrico solar exibe uma eficiência maior do que aproximadamente 7%.

 34. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29, em que a emissividade de pelo menos uma porção das ditas superfícies frontal e posterior da dita estrutura de captura de radiação é menor do que aproximadamente 0,1 para comprimentos de onda maiores do que aproximadamente 1,5 microns.

 35. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29, em que cada um dos ditos conversores compreende um membro do tipo p e um membro do tipo n, os membros sendo acoplados em uma junção.

25 36. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 35, em que a junção compreende uma estrutura metálica interligando o membro do tipo p e o membro do tipo n.

 37. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 35, em que pelo menos um do membro do tipo p e do membro do tipo n é caracterizado por uma razão de área para comprimento da seção transversal em uma faixa de aproximadamente 0,0001 metros a aproximadamente 1 metro.

 38. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29,

ainda compreendendo uma estrutura de suporte na qual a extremidade de baixa temperatura de cada conversor é acoplada.

39. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 38, em que os ditos conversores exibem uma condutância térmica coletiva menor do que aproximadamente 20% da condutância térmica total entre a dita estrutura de captura de radiação e a dita estrutura de suporte.

40. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29, em que a dita estrutura de captura de radiação é caracterizada por uma área de captura e a pluralidade de conversores termoeletrônicos é caracterizada por uma área do conversor, a razão da área de captura para a área do conversor sendo maior do que aproximadamente 100.

41. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 40, em que a razão da área de captura para a área do conversor é maior do que aproximadamente 400.

42. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 40, em que a razão da área de captura para a área do conversor é maior do que aproximadamente 600.

43. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 29, em que a dita pluralidade de conversores termoeletrônicos é encapsulada em um ambiente evacuado relativo à pressão atmosférica.

44. Gerador elétrico solar, compreendendo:
pelo menos um membro termoeletrônico do tipo n e pelo menos um membro termoeletrônico do tipo p termicamente acoplados para formar uma junção, sendo que cada um dos ditos membros é caracterizado por uma direção axial,

o dito pelo menos um membro do tipo n e pelo menos um membro do tipo p sendo dispostos em relação um ao outro tal que o ângulo entre as ditas direções axiais se situa em uma faixa de aproximadamente 0 graus a aproximadamente 180 graus,

pelo menos um coletor de radiação adaptado para coletar e concentrar a radiação solar incidente, o dito pelo menos um coletor de radiação adaptado para direcionar a radiação solar concentrada para a junção.

45. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 44, em que o dito pelo menos um membro do tipo n e pelo menos um membro do tipo p são eletricamente acoplados na junção para formar um conversor termoelétrico.

5 46. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 44, em que o dito pelo menos um membro do tipo n e pelo menos um membro do tipo p são linearmente alinhados.

 47. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 46, em que o dito pelo menos um membro do tipo n e pelo menos um membro do tipo p compreendem uma pluralidade de pares de membros do tipo n e do tipo p, os ditos membros do tipo n e do tipo p de cada par sendo linearmente alinhados e compartilhando uma junção do par.

 48. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 47, em que pelo menos dois pares dos membros do tipo n e do tipo p compartilham uma junção comum.

 49. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 47, em que o dito pelo menos um coletor de radiação compreende uma pluralidade de coletores de radiação adaptados para direcionar a radiação solar concentrada para as junções do par.

20 50. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 44, em que a dita junção compreende um ponto de contato entre o pelo menos um membro do tipo n e pelo menos um membro do tipo p.

 51. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 44, em que a dita junção compreende uma estrutura de captura termicamente acoplada no dito pelo menos um membro do tipo n e pelo menos um membro do tipo p, a estrutura de captura adaptada para absorver a radiação solar concentrada impingida na estrutura de captura para gerar calor.

 52. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 44, em que o dito pelo menos um membro termoelétrico do tipo n e pelo menos um membro termoelétrico do tipo p são alojados em uma configuração de painel plano.

 53. Gerador elétrico solar, compreendendo:

pelo menos um conversor termoeletrico compreendendo um membro termoeletrico do tipo n e um membro termoeletrico do tipo p, os membros alinhados ao longo de uma trajetoria, o membro do tipo n e o membro do tipo p compartilhando uma juncao localizada entre as extremidades do pelo menos um conversor termoeletrico e

pelo menos um coletor de radiação adaptado para coletar e concentrar a radiação solar incidente, o pelo menos um coletor de radiação adaptado para direcionar a radiação solar concentrada para a junção.

54. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 53, em que a trajetória é uma trajetória linear.

55. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 53, em que o pelo menos um conversor termoeletrico fica alojado em uma configuração de painel plano.

56. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 53, em que a dita junção compreende uma estrutura de captura termicamente acoplada no membro do tipo n e no membro do tipo p, a estrutura de captura adaptada para absorver a radiação solar concentrada impingida na estrutura de captura para gerar calor.

57. Gerador elétrico solar, compreendendo:
uma pluralidade de conversores termoeletricos adaptados para gerar eletricidade quando submetidos a um diferencial de temperatura, a pluralidade de conversores termoeletricos sendo termicamente acoplada em uma junção por suas extremidades de alta temperatura e

pelo menos um concentrador ótico adaptado para coletar e concentrar a radiação solar incidente, o concentrador ótico adaptado para direcionar a radiação solar concentrada para a junção.

58. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 57, em que cada conversor termoeletrico compreende um membro do tipo p e um membro do tipo n e a junção compreende um acoplamento entre o membro do tipo p e o membro do tipo n.

59. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 57, em que a pluralidade de conversores termoeletricos é configurada para compar-

tilhar um plano.

60. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 59, em que a pluralidade de conversores termoeletricos é alinhada paralela entre si.

61. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 59, em
5 que a pluralidade de conversores termoeletricos não é alinhada paralela entre si.

62. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 57, em que a pluralidade de conversores termoeletricos fica alojada em uma configuração de painel plano.

10 63. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 57, em que a pluralidade de conversores termoeletricos fica encapsulada em um ambiente isolado.

64. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 63, em que a pluralidade de conversores termoeletricos fica alojada em um módulo
15 removível.

65. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 57, em que a dita junção compreende uma estrutura de captura termicamente acoplada na pluralidade de conversores, a estrutura de captura adaptada para absorver a radiação solar concentrada impingida na estrutura de captura
20 para gerar calor.

66. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 57, ainda compreendendo:

um material de isolamento acoplado em pelo menos uma porção da pluralidade de conversores termoeletricos para reduzir a transferência de
25 calor para eles.

67. Gerador elétrico solar, compreendendo:

uma estrutura de barreira envolvendo um ambiente isolado, a dita estrutura de barreira sendo pelo menos parcialmente transmissiva a um ou mais comprimentos de onda de radiação solar para permitir a transmissão dos ditos comprimentos de onda de radiação no ambiente evacuado,
30 pelo menos um conversor termoeletrico disposto no dito ambiente isolado, e

um concentrador de radiação óticamente acoplado no dito ambiente isolado de modo a direcionar a radiação solar para aquecer uma porção do dito conversor termoelétrico para facilitar a geração de um diferencial de temperatura através do dito conversor.

5 68. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 67, em que a dita estrutura de barreira tem uma forma semelhante a bulbo.

 69. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 67, em que o dito concentrador de radiação compreende pelo menos um elemento de lente adaptado para direcionar a radiação solar para aquecer a dita por-
10 ção do dito conversor termoelétrico.

 70. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 67, em que o dito concentrador de radiação compreende pelo menos um elemento refletivo adaptado para direcionar a radiação solar para aquecer a dita por-
ção do dito conversor termoelétrico.

15 71. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 67, em que o dito concentrador de radiação compreende pelo menos um de um elemento refrativo e um elemento difrativo.

 72. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 67, ainda compreendendo:

20 um rastreador de radiação solar adaptado para mover o dito concentrador de radiação em relação ao dito pelo menos um conversor termoelétrico para manter a exposição da radiação solar para aquecer a dita porção do dito conversor termoelétrico.

 73. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 72, em
25 que o dito concentrador de radiação é adaptado para direcionar a radiação solar concentrada, a radiação solar concentrada sendo pelo menos aproximadamente 10 vezes mais concentrada do que a radiação solar incidente.

 74. Gerador termoelétrico solar, de acordo com a reivindicação 67, ainda compreendendo:

30 um difusor de calor adaptado para acoplar termicamente no dito pelo menos um conversor termoelétrico, o dito difusor de calor adaptado para remover o calor de uma porção do dito pelo menos um conversor termoe-

létrico.

75. Gerador termoelétrico solar, de acordo com a reivindicação 74, em que a dita estrutura de barreira é acoplada de modo removível no dito difusor de calor.

5 76. Gerador termoelétrico solar, de acordo com a reivindicação 74, em que o dito difusor de calor é adaptado para acoplar em uma pluralidade de estruturas de barreira.

77. Gerador termoelétrico solar, de acordo com a reivindicação 74, em que a dita estrutura de barreira é térmica e eletricamente acoplada
10 no dito difusor de calor.

78. Gerador termoelétrico solar, de acordo com a reivindicação 67, em que o ambiente isolado compreende um ambiente com uma capacidade térmica menor do que a pressão atmosférica.

79. Gerador termoelétrico solar, de acordo com a reivindicação
15 78, em que o ambiente isolado compreende um ambiente evacuado relativo à pressão atmosférica.

80. Gerador termoelétrico solar, de acordo com a reivindicação 78, em que o ambiente isolado compreende um material isolante.

81. Gerador termoelétrico solar, de acordo com a reivindicação
20 67, ainda compreendendo:

uma estrutura de captura dentro da estrutura de barreira e termicamente acoplada no pelo menos um conversor termoelétrico, a estrutura de captura adaptada para absorver a radiação solar concentrada proveniente do concentrador de radiação e para gerar calor.

25 82. Gerador elétrico solar, compreendendo:

uma estrutura de captura de radiação tendo uma superfície de absorção de radiação adaptada para exposição à radiação solar para gerar calor,

pelo menos um conversor termoelétrico termicamente acoplado
30 na dita estrutura de captura de radiação para receber pelo menos uma porção do dito calor gerado em uma extremidade do mesmo,

um concentrador ótico óticamente acoplado na dita estrutura de

captura de radiação de modo a direcionar a radiação solar para ela,
 em que a dita estrutura de captura compreende pelo menos um
 elemento projetado adaptado para receber pelo menos uma porção da radi-
 ação direcionada pelo dito concentrador ótico sobre a dita estrutura, o dito
 5 pelo menos um elemento projetado gerando calor em resposta à exposição
 à radiação solar.

83. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 82, em
 que o dito pelo menos um elemento projetado é termicamente acoplado na
 dita extremidade do conversor termoelétrico de modo a transferir pelo menos
 10 uma porção do dito calor gerado para ele.

84. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 82, em
 que o dito pelo menos um elemento projetado é disposto substancialmente
 ortogonal a uma tangente à dita superfície de absorção de radiação.

85. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 82,
 15 ainda compreendendo um invólucro evacuado em que o dito conversor ter-
 moelétrico é disposto.

86. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 82, em
 que o dito concentrador ótico compreende um coletor de espelho parabólico.

87. Gerador elétrico solar, compreendendo:
 20 pelo menos uma estrutura de captura de radiação adaptada para
 gerar calor com a absorção da radiação solar, a pelo menos uma estrutura
 de captura de radiação compreendendo uma superfície de captura solar a-
 daptada para capturar a radiação solar e para gerar calor na estrutura de
 captura de radiação,

25 uma pluralidade de elementos conversores termoelétricos adap-
 tados para serem termicamente acoplados na pelo menos uma estrutura de
 captura de radiação, os elementos conversores termoelétricos ainda adapta-
 dos para gerarem eletricidade com a exposição ao calor proveniente da es-
 trutura de captura de radiação; e

30 uma pluralidade de coletores solares adaptados para coletar e
 concentrar a radiação solar incidente, cada coletor solar configurado para
 direcionar a radiação solar concentrada sobre pelo menos uma porção da

superfície de captura solar da pelo menos uma estrutura de captura de radiação.

88. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 87, em que a pelo menos uma estrutura de captura de radiação compreende uma pluralidade de estruturas de captura de radiação.

89. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 88, em que a pluralidade de estruturas de captura de radiação e a pluralidade de elementos conversores termoeletrônicos são adaptadas como uma pluralidade de dispositivos de painel plano.

90. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 88, em que a pluralidade de estruturas de captura de radiação e a pluralidade de elementos conversores termoeletrônicos são alojadas em uma pluralidade de ambientes evacuados relativos à pressão atmosférica.

91. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 87, em que pelo menos uma porção da pelo menos uma estrutura de captura de radiação e a pluralidade de elementos conversores termoeletrônicos são alojadas em um ambiente evacuado relativo à pressão atmosférica.

92. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 87, em que a pluralidade de coletores solares compreende uma pluralidade de estruturas de lente.

93. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 87, em que a pluralidade de coletores solares compreende uma pluralidade de concentradores parabólicos compostos.

94. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 87, em que a pluralidade de concentradores solares é configurada para formar uma pluralidade de canais.

95. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 94, em que a pluralidade de canais forma um leiaute tridimensional dos canais.

96. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 94, em que a pluralidade de concentradores solares compreende duas superfícies refletivas dispostas em um ângulo relativo uma a outra, tal que cada superfície refletiva reflete a radiação solar em um canal diferente.

97. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 94, em que um lado frio de pelo menos uma da pluralidade de elementos conversores termoelétricos é termicamente acoplado em pelo menos uma da pluralidade de estruturas refletivas.

5 98. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 94, em que a pelo menos uma estrutura de captura de radiação e a pluralidade de elementos conversores termoelétricos são adaptadas como uma pluralidade de dispositivos de painel plano, cada dispositivo de painel plano ficando localizado em uma da pluralidade de canais.

10 99. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 87, em que a pelo menos uma estrutura de captura de radiação compreende uma primeira estrutura de captura de radiação tendo uma primeira superfície de captura solar, e uma segunda estrutura de captura de radiação tendo uma segunda superfície de captura solar, pelo menos uma da pluralidade de coletores solares incluindo uma primeira porção adaptada para direcionar a radiação solar para a primeira superfície de captura solar e uma segunda porção adaptada para direcionar a radiação solar para a segunda superfície de captura solar.

15 100. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 87, em que o gerador inclui uma estrutura de barreira para prover um ambiente isolado em que a pelo menos uma estrutura de captura de radiação, a pluralidade de conversores termoelétricos e a pluralidade de coletores solares ficam contidas.

20 101. Gerador elétrico solar, compreendendo:
25 uma estrutura de captura de radiação adaptada para gerar calor com a absorção da radiação solar, a estrutura de captura de radiação incluindo uma superfície de captura solar para capturar a radiação solar e para gerar calor na estrutura de captura de radiação,

30 pelo menos um elemento conversor termoelétrico adaptado para ser termicamente acoplado na estrutura de captura de radiação, o elemento conversor termoelétrico ainda adaptado para gerar eletricidade com a exposição ao calor proveniente da estrutura de captura de radiação e

um transmissor de coleta solar acoplado rente com a superfície de captura solar da estrutura de captura de radiação, o transmissor solar adaptado para coletar e concentrar a radiação solar incidente sobre a superfície de captura solar da estrutura de captura de radiação.

- 5 102. Gerador elétrico solar, de acordo com a reivindicação 101, em que a estrutura de captura de radiação compreende pelo menos um elemento projetado adaptado para receber pelo menos uma porção da radiação direcionada pelo dito transmissor de coleta solar, a dita estrutura de captura de radiação com pelo menos um elemento projetado adaptado para
- 10 capturar a radiação solar proveniente de múltiplas direções.

