



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Programa de Engenharia Urbana

CLERISMAR FERNANDES DA SILVA

Energia solar no meio urbano: análise para diferentes
formas urbanas

Rio de Janeiro
2018



UFRJ

CLERISMAR FERNANDES DA SILVA

Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formas urbanas

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadora: Patrícia Regina Chaves Drach

Co-orientadora: Gisele Silva Barbosa

Rio de Janeiro

2018

FERNANDES DA SILVA, Clerismar

Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formas urbanas / Clerismar Fernandes da Silva

97 f. ; 41 il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,
Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2018.

Orientador: Patricia Regina Chaves Drach. D.Sc.

Co-orientador: Gisele Silva Barbosa. D.Sc.

1. Energia Solar. 2. Morfologia Urbana. 3. Certificações Ambientais. 3. Microclima Urbano. I. Drach, Patricia Regina Chaves. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. III. Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formas urbanas.



UFRJ

Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formas urbanas

Clerismar Fernandes da Silva

Orientadora: Patrícia Regina Chaves Drach

Co-orientadora: Gisele Silva Barbosa

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente: Profa. Dra. Patricia Regina Chaves Drach, D.Sc., Programa de Engenharia Urbana/POLI/UFRJ

Profa. Dra. Gisele Silva Barbosa. D.Sc., Programa de Engenharia Urbana/POLI/UFRJ

Profa. Dra. Angela Maria Gabriella Rossi, D.Sc., Programa de Engenharia Urbana/POLI/UFRJ

Prof. Dr. Paulo Eduardo Darski Rocha, FEN/UERJ

Rio de Janeiro
2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria do Amparo Fernandes da Silva. Essa dedicatória é reflexo do seu apoio aos meus estudos, amor e incentivo. Quando por algum motivo apresentei fraquezas, ela com muita convicção e fé, me mostrou um motivo pra seguir e persistir nos meus objetivos. A obtenção deste título representa a realização de um sonho, que juntas conquistamos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por me dá a oportunidade e permitir a realização deste grande passo em minha vida.

À minha família, que sempre me incentivou a estudar e buscar meus objetivos, mesmo diante das complexidades em nossas vidas.

Ao meu esposo, que pacientemente apoiou minha decisão em me dedicar ao mestrado.

De forma ampla, agradeço à minha orientadora Patrícia Regina Chaves Drach e co-orientadora Gisele Silva Barbosa, por serem fundamentais na execução deste trabalho. Com sua expertise me direcionaram e muito contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui.

RESUMO

FERNANDES DA SILVA, Clerismar. **Energia solar no meio urbano: análise de diferentes tipologias de bairro no Porto Maravilha**. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

A atual conjuntura do Brasil é muito favorável à expansão de fontes alternativas como a energia solar. O processo de urbanização é global e crescente, representando uma intensificação dos riscos das alterações climáticas em relação às cidades, que normalmente já vêm comprometendo as condições ambientais. As cidades interferem e sofrem a interferência do meio ambiente. Neste contexto, é importante associar as questões ambientais com ações no meio urbano, planejando com uma energia limpa para a cidade. Com o objetivo de estudar a aplicação da energia solar fotovoltaica no meio urbano, este trabalho traz uma análise comparativa da capacidade de geração de energia e de consumo para duas configurações da morfologia urbana. A primeira proposta, Cenário I, atendeu à Lei Complementar, LC 101/2009, que estabeleceu a Operação Urbana Consorciada do Porto Maravilha. A segunda proposta – Cenário II, foi desenvolvido tendo como base ações da certificação ambiental LEED – *Neighborhood (Leadership in Energy and Environmental Design - for Neighborhood Development)*, o LEED para Desenvolvimento de Bairros. Esses dois cenários foram inicialmente propostos por uma dissertação defendida no Programa de Engenharia Urbana em 2018 (Marques, 2018). A metodologia adotada tem um caráter exploratório tendo como ponto de partida uma pesquisa bibliográfica seguida de um estudo prático, uma vez que se trata de uma pesquisa aplicada. O estudo do aproveitamento do espaço construído no meio urbano para a geração de energia solar fotovoltaica, foi realizado com o intuito de explorar de forma sustentável o espaço. O Cenário II permite maior aglomeração de edifícios, por isso sua área de cobertura é maior, sendo que a diferença de área construída entre os dois cenários é equivalente a 1.548,19 m². Os resultados obtidos indicaram que, levando em consideração pequenas variações (para mais ou para menos), com aproximadamente 60% das áreas disponíveis é possível gerar energia suficiente para atender a demanda do bairro. O processo de verticalização implicou em um maior consumo de energia. Estes resultados reforçam a necessidade de avaliar previamente os processos de densificação propondo diferentes configurações urbanas buscando adequação as necessidades do lugar. A utilização dos espaços no meio urbano para geração de energia, além de parecer viável, permite a inserção de projetos utilizando a geração distribuída, o que apresenta vantagens como a redução de perdas de energia no processo de transmissão.

