

## **Energia solar como solução energética sustentável em cidade compactas**

*Solar energy as a sustainable energy solution in compact cities*

*Energía solar como solución energética sostenible en ciudad compacta*

### **Clerismar Fernandes da Silva**

Mestranda em Eng. Urbana, PEU/POLI/UFRJ, Brasil  
clerys.eel@poli.ufrj.br

### **Patrícia Regina Chaves Drach**

Professora Doutora, DAU/ESDI/UERJ, Brasil  
Professora Doutora, PROURB/UFRJ, Brasil  
Pesquisadora, PEU/UFRJ, Brasil  
patricia.drach@gmail.com

### **Gisele Silva Barbosa**

Professora Doutora, PEU/POLI/UFRJ, Brasil  
Giselebarbosa@poli.ufrj.br



#### **RESUMO**

Diante da amplitude exacerbada das cidades, verifica-se que estas se transformaram em estruturas complexas e difíceis de administrar. Ressalta-se que as cidades deveriam existir em primeiro lugar, e acima de tudo, para satisfazer as necessidades humanas e sociais das comunidades. Apresenta-se o conceito de cidades compactas, benefícios e problemas. Neste sentido, a compactação de um lado contribui para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, por outro, em termos energéticos, também pode influenciar negativamente nesta. Este artigo tem como objetivo propor uma solução energeticamente sustentável para a não redução da eficiência energética em modelos de cidades compactas, com foco em energia solar fotovoltaica. Através de estudos bibliográficos, verificou-se que a energia solar, através de painéis fotovoltaicos é uma alternativa promissora para a redução de ilhas de calor e manutenção do conforto térmico em cidades compactas. Esta é um fator positivo para a manutenção da eficiência energética do local, respeitando-se a capacidade de suporte deste.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compactação de cidade. Capacidade de suporte. Eficiência energética.

#### **ABSTRACT**

Faced with the exacerbated amplitude of the cities, these have turned into complex structures and difficult to administer. It should be stressed that cities should exist first and above all to meet the human and social needs of communities. This paper presents the concept of compact cities, benefits and problems. In this sense, the compaction of one side contributes to the improvement of the quality of life of people, on the other, in energy terms, can also negatively influence this. This article aims to propose an energetically sustainable solution for the non-reduction of energy efficiency in compact city models, focusing on photovoltaic solar energy. Through bibliographic studies, it has been verified that solar energy, through photovoltaic panels is a promising alternative for the reduction of heat islands and maintenance of thermal comfort in compact cities. This is a positive factor for the maintenance of the energy efficiency of the site, respecting its capacity of support.

**KEYWORDS:** City compaction. Supportability. Energy efficiency.

#### **RESUMEN**

Ante la amplitud exacerbada de las ciudades, se verifica que estas se transformaron en estructuras complejas y difíciles de administrar. Se resalta que las ciudades deberían existir en primer lugar, y sobre todo, para satisfacer las necesidades humanas y sociales de las comunidades. Se presenta el concepto de ciudades compactas, beneficios y problemas. En este sentido, la compactación de un lado contribuye a la mejora de la calidad de vida de las personas, por otro, en términos energéticos, también puede influir negativamente en ésta. Este artículo tiene como objetivo proponer una solución energéticamente sostenible para la no reducción de la eficiencia energética en modelos de ciudades compactas, con foco en energía solar fotovoltaica. A través de estudios bibliográficos, se verificó que la energía solar, a través de paneles fotovoltaicos, es una alternativa prometedora para la reducción de islas de calor y mantenimiento del confort térmico en ciudades compactas. Este es un factor positivo para el mantenimiento de la eficiencia energética del local, respetando la capacidad de soporte de éste.