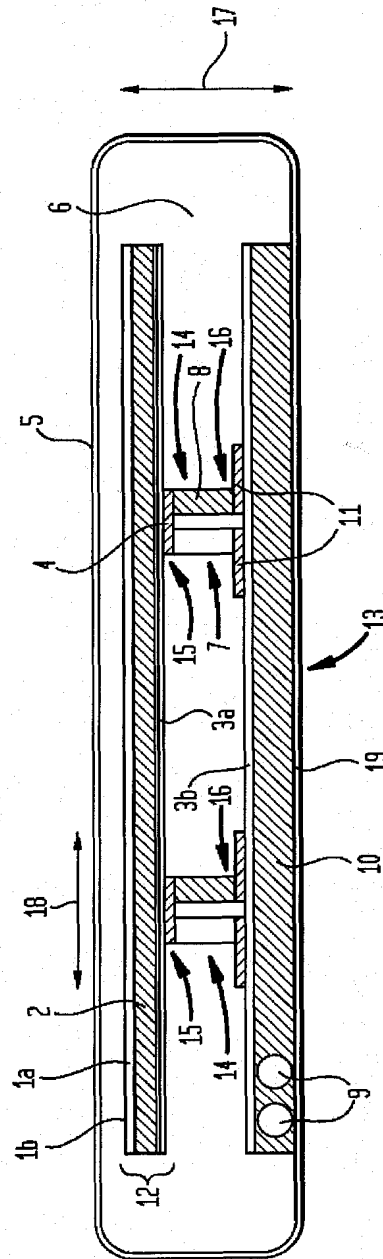


FIG. 1

Fig. 2

FIG. 2

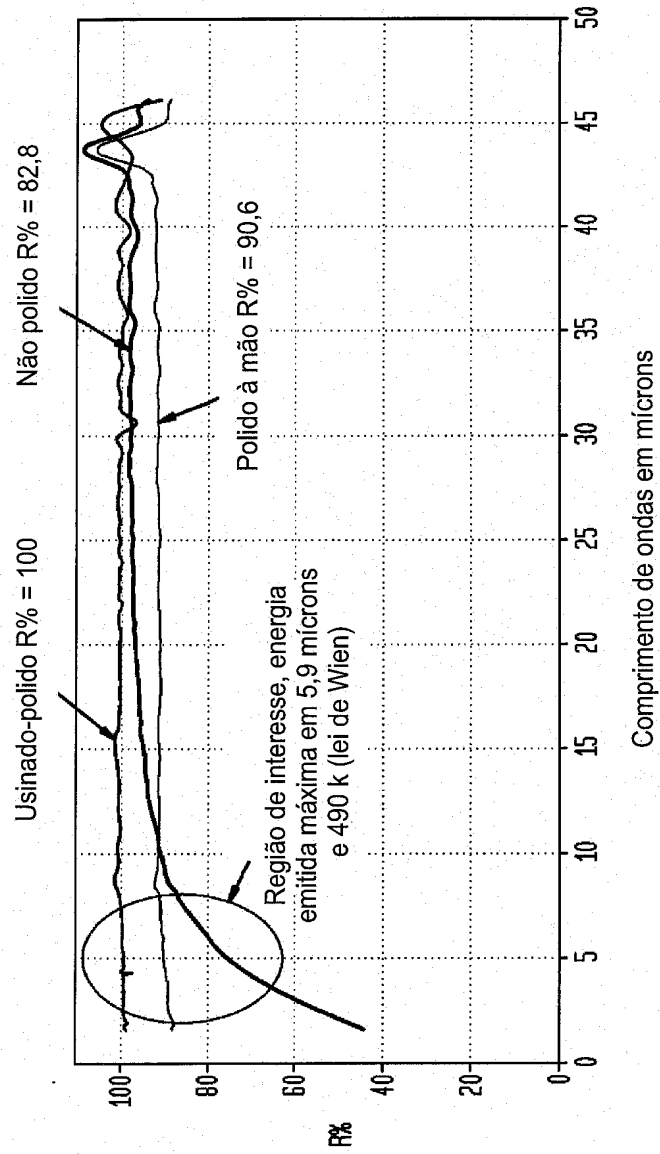


FIG. 3

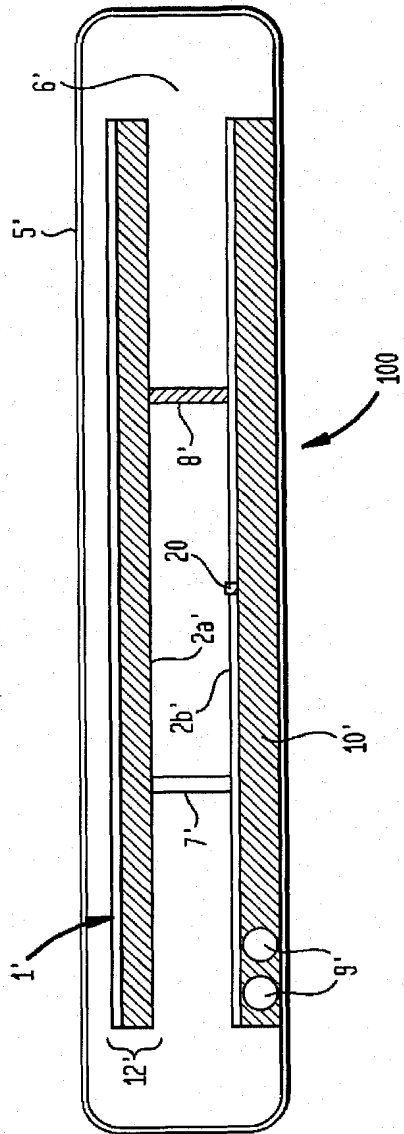


FIG. 5A

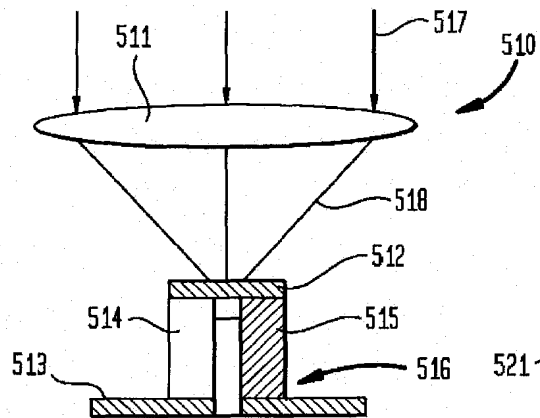


FIG. 5B

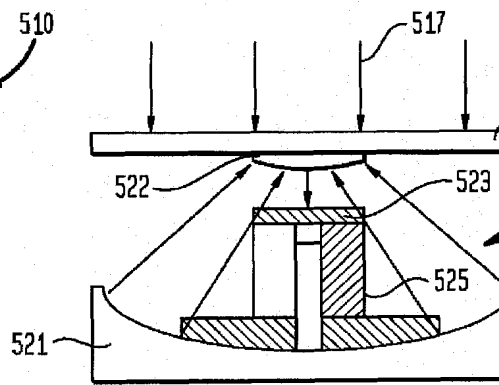