Palavras-chave: Energia Solar, Morfologia Urbana, Certificações Ambientais.

ABSTRACT

FERNANDES DA SILVA, Clerismar. **Solar energy in the urban environment: analysis of different types of neighborhood in Porto Maravilha.** Rio de Janeiro, 2018. Master's Thesis – Urban Engineering Program, Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

The current conjuncture in Brazil is very favorable to the expansion of alternative energy sources such as solar energy. The process of urbanization is global and growing, and increases climate change risks that affect the cities, which, in their turn, already play a role in spoiling the environment. The cities interfere and receive the interference of the environment. In this context, it is important to associate environmental issues with actions in the urban area, planning sustainable energy for the city. With the purpose of studying the application of photovoltaic solar energy in the urban environment, this thesis presents a comparative analysis of the power generation and consumption capacity for two configurations of urban morphology. The first proposal, Scenario I, complied with the Complementary Law, LC 101/2009, which established the Consortium Urban Operation of Porto Maravilha. The second proposal – Scenario II, was developed based on actions of the environmental certification LEED - Neighborhood (Leadership in Energy and Environmental Design - for Neighborhood Development), the LEED for Neighborhood Development. Both scenarios were initially proposed by a thesis defended in the Urban Engineering Program in 2018 (Marques, 2018). The methodology for the development of this dissertation involved both bibliographic research and practical study, since it is an applied research. The space built for the photovoltaic solar energy generation in the urban environment was carefully studied in order to make a sustainable use of the space. Scenario II allows greater agglomeration of buildings, so its area of coverage is greater, and the difference of constructed area between the two scenarios is equivalent to 1,548.19 m². The results indicated that, taking into account small variations (upwards or downwards), with approximately 60% of the available areas, it is possible to generate enough energy to supply the neighborhood's energy demand. The verticalization process implied higher energy consumption. These results reinforce the need to evaluate densification processes in advance by proposing different urban configurations, aiming to adapt to the needs of the place. The use of spaces in the urban environment for energy generation is possible, and also allows for the usage of projects using distributed generation, which presents advantages such as the reduction of energy losses in the transmission process.

Keywords: Solar Energy, Urban Morphology, Environmental Certifications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Porcentagem da população em áreas urbanas e rurais, no Brasil....	17
Figura 2: Temperatura do Ar (°C) para as duas tipologias do bairro; a) Cenário I e b) Cenário 2.	19
Figura 3: Organograma da metodologia desenvolvida.....	21
Figura 4: Gráfico apresentando o crescimento do uso em publicações, via Web of Science, dos termos relacionados ao tema da pesquisa.....	23
Figura 5: Mapa de visualização das conexões e agrupamentos.....	23
Figura 6: Mapa de visualização dos agrupamentos: China (verde), Brasil (vermelho) e Índia (amarelo).....	24
Figura 7: Esquema da geração distribuída.....	26
Figura 8: Processos de conversão energética.	28
Figura 9: Percentual da oferta Interna de Energia por fonte..	36
Figura 10: Desenvolvimento das Células Fotovoltaicas..	37
Figura 11: Curvas características das células fotovoltaicas..	39
Figura 12: Diagrama esquemático de uma célula fotovoltaica.	40
Figura 13: Potencia instalada solar centralizada, por UF (MW) – 09/10/2017..	49
Figura 14: Potencia instalada solar fotovoltaica, por UF (MW).....	50
Figura 15: Radiação Solar Global Horizontal (GHI) Média Anual.....	52
Figura 16: Mapa de geração fotovoltaica anual estimada, para SFVC, em kWh/kWp/ano.	53
Figura 17: Custo da energia solar FV residencial.....	56
Figura 18: Ciclofaixa movida a energia solar na Holanda (a). Detalhe do piso (b).....	57
Figura 19: Planta solar do Aeroporto Internacional Cochin, Querala, Índia (a). Detalhe (b).....	58
Figura 20: Bairro Solar Schlierberg: vista geral (a) e detalhe (b).....	60
Figura 21: Sistema de iluminação pública: módulo solar, controlador de carga, uma bateria e um inversor..	61
Figura 22: Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.	62
Figura 23: Usos mistos compactos criam nós de redução de jornadas, e criam vizinhanças mais atraentes e sustentáveis.....	64
Figura 24: Tipologias das certificações LEED..	68
Figura 25: Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro.....	70
Figura 26: Delimitação do Setor C – LC 101/09. Marques, 2018..	70