**PALABRAS CLAVE:** Compactación de ciudad. Capacidad de soporte. Eficiencia energética.



## 1. INTRODUÇÃO

As cidades cresceram e transformaram-se em estruturas tão complexas e difíceis de administrar, que por vezes, esquece-se que elas existiam em primeiro lugar, e acima de tudo, para satisfazer as necessidades humanas e sociais das comunidades. As cidades foram originalmente criadas para celebrar o que temos em comum. Atualmente, são projetadas para manter as pessoas afastados umas das outras. O crescimento urbano toma um dimensionamento capaz de comprometer a capacidade de suporte da própria cidade.

A compactação da cidade tem como maior ferramenta a manipulação do uso do solo, especialmente a uma escala urbana e regional, mas também se aplica a escalas locais, através de estratégias como o design passivo dos edifícios (desenho com preocupações de conservação energética e de outros recursos). Essa estruturação compacta tem impacto direto sobre as redes de infra-estrutura, a composição de atividades sobrepostas, permite maior convivência e reduz as necessidades de deslocamentos em automóveis, reduzindo drasticamente a energia utilizada para transporte, reduzindo também o congestionamento e melhorando a qualidade do ar, fato que estimula o cidadão a caminhar ou andar de bicicleta em substituição ao carro por exemplo.

Salienta-se que ao mesmo tempo que a compactação contribui para a qualidade de vida da população, também pode ser vista como algo limitante a esta. De fato, a compactação é capaz de influenciar negativamente na qualidade de vida dos indivíduos, trazendo-lhes desconto térmico em função da arquitetura de edifícios em determinado espaço. Os principais problemas encontrados pelo esgotamento da capacidade de suporte do ambiente são a formação de ilhas de calor e a redução da eficiência energética do local. Neste sentido, a energia solar apresenta-se como algo favorável à sustentabilidade energética para amenizar estes problemas correlatos.

Este artigo tem como objetivo propor soluções energeticamente sustentáveis para a não redução da eficiência energética em modelos de cidades compactas, com foco em energia solar fotovoltaica.

Para a elaboração deste, foi levantado estudos bibliográficos para identificar os principais problemas gerados pelo modelo compacto de cidades, com relação à qualidade de vida dos indivíduos que a habitam. Do mesmo modo, foi realizada uma análise da contribuição da energia solar para a solução de tais problemas, formalizando uma proposta de melhorias energéticas.

## 2. CIDADES COMPACTAS

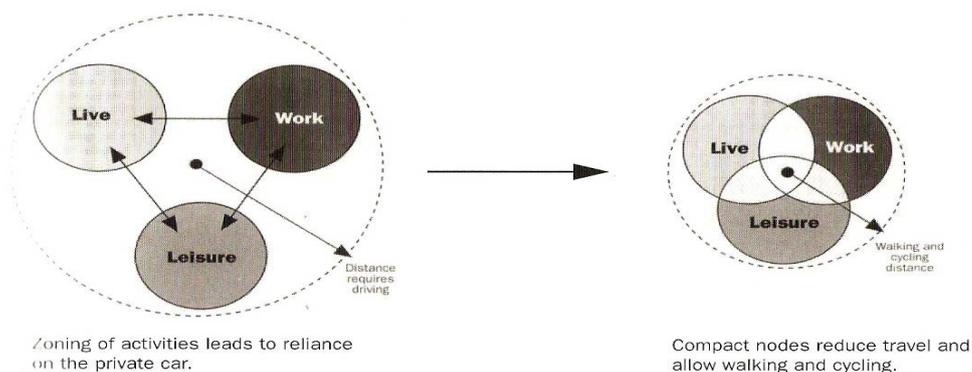
A teoria de cidade compacta surge primariamente como uma tentativa de responder aos problemas internos da cidade, assim como aos problemas de sustentabilidade inerentes ao desenvolvimento das áreas urbanas. Compreender os vários modelos de formas urbanas é fundamental para entender o conceito de cidade compacta. Segundo Gomes (2009), na

procura da forma ideal muitas vezes a teoria da cidade compacta induz a forma monocêntrica, apenas com um centro. No entanto esta forma já não corresponde às necessidades atuais da população, assim como não é sustentável e viável a partir de um determinado tamanho. Neste sentido introduz-se o conceito de cidade compacta e descentralizada.