FIG. 5C

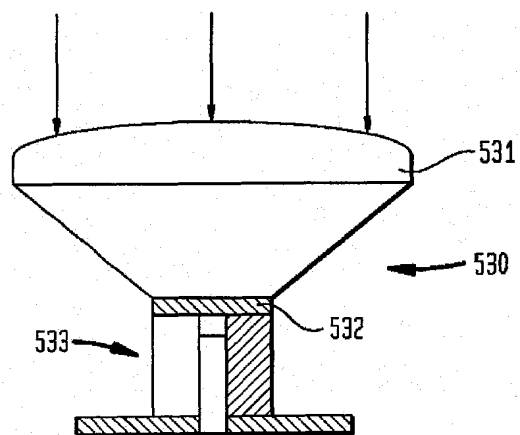


FIG. 6A

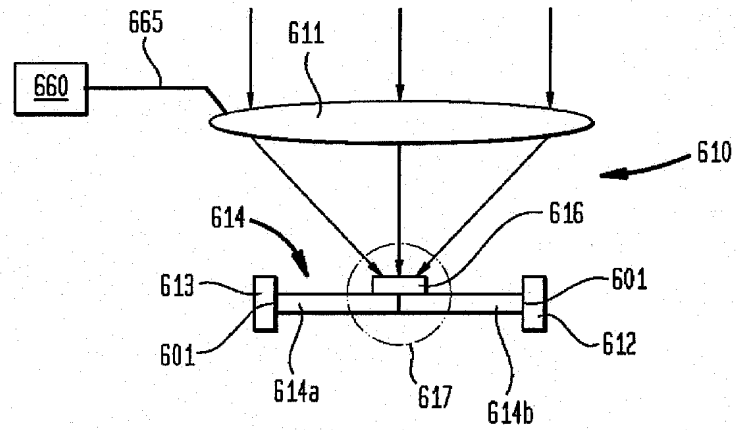


FIG. 6B

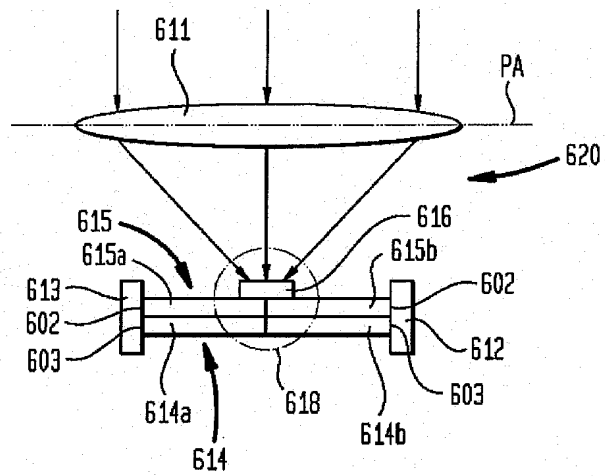


FIG. 6C

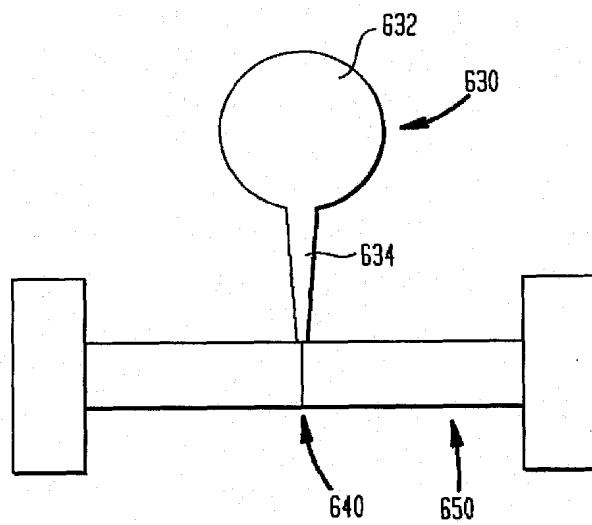


FIG. 7

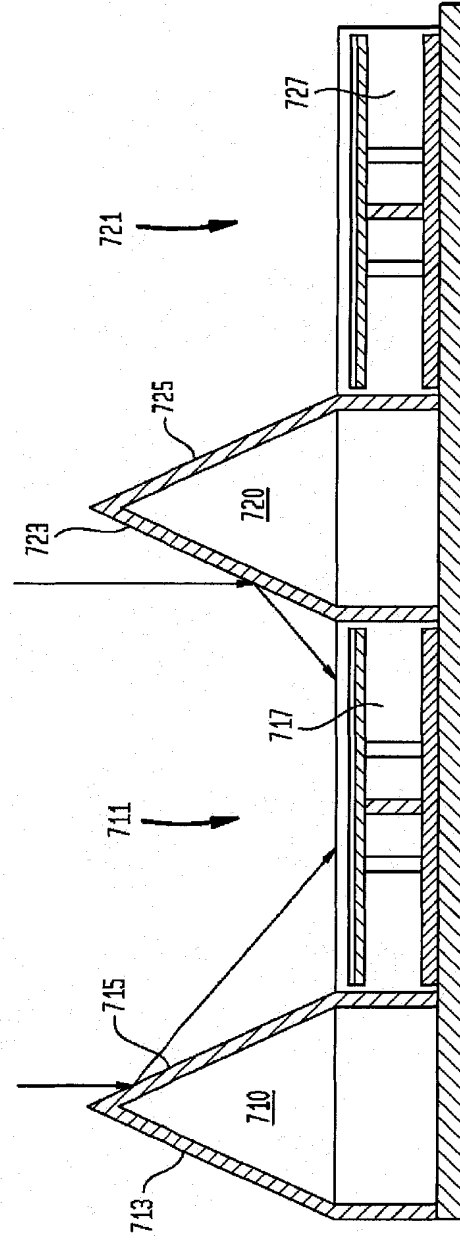