Figura 27: As duas configurações estudadas para o Setor C - LC 101/09: a) Cenário I e b) Cenário II.....	71
Figura 28: Delimitação do ponto de apuração do índice solarmérico do Setor C.....	73
Figura 29: Índice solarmérico do Setor C – Projeto Porto Maravilha.....	74
Figura 30: Sombreamentos nos meses de janeiro para os horários de 10h, 12h e 15h para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.....	78
Figura 31: Sombreamentos nos meses de janeiro para os horários de 10h, 12h e 15h para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.....	78
Figura 32: Fração recebida de DNI para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II..	80
Figura 33: Fração recebida de DIF para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II..	81
Figura 34: interface do simulador de consumo da Light.....	82
Figura 35: Consumo por atividade/ cômodo no simulador de consumo da Light.....	83
Figura 36: Consumo de energia por equipamento.	85
Figura 37: Geração de energia para uma residência do Porto Maravilha..	86
Figura 38: Geração de energia para uma residência do Jardim Botânico.....	87
Figura 39: Excedente de geração de energia no Cenário II em relação ao Cenário I..	88
Figura 40: Geração de energia solar no Bairro..	89
Figura 41: Geração de energia solar excedente, no Bairro.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Desenvolvimento do uso em publicações, via <i>Web of Science</i> , dos termos relacionados ao tema da pesquisa	22
Tabela 2: Desenvolvimento do uso em publicações, via <i>Web of Science</i> , dos termos relacionados ao tema da pesquisa	42
Tabela 3: Comparação entre áreas de instalação de centrais de geração à carvão e nuclear x área de um sistema fotovoltaico	42
Tabela 4: Geração solar no mundo – 2016	45
Tabela 5: Crescimento de sistemas fotovoltaicos no Brasil	48
Tabela 6: Custo de material de instalação de sistemas de energia Solar FV em residências	56
Tabela 7: Níveis da certificação LEED	67
Tabela 8: Índice solarmérico do Setor C – Projeto Porto Maravilha	73
Tabela 9: Especificações Técnicas do Painel de 330Wp de Energia Solar	75
Tabela 10: Consumo de energia elétrica em elevadores	76
Tabela 11: Descrição de equipamentos utilizados no levantamento de carga da residência	84
Tabela 12: Soma das áreas de cobertura	87
Tabela 13: Área utilizada para energia solar fotovoltaica	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais características das lâmpadas	33
Quadro 2: Políticas de incentivo ao redor do mundo	44
Quadro 3: Benefícios da certificação LEED	66

LISTA DE SIGLAS

ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
BYD	Construa seus Sonhos - Build Your Dreams (China)
CEPEL	Centro de Pesquisa em Energia Elétrica
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética
CNU	Congress for the New Urbanism
COP21	21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas
COPEL	Companhia Paranaense de Energia Elétrica
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CPFL Energia	Empresa da estatal chinesa de energia State Grid
CPV	Concentrated Photovoltaics
CRESESB	Centro de Referência para as energias solar e eólica Sérgio de S. Brito
DIF	Irradiação Difusa Horizontal
DNI	Irradiação Normal Direta
DSSC	Dye-Sensitized Solar Cell
ENVO	Empresa do grupo CPFL-Energia
FV	Fotovoltaico
GBC Brasil	Green Building Council – Brasil
GD	Geração distribuída
GEE	Gases de efeito estufa
GHI	Irradiação Global Horizontal
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IEA	Agência Internacional de Energia - International Energy Agency
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LEED ND	Leadership in Energy and Environmental Design - Neighborhood Development (Liderança em Energia e Desenho Ambiental - Desenvolvimento de Bairros)

LER	Leilão de Energia de Reserva
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
NRDC	Natural Resources Defense Council
OPV	Organic Photovoltaics
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
P&D	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica Pesquisa e Desenvolvimento
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (United Nations Framework Convention on Climate Change)
USGBC	U.S. Green Building Council
WRI	World Resources Institute