Para Rogers (2001, *apud* MESTRINER 2008), uma cidade mais densa e pouco espalhada evitaria a invasão das áreas rurais, ou, como no caso de São Paulo – a não invasão das reservas ambientais. Isto traz benefícios ecológicos maiores. Através de um planejamento integrado, as cidades podem ser pensadas tendo em vista um aumento de sua eficiência energética, menor consumo de recursos, menor nível de poluição. Uma cidade densa e socialmente diversificada onde as atividades econômicas e sociais se sobreponham e onde as comunidades sejam concentradas em torno das unidades de vizinhança

A concepção de cidade compacta, segundo Mestriner (2008), prediz que o encontro das funções sociais dos cidadãos (moradia, trabalho e lazer) deve ser expresso na condição urbana que o centro propicia. Desta forma, os usos mistos e as densidades tradicionais dos centros urbanos devem trazer de volta a vivência que foi perdida após a implementação do uso do carro como transporte individual, e que, em algumas sociedades, onde essa mentalidade pobre é tão exacerbada, que o carro acaba se transformando em status social, para demonstração do poder de compra de cada indivíduo, mostrando claramente, a falta de cidadania e do espírito de coletividade necessários para se viver em comunidade. Esta ideia é representada pelo esquema da Figura 1.

Figura 1: Usos mistos compactos



Fonte: Rogers, 2001 *apud* Mestriner, 2008.

Neste conceito as cidades garantem estrutura física para oportunidades de emprego e riqueza, além de habitação de qualidade para a formação de uma comunidade urbana.

O conceito de cidade compacta tem como base duas grandes características: densidades elevadas e uso de solo diversificado. Estas duas características traduzem-se numa intensificação de usos do solo, de população e de tráfego. Deste modo a cidade procura

resolver os seus problemas dentro dos seus próprios limites, evitando o *urban sprawl* (expansão sem organização) e o consumo de mais terrenos.

Newman (2005, *apud* GOMES 2009) resume as características da cidade compacta em treze itens:

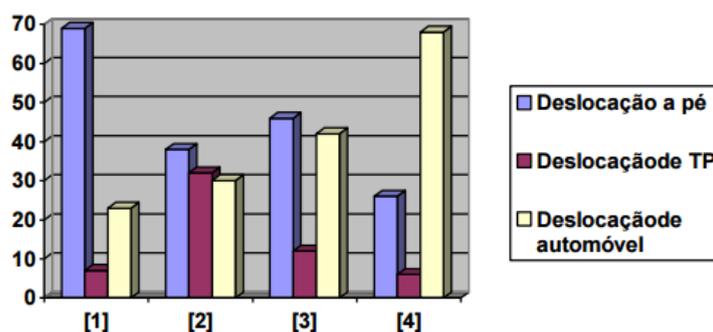
- Densidades residenciais e de postos de trabalho elevadas;
- Diversidade de usos de solo, de modo a que as necessidades básicas da população estejam a uma distância percorrida a pé desde a sua residência;
- Divisão do uso do solo em pequenas áreas, de modo a garantir a sua diversidade, evitando os grandes dormitórios e os espaços mono funcionais;
- Aumento das interações sócias e económicas, através do bom desenho do espaço público;
- Desenvolvimento contínuo, ou seja, os edifícios devolutos são reaproveitados, de modo a que não exista, quer a desertificação dos centros, quer espaços urbanos sem utilização;
- Crescimento urbano contido e delimitado por limites legíveis, de modo a evitar que a cidade aumente o seu perímetro;
- Sistema de transporte multimodal, privilegiando-se o uso de transportes não motorizados, assim como o investimento em grandes estruturas de transportes públicos;
- Acessibilidades altas, tanto a nível regional como local;
- Alta conectividade nas ruas, através de passeios largos e ciclovias, incentivando a população a circular a pé ou em transportes não motorizados;
- Poucos espaços sem utilização, de modo a maximizar a capacidade da cidade, e a evitando a expansão da cidade para fora dos seus limites quando existe espaço urbano útil sem função dentro dela;
- Controlo coordenado do planeamento e desenvolvimento urbano;
- Capacidade governamental para financiar as infra-estruturas e equipamentos urbanos.