FIG. 8A

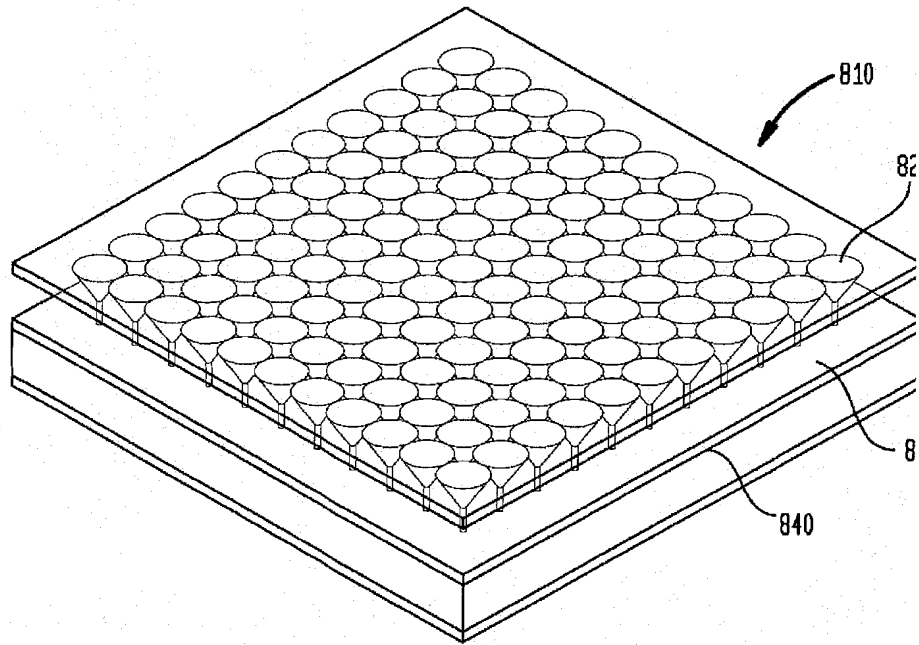


FIG. 8B

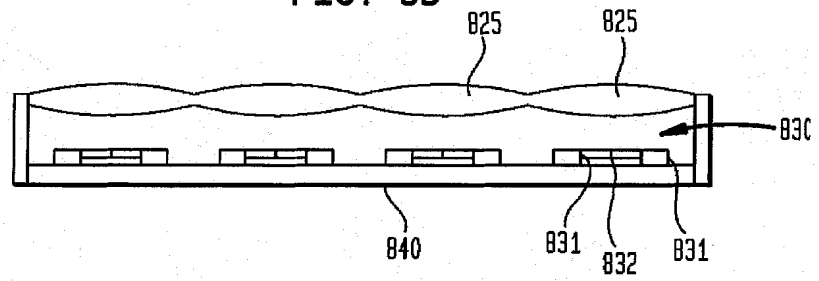


FIG. 9

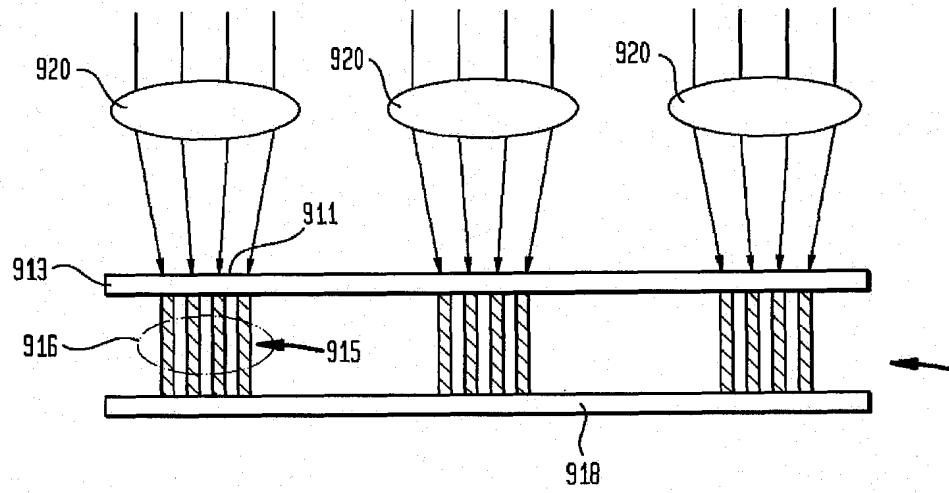


FIG. 10A

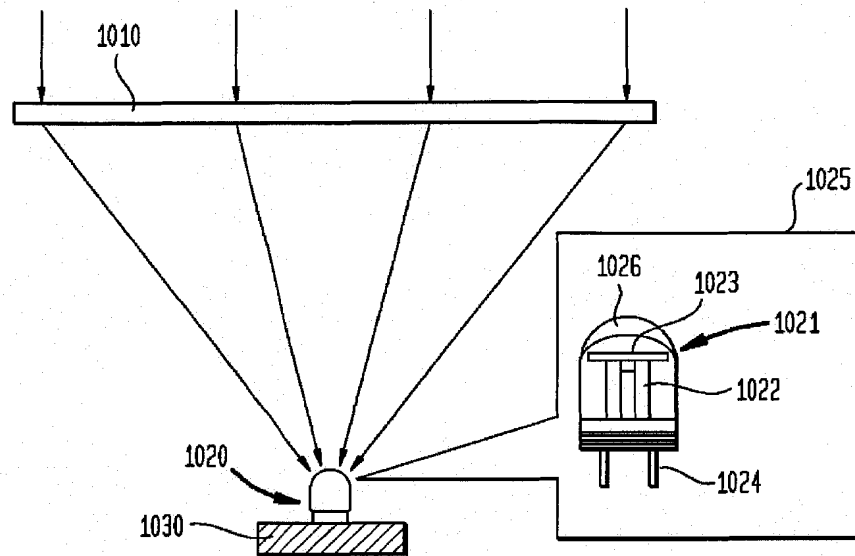
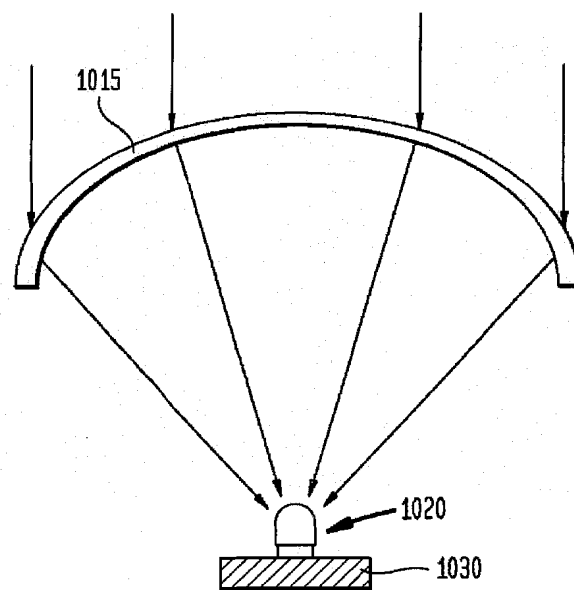