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. INTRODUÇÃO AO TEMA	16
1.2. OBJETIVO.....	20
1.3. METODOLOGIA.....	20
1.4. JUSTIFICATIVA	25
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	27
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	28
2.1.1. A lei da Eficiência energética	30
2.1.2. Eficiência energética na iluminação	32
2.1.3. Eficiência energética em sistemas de condicionamento de ar.	34
2.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	35
2.2.1. <i>Funcionamento do módulo fotovoltaico</i>	40
2.2.2. Panorama Internacional da energia solar.....	43
2.2.3. Panorama Brasileiro da energia solar	46
2.2.4. <i>Potencial de Geração do Brasil</i>	51
2.2.5. Custo da energia solar fotovoltaica no Brasil – setor residencial.....	55
2.3. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NO MEIO URBANO.....	57
2.3.1. Ciclofaixa movida à energia solar.....	57
2.3.2. Aeroporto movido à energia solar	58
2.3.3. Bairro solar na Alemanha	59
2.3.4. Iluminação pública à energia solar – sistema independente.....	60
2.4. LEED NEIGHBORHOOD	62
3. ESTUDO PRÁTICO	69
3.1. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO PRÁTICO.....	69
3.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
4.1. SOMBREAMENTO E RADIAÇÃO SOLAR DIRETA E DIFUSA	77

4.2. DEMANDA ENERGÉTICA DO BAIRRO	82
4.3. SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA O BAIRRO	86
4.4. DISCUSSÕES	90
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

1. INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO AO TEMA

O Brasil possui uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo segundo dados da *International Energy Agency* (IEA). O país é o terceiro maior gerador de energias renováveis (IEA, 2018). No setor, predominam as hidrelétricas, seguidas de termelétricas. Contudo, a atual conjuntura é ainda mais favorável à expansão de fontes alternativas como a energia solar e também a energia eólica. Em particular a partir de 2017, com a 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) em Paris, França, passa a vigorar o “Acordo de Paris”, aprovado pelos 195 países, que foi resultado desta conferência e visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), buscando, portanto, ações que impliquem no desenvolvimento sustentável. Uma ferramenta para ajudar a compreender a origem de emissões entre os ‘top’ emissores - que juntos, emitem 72,28% dos gases de efeito estufa em todo o Planeta - foi criada pelo *World Resources Institute* (WRI). Nesta, verifica-se que o setor energético é globalmente um dos maiores responsáveis por tal emissão (ZOTTIS, 2015).

Após o Acordo de Paris ficou a cargo de cada país definir as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), inicialmente indicadas como pretensões. O Brasil hoje conta com a NDC do Brasil no contexto do Acordo de Paris aprovada pelo congresso e entregue às Nações Unidas. Conforme o Ministério do Meio Ambiente (MMA s/d), com a NDC do Brasil foi adotado o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, tendo como base o ano de 2005, atingindo uma redução de 37%, em 2025, e de 43%, em 2030. Para tal existem compromissos acordados, dentre eles: ampliar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética do Brasil para aproximadamente 18% até 2030; promover reflorestamento e restauro de 12 milhões de hectares de florestas e atingir uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030.

O processo de urbanização é global e crescente, representando uma intensificação dos riscos das alterações climáticas em relação às cidades, que

normalmente já vêm comprometendo as condições ambientais. O *World Urbanization Prospects* (UN, 2018) aponta, através de projeções da dinâmica populacional urbana e rural até o ano de 2050, as perspectivas de incremento da ocupação urbana. Para o Brasil observa-se a mesma dinâmica com aumento expressivo da população urbana (Figura 1).