Ao pensar nas redes de infra-estrutura, a mobilidade é, um dos setores que mais benefícios tem neste conceito, pois com as ruas equipadas e as distâncias reduzidas, o principal meio de transporte são os transportes não motorizados (TNM), que incluem a bicicleta e as deslocações a pé, e que, para além de não emitirem poluentes nem consumirem energia, possuem a característica de incentivar as relações sociais e o convívio urbano. Os transportes públicos (TP) também são privilegiados, pois numa cidade compacta e com limites bem definidos, a sua eficácia é muito maior e conseguem ser mais abrangentes, alcançando toda a população. O transporte individual (TI) é o transporte menos importante neste modelo. Não existem preocupações em melhorar e construir novas vias rápidas, e as vias existentes são por vezes

alteradas para dar lugar à circulação não motorizada e à circulação de transportes públicos (GOMES, 2009).

Masnavi (2000, *apud* GOMES 2009) apresenta o estudo sobre Glasgow, sendo este bem elucidativo do impacto da densidade e diversidade na mobilidade e na qualidade de vida. Este estudo avalia quatro zonas da cidade, numeradas em zonas 1, 2, 3 e 4, detalhadas no gráfico 1: a primeira possui densidades elevadas e um uso do solo misto [1]; a segunda, densidades elevadas e um só uso do solo [2]; a terceira, densidades baixas e vários usos do solo; e a quarta, densidades baixas e só um uso do solo [4]. O estudo analisou a acessibilidade, os padrões de mobilidade e o ambiente de cada um dos quatro bairros. A acessibilidade foi estudada segundo o destino da viagem (se era para o trabalho, por lazer, ou por outros motivos) e segundo o modo de deslocação (se a pé, em transportes públicos, de automóvel privado). Os resultados dos padrões de mobilidade estão resumidos no Gráfico 1.

Gráfico 1: Mobilidade em quatro áreas da cidade de Glasgow



Fonte: Masnavi 2000, *apud* Gomes 2009.

Este exemplo dado no Gráfico 1, pode ser visto como um lado benéfico da cidade compacta, aqui vê-se claramente que os impactos na mobilidade urbana reduz o uso de energia no setor de transporte.

## 2.1 Capacidade de suporte do meio ambiente

Capacidade de Suporte é a capacidade ou habilidade dos ambientes em acomodar, assimilar e incorporar um conjunto de atividades antrópicas sem que suas funções naturais sejam fundamentalmente alteradas" (DIAS, *s/d apud* FILET, 1955).

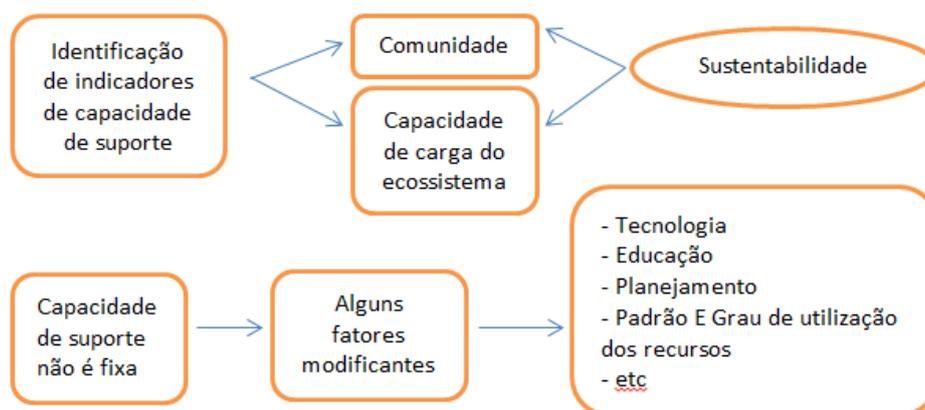
Para Dias (*s/d*), existem também outros aspectos a serem considerados na avaliação da capacidade de suporte sendo: não existe um equilíbrio ideal desejado pelo conjunto dos usuários do espaço urbano, cada grupo social poderá ter sua própria concepção do que seja ideal. Portanto, determinar a capacidade de suporte implica uma série de juízos de valor, em qualquer momento pode ser alcançado um determinado limite, a partir do qual o