FIG. 10B



12/16

FIG. 10C

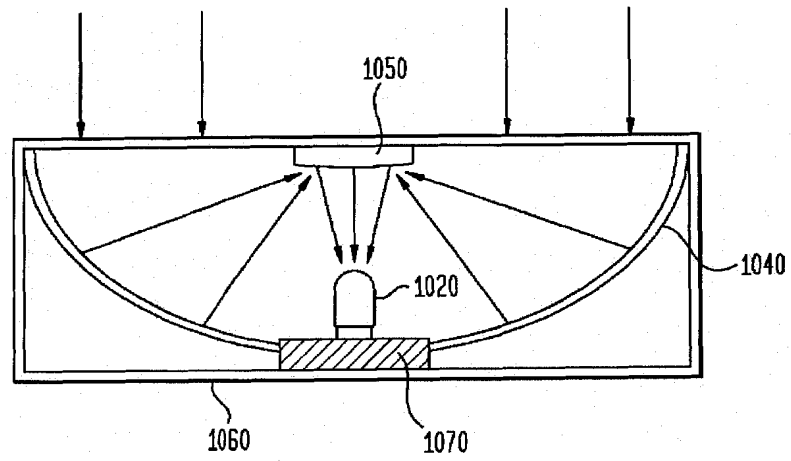


FIG. 11

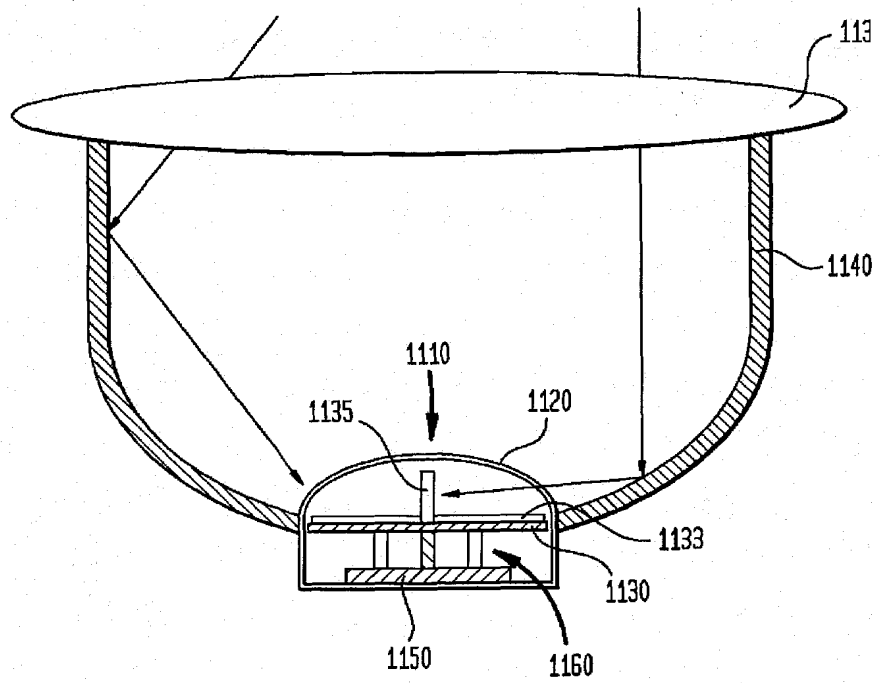


FIG. 12A

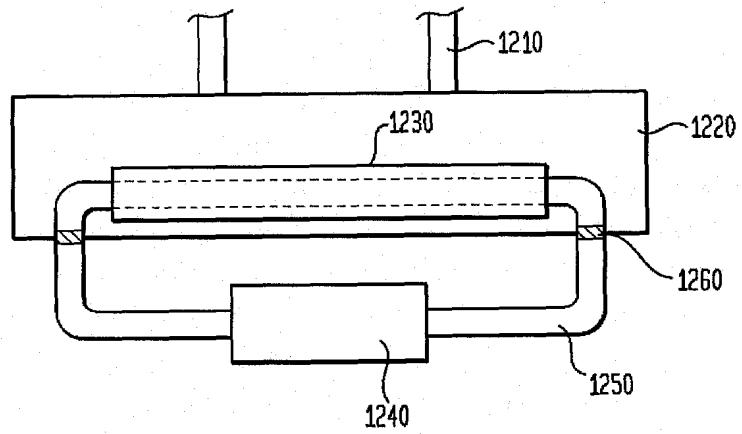


FIG. 12B

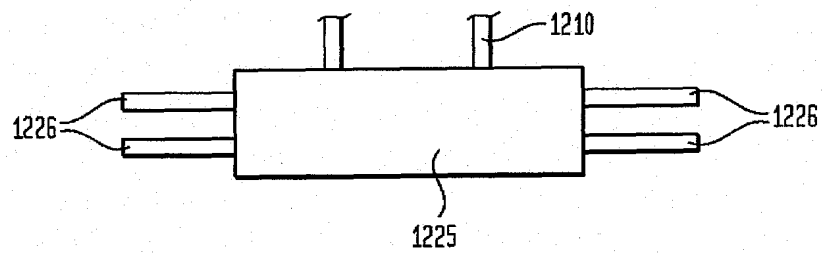


FIG. 13A

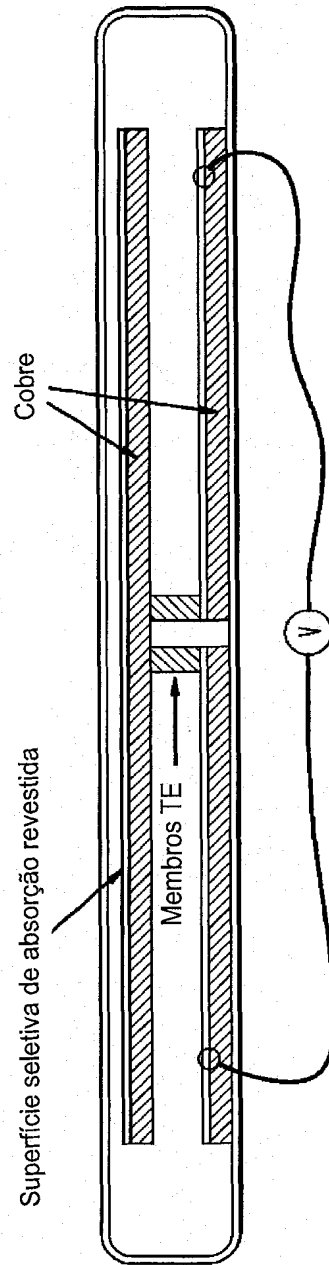


FIG. 13B

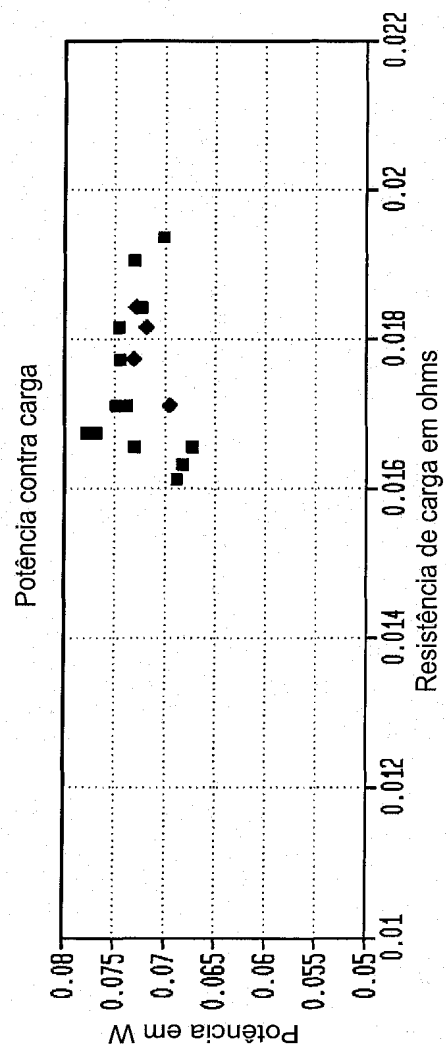
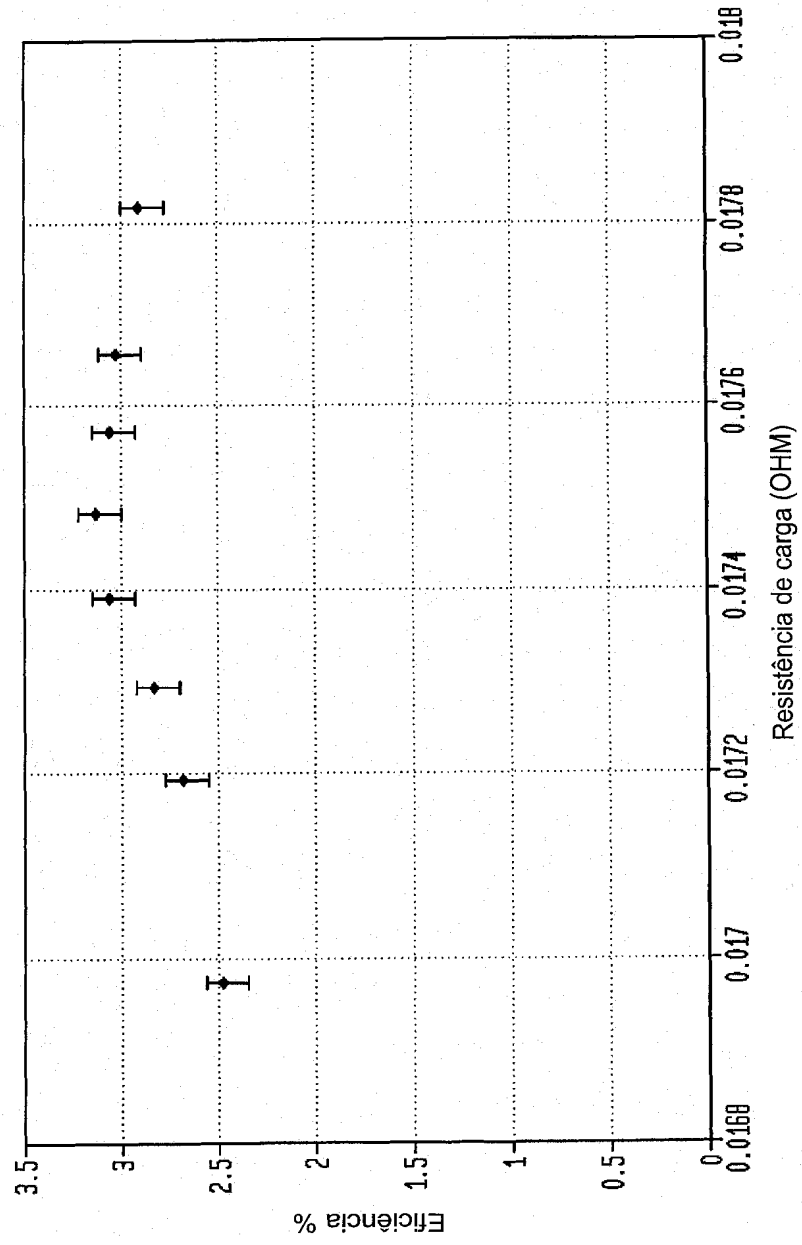


FIG. 13C



RESUMO

Patente de Invenção: **"CONVERSÃO TERMOELÉTRICA SOLAR"**.

A presente invenção refere-se a sistemas e métodos utilizando geradores elétricos solares. Geradores elétricos solares são descritos tendo

5 uma estrutura de captura de radiação e um ou mais conversores termoeletrônicos. O calor produzido em uma estrutura de captura através da colisão da radiação solar pode manter uma porção de um conversor termoeletrico em uma alta temperatura, enquanto o uso de uma baixa temperatura em uma

10 outra porção permite a geração de eletricidade. Dessa maneira, ao contrário das células fotovoltaicas que são, em geral, primariamente consideradas com o manejo da radiação ótica, os conversores termoeletricos solares são geralmente considerados com uma variedade de mecanismos para manejo do calor. Os geradores podem incluir qualquer número de aspectos incluindo

15 superfícies de radiação seletivas, superfícies de baixa emissividade, configurações de painel plano, ambientes evacuados e outros conceitos que podem agir para prover a concentração térmica. Projetos utilizando um ou mais concentradores óticos são também descritos.