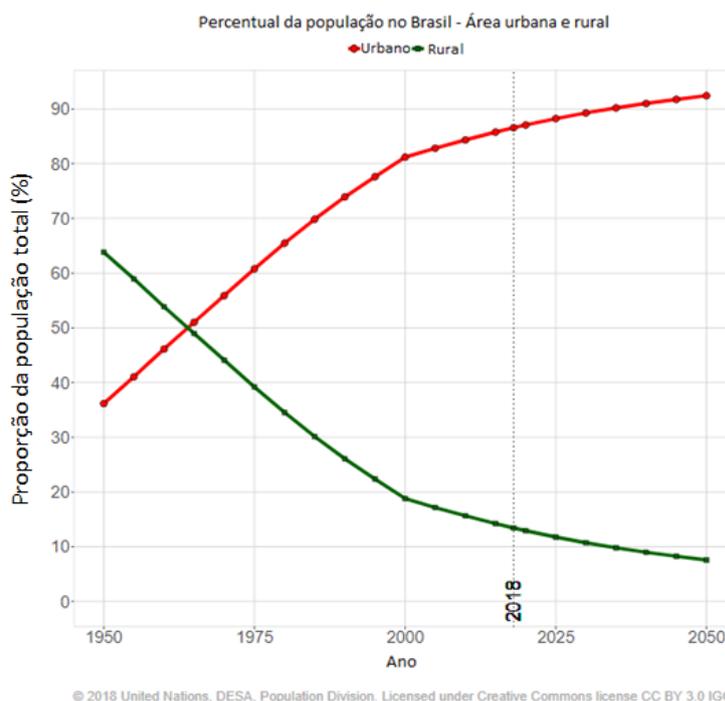


Figura 1: Porcentagem da população em áreas urbanas e rurais, no Brasil. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*.

A partir do gráfico da Figura 1 é possível observar que apesar de uma redução no ano de 2000, do crescimento da curva de urbanização e decréscimo da curva da população rural, não ocorreu uma estabilização no processo de migração.

As cidades interferem e sofrem a interferência do meio ambiente. Pode-se dizer que as cidades estão em um processo constante de adaptação à realidade apresentada, sejam estas alterações planejadas ou espontâneas. Desafortunadamente estas mudanças ou ações de intervenção urbana nem sempre partem de um planejamento com foco na melhoria da vida nas cidades. Neste contexto, é importante associar as questões ambientais com ações no meio urbano, planejando com uma energia limpa para a cidade, de modo que

toda a população desfrute desta através de serviços públicos como iluminação pública, além de sua aplicação no uso residencial.

Nesta dissertação será abordada a utilização da energia solar fotovoltaica, uma energia renovável, aplicada ao meio urbano, sem a necessidade de utilizar redes de distribuição, através de um estudo prático realizado em uma área da região do Porto Maravilha na cidade do Rio de Janeiro.

No estudo prático, aqui desenvolvido, foi realizada uma análise comparativa da capacidade de geração de energia e de consumo para duas configurações da morfologia urbana propostas por Marques (2018). Para tanto, foi elaborado um cenário de consumo energético para um domicílio e expandido para o bairro.

Este estudo foi, portanto, aplicado à pesquisa de dissertação de mestrado profissional “Análise microclimática e avaliação LEED *Neighborhood*: um estudo de caso da morfologia urbana do Porto Maravilha” (Marques, 2018) que propõe duas configurações urbanas de densidades construídas similares, mas que possuem formas urbanas e tipologias completamente diferentes.

A primeira proposta, Cenário I, atendeu à Lei Complementar, LC 101/2009, que estabeleceu a Operação Urbana Consorciada do Porto Maravilha. No Cenário I pode ser observado um importante processo de verticalização com quadras grandes e uma maior área livre entre as edificações. A segunda proposta – Cenário II, foi desenvolvida tendo como base ações da certificação ambiental LEED – *Neighborhood (Leadership in Energy and Environmental Design - for Neighborhood Development)*, o LEED para Desenvolvimento de Bairros. O Cenário II atende não só às questões da escala urbana, tornando o espaço com uma melhor valorização da ‘caminhabilidade’, bem como apresentou os resultados de temperatura do ar e umidade mais adequados ao clima da cidade do Rio de Janeiro. A morfologia urbana influencia diretamente o microclima, uma vez que através da forma urbana e dos materiais de cobertura do solo é possível amplificar ou reduzir os efeitos climáticos, sendo possível contribuir para o efeito estufa (BARBOSA, ROSSI e DRACH, 2014).

Foram desenvolvidas (Marques, 2018) simulações computacionais utilizando a ferramenta computacional ENVI-met (BRUSE, 2010). As imagens

da Figura 2 associadas à escala de cores, onde os tons de azul representam as temperaturas mais baixas e os vermelhos as mais elevadas, mostram a variação da temperatura do ar ao nível do pedestre.