desenvolvimento, será prejudicial. A seguir são definidas as características básicas da capacidade de suporte:

- A capacidade de suporte não é o nível após o qual os impactos surgem;
- O ponto de capacidade de suporte não é o limite de saturação;
- O ponto de capacidade de suporte pode ser visto de forma diferente e conflitante por diferentes grupos;
- A capacidade de suporte incorpora dois elementos significativos: o meio ambiente e a percepção de qualidade de vida dos habitantes do lugar;
- Os aspectos da capacidade de carga a serem considerados variam de acordo com as características dos ocupantes.

O Esquema 1, enfatiza melhor o conceito de capacidade de suporte:

**Esquema 1: Definição de Capacidade de suporte**



Fonte: Dias s/d apud Filet, 1955.

### 3. DISCUSSÕES

Além da valorização de áreas verdes como solução para a redução de ilhas de calor e aumento da climatização em cidades compactas, o aproveitamento de energia solar fotovoltaico pode ser uma solução promissora. A energia fotovoltaica está entre as alternativas para a implantação de microssistemas de geração de energia elétrica, pois apresenta uma maior facilidade de instalação além de apresentar operação e manutenção mais simplificada.

Fazer uso da energia elétrica convencional para resolver o problema das ilhas de calor é prejudicial ao meio ambiente. No Brasil, considerando apenas a necessidade de atender uma demanda, segundo Goldemberg & Lucon (2007), há algumas décadas, as emissões do setor energético brasileiro não eram muito significativas dadas às características predominantemente hidrelétricas da matriz energética de energia. Mas, a partir da década de 1970, com o aumento da demanda de energia no país, foi necessária a entrada de

termelétricas a óleo diesel, óleo combustível e gás natural, e com isso as emissões de CO<sub>2</sub> no setor se tornaram mais intensas. Do mesmo modo, atender uma cidade compacta com alta densidade, requer grande uso de energia.

Uma rede de energia elétrica automatizada poderia facilitar o emprego da geração distribuída, ao permitir a interligação de pequenas fontes de geração de energia elétrica ao sistema. Um sistema com geração distribuída é aquele em que há diversos microgeradores dispersos na rede elétrica, além da geração centralizada. Estes microgeradores poderiam ou não estar interligados à rede. Além disso, eles poderiam ou não retornar energia à rede, vendendo a energia produzida caso essa exceda o consumo próprio.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas ligados à rede e sistemas autônomos. No último caso, o aproveitamento da energia solar precisa ser ajustado à procura energética. Uma vez que a energia produzida não corresponde (na maior parte das vezes) à procura pontual de energia de um consumidor, torna-se obrigatório considerar um sistema de armazenamento (baterias) e meios de apoio complementares de produção de energia (sistemas híbridos).