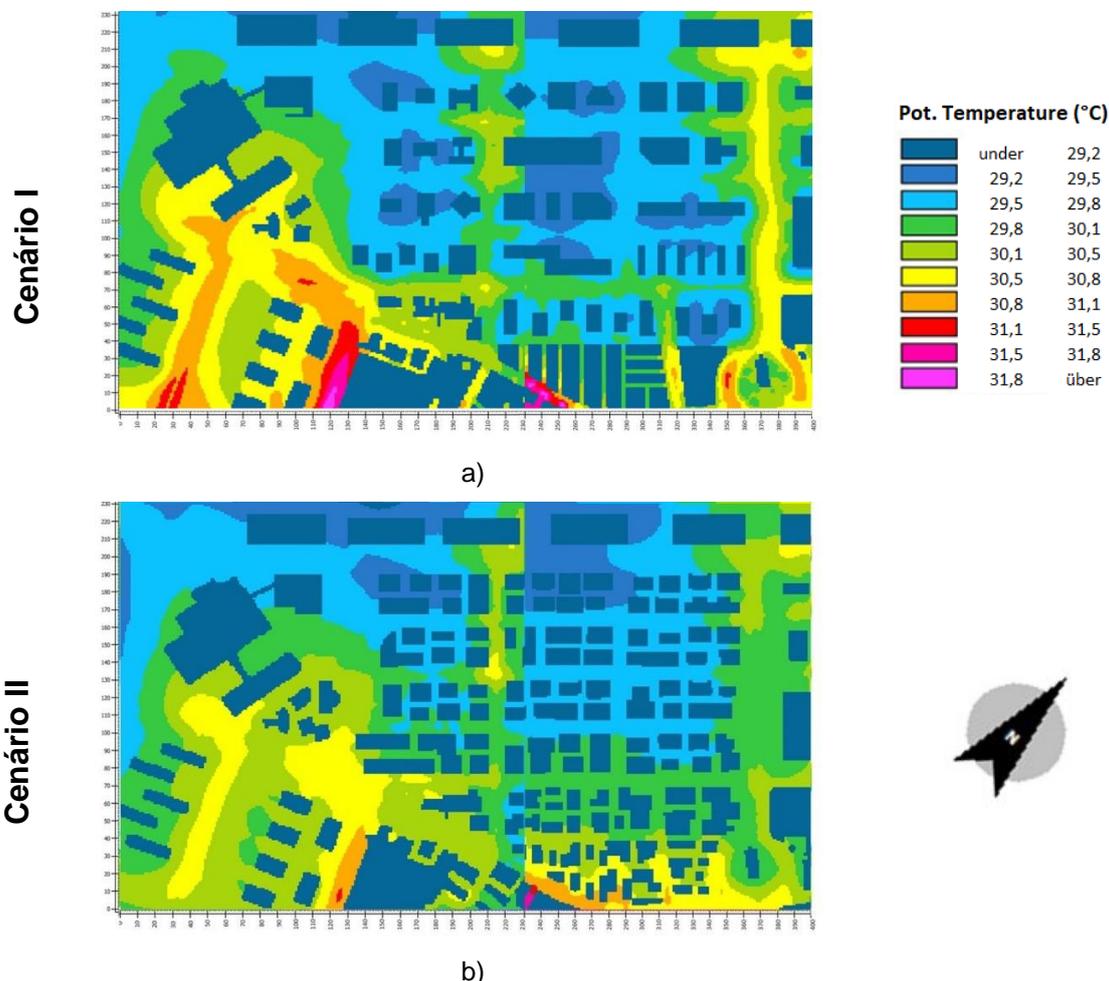


Figura 2: Temperatura do Ar (°C) para as duas tipologias do bairro; a) Cenário I e b) Cenário 2. Marques, 2018.

A partir das imagens da Figura 2 pode-se observar que os resultados para o Cenário I (configuração com maior verticalização) apresentam valores de temperatura do ar, ao nível do pedestre, mais elevados, atingindo em alguns trechos uma diferença de 3°C. Fato que para uma cidade de clima quente como a cidade do Rio de Janeiro, não é desejável.

Esta dissertação utilizou as configurações urbanas propostas por Marques para verificar se uma morfologia pautada por princípios sustentáveis (Cenário II) também é mais adequada para a produção de energias renováveis.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é estudar a aplicação da energia solar fotovoltaica no meio urbano e verificar sua aplicação em diferentes morfologias urbanas.