Para o aproveitamento solar fotovoltaico, faz-se uso da Irradiação Global Horizontal (GHI) - que quantifica a radiação recebida por uma superfície plana horizontal. A GHI é composta pela Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e pela Irradiação Normal Direta (DNI). A DIF é a parcela dispersa e atenuada por reflexões em nuvens, poeira, vapor d'água e outros elementos em suspensão na atmosfera. A DIN é a parcela que atinge o solo diretamente, sem reflexões. Em dias nublados, a principal fração é a DIF, enquanto que em dias claros prevalece a DNI. (EPE, 2012)

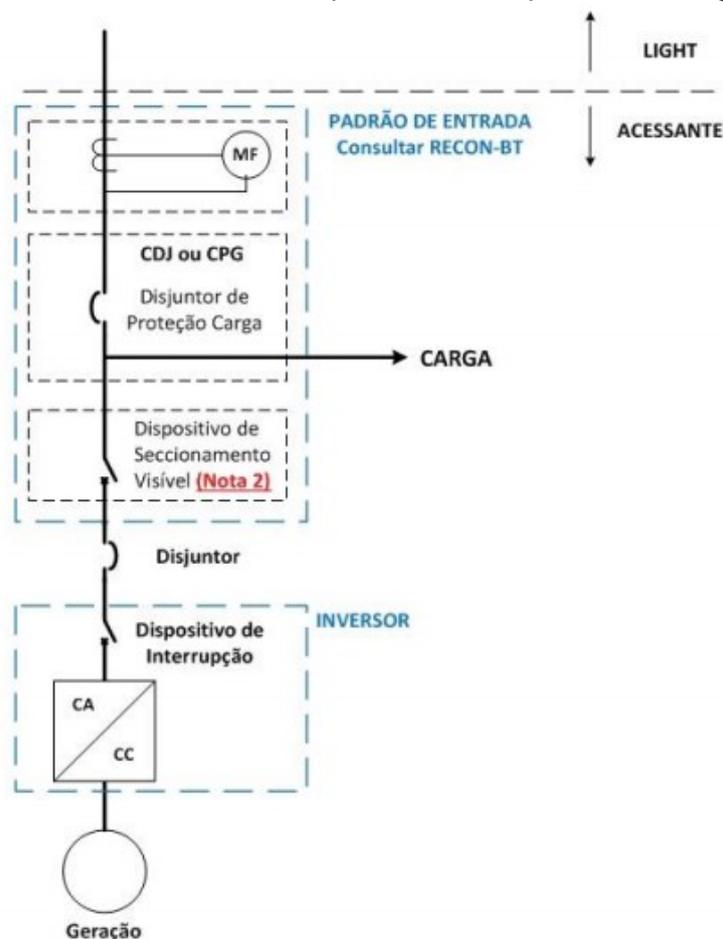
A arquitetura dos edifícios deve permitir o melhor aproveitamento da energia solar. Quanto ao posicionamento dos painéis para melhor aproveitamento da irradiação solar, afirma-se que a variação da posição da Terra em relação ao Sol ao longo do ano determina ângulos de inclinação dos painéis solares, em relação ao norte (azimute) e em relação ao plano horizontal, mais adequado para a otimização do aproveitamento solar quando são utilizados painéis fixos, que não acompanham a trajetória diária do Sol.

O projeto de um sistema fotovoltaico envolve orientação dos módulos, disponibilidade de área, estética, disponibilidade do recurso solar, demanda a ser atendida e diversos outros fatores. Através do projeto pretende-se adequar o gerador fotovoltaico às necessidades definidas pela demanda. O dimensionamento de um sistema fotovoltaico (SFV) é o ajuste entre a energia radiante recebida do sol pelos módulos fotovoltaicos e a necessidade de suprir a demanda de energia elétrica (PINHO e GALDINO, 2014).

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, define como “Acessante” o consumidor cuja instalação se conecte ao sistema elétrico de distribuição que possuam Microgeração ou Minigeração Distribuída. Logo, avalia-se qual a melhor tipologia para conexão de Microgeradores ou Minigeradores ao sistema de distribuição de baixa tensão da concessionária de energia local, estabelecendo critérios para a conexão de consumidores residenciais, dentro de condições técnicas e de segurança mínimas aceitáveis. Na Figura 2 está exemplificado um esquema de ligação utilizado pela concessionária de energia Light do estado do Rio de Janeiro. Neste modelo não há utilização de baterias para armazenamento, ou seja, toda energia produzida é imediatamente aproveitada.

Ressalta-se que modelo de conexão de um sistema solar com a rede elétrica, representado na Figura 2, pode ser pensado como um sistema único para a edificação, quanto individualmente.

Figura 2: Forma de conexão do Acessante (através de inversor) à rede de BT da Light SESA.



Fonte: LIGHT, 2016.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A teoria de cidade compacta, ao procurar por um lado diminuir as distâncias entre a origem e o destino das viagens, e por outro proporcionar um sistema de transportes públicos eficaz e de alta capacidade, potenciará uma menor dependência do automóvel, o que condicionará menor consumo de energia e menos poluição atmosférica. Para além da redução da dependência do automóvel, são facilitados: o aumento da acessibilidade, o rejuvenescimento das áreas centrais, a preocupação na manutenção e qualidade dos espaços verdes e a qualidade dos espaços públicos. Estes aspectos aumentam a qualidade de vida global das

populações, através da promoção da saúde pública, do aumento da interação social e da facilitação das deslocamentos e acessibilidade a serviços.

A capacidade de suporte, definida pelo número de indivíduos que podem ser suportados por uma determinada área, considerando os seus limitados recursos naturais. O processo de urbanização degrada o meio ambiente com o uso dos recursos limitados. Pensando assim, a compactação de cidades traz uma alta densidade para um espaço, sendo um fator crítico à capacidade de suporte. Alocar muitas pessoas em um pequeno espaço, ao mesmo tempo que viabilizar eficiência nas redes de infraestrutura, pode provocar o uso excessivo dos recursos disponíveis e comprometer a sustentabilidade do ambiente.

A compactação da cidade pode minimizar o consumo do território, otimizar deslocamentos e gerar menor consumo de energia, mas também produz ilhas de calor e a necessidade de maior refrigeração, o que requer mais da capacidade de suporte do meio, a solução seria buscar alternativas sustentáveis para atender tais necessidades. Desta forma, a sustentabilidade de um ambiente pode ser avaliada pela capacidade de suporte deste, conhecido o limite máximo de recursos, uma política eficiente poderá contribuir para garantia de disponibilidades de tais recursos no futuro. Através de energias renováveis, pode-se superar esse impacto das ilhas de calor e aumentar a refrigeração, respeitando a capacidade de suporte do meio ambiente.

A energia solar, através de painéis fotovoltaicos é uma alternativa promissora para a redução de ilhas de calor em cidades compactas. Pode ser um fator positivo para a manutenção da eficiência energética do local, respeitando-se a capacidade de suporte deste. Salienta-se que a aplicação desta fonte energética não se restringe à cidades compactas, pode ser aproveitada em todo tipo de cidade com índices de radiação consideráveis.

## REFERÊNCIAS

- DIAS, Reinaldo. **Capacidade de suporte ambiental nas regiões metropolitanas**. Ministério do Meio Ambiente MMA. S/d.
- GOMES, Joana Carolina B. **A mobilidade e a teoria da cidade compacta Caso estudo: a cidade de Lisboa**. Dissertação de mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. 2009
- MESTRINER, Gustavo L. **A cidade compacta e os projetos urbanos contemporâneos: Inventário analítico de estudos de caso em vazios urbanos em áreas centrais**. Dissertação de mestrado. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2008.
- GOLDEMBERG, J., LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos Avançados**, nº 21 (59), p. 7-20, 2007.
- NOTA TÉCNICA EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A.; **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. CEPEL – DTE – CRESESB, 2014.
- LIGHT. **Procedimentos para a Conexão de Microgeração e Minigeração ao Sistema de Distribuição da Light SESA BT e MT – Até Classe 36,2kV**. Informação Técnica DTE/DTP. Revisão 3. 2016.