Como objetivos secundários podem ser apontados:

- Estudar a aplicação de uma estratégia utilizando uma energia renovável;
- Avaliar a geração da energia no meio urbano, considerando menores perdas no sistema de distribuição da mesma;
- Estudar as variações entre geração e capacidade de atender à demanda para uma determinada densidade urbana, mas para diferentes configurações da morfologia urbana;
- Aplicar o estudo em uma proposta que tenha uma comprovação de certa eficiência, como a configuração baseada no LEED-NB que mostra a presença de temperaturas menos elevadas, além de atender a um selo internacional (LEED);
- Dar continuidade a projetos desenvolvidos anteriormente por profissionais do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana - PEU legitimando sua importância.

1.3. METODOLOGIA

O estudo baseou-se em uma pesquisa exploratória, que através de um estudo prático procurou evidenciar um fenômeno.

O procedimento metodológico para o desenvolvimento desta dissertação pode ser descrito como composto por 6 fases interconectadas: levantamento de dados (bibliográfico e bibliométrico) para delimitação do referencial teórico, definição da metodologia, apresentação do problema, desenvolvimento da pesquisa, resultados e discussões, considerações finais e perspectivas (Figura 3).

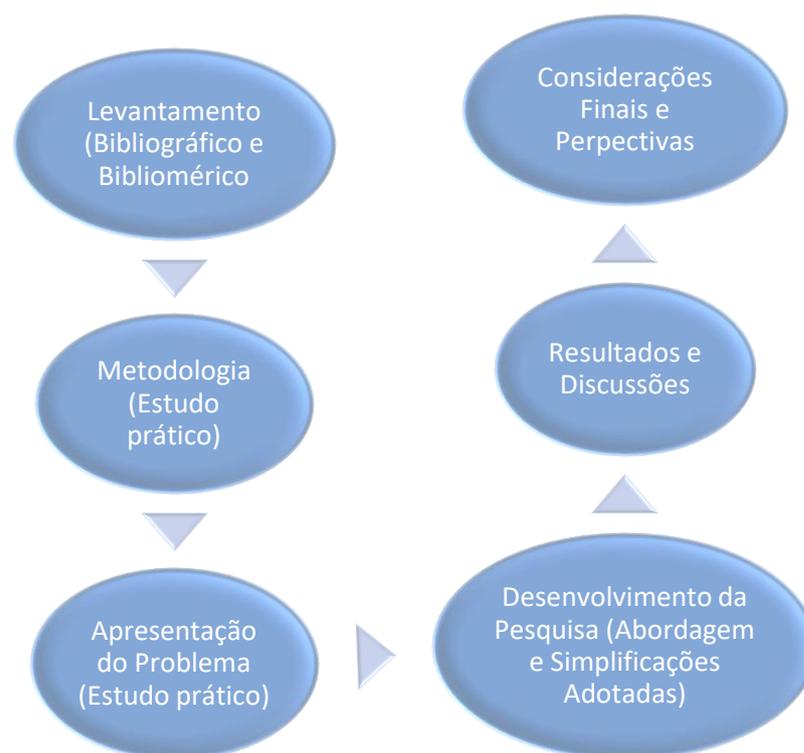


Figura 3: Organograma da metodologia desenvolvida.

Inicialmente foi efetuado o levantamento bibliográfico e a definição dos referenciais teóricos que fundamentam o trabalho. Esta etapa foi desenvolvida com a utilização de manuais e normas técnicas, livros, artigos acadêmicos de congressos e periódicos, dissertações, teses e outros meios que permitiram o embasamento deste trabalho. O levantamento envolveu as questões de eficiência energética, energia solar fotovoltaica e seu uso no meio urbano além da certificação ambiental LEED – *Neighborhood (Leadership in Energy and Environmental Design – for Neighborhood Development)*, o LEED para Desenvolvimento de Bairros.

Concomitantemente ao levantamento inicial foi desenvolvida a bibliometria do tema com variações nas palavras de busca para possibilitar a identificação da atual relevância do tema, dando suporte à justificativa da escolha.

O levantamento bibliométrico permite a avaliação dos aspectos quantitativos de produção, abrangência e uso das informações assinaladas em relação ao tema de estudo. A bibliometria, portanto, auxilia a fundamentação da importância e da justificativa do desenvolvimento de um determinado tema delineando um panorama do estado da arte, da dinâmica de sua evolução ao

longo dos anos, da interface das subáreas permitindo a conexão entre outras áreas de estudo (RANJBAR-SAHRAEI; NEGENBORN, 2017).

O levantamento dos artigos científicos foi efetuado na plataforma Web of Science através do Portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Este banco de citação foi selecionado por ser amplamente utilizado para pesquisa e levantamento de informações. A *Web of Science* foi criada em 1997 e pode ser considerada o maior banco de citações disponível atualmente, contando com mais de 1 bilhão de referências, envolvendo o período de 1900 até o presente (CLARIVATE ANALYTICS, 2018).

Foi desenvolvido o processo de busca das palavras chave da pesquisa para a construção da base de análise. As buscas foram efetuadas em 24.07.2018, adotando-se os seguintes critérios de inclusão: (1) apenas artigos científicos; (2) recorte temporal de 2008 a 2017 - junho; (3) detalhamento do recorte temporal de 2014 a 2017 - junho; (4) busca realizada nos campos título, resumos e palavras-chaves (Title, Abstract e Keywords), (5) utilizando-se os termos “*photovoltaic energy and urban*”, “*photovoltaic energy and cities*”, “*solar energy and urban*” e “*solar energy and cities*”. Não está descartada a inserção de outros termos de busca.

A Tabela 1 e o gráfico da Figura 4 apresentam o número de publicações obtido através da *Web of Science*, no Portal dos Periódicos da CAPES, possibilitando notar a evolução do interesse no tema deste trabalho ao longo dos últimos 10 anos.

Tabela 1: Desenvolvimento do uso em publicações, via *Web of Science*, dos termos relacionados ao tema da pesquisa.

Termo de Busca	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
“ <i>photovoltaic energy and urban</i> ”	14	19	25	28	42	40	53	68	80	113	553
“ <i>photovoltaic energy and cities</i> ”	8	26	24	21	51	60	80	109	147	153	766
“ <i>solar energy and urban</i> ”	47	60	78	83	111	123	171	207	274	326	1.637
“ <i>solar energy and cities</i> ”	49	95	83	105	151	171	225	286	382	410	2.184

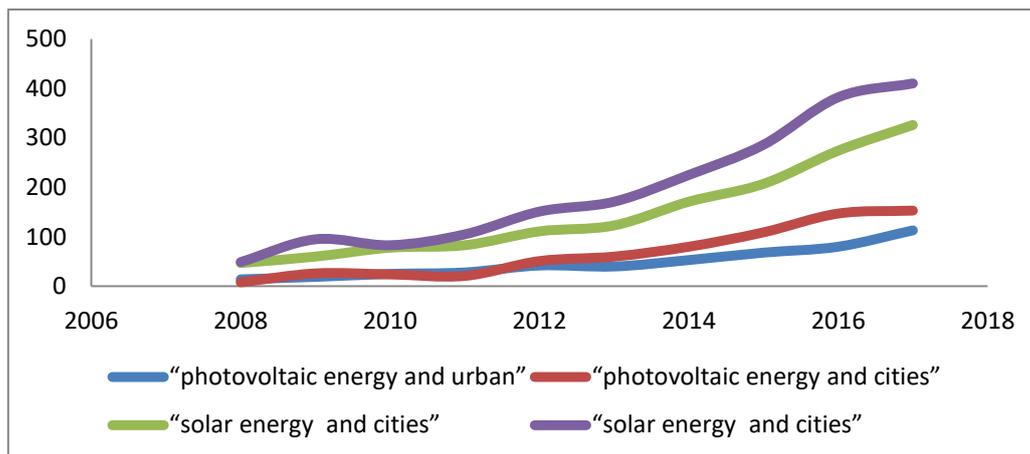


Figura 4: Gráfico apresentando o crescimento do uso em publicações, via *Web of Science*, dos termos relacionados ao tema da pesquisa.

A partir da Tabela 1 e do gráfico da Figura 4 é possível observar que a partir de 2011 ocorreu um importante crescimento do uso destes termos em publicações listadas na base de dados *Web of Science*, indicando um maior interesse no tema. Em valores percentuais pode ser apontado o crescimento por cada grupamento de busca: “*photovoltaic energy and urban*” – 707,1%, “*photovoltaic energy and cities*” – 1.812,5%, “*solar energy and urban*” – 593,6% e “*solar energy and cities*” – 736,7.

Na Figura 5 é apresentado um exemplo gerado com os arquivos obtidos, utilizando o software VOSviewer® v.1.6.5.. Trata-se de um mapa indicando as conexões entre palavras frequentes nos arquivos inseridos no programa. São formados “clusters”, conjuntos por semelhança interligados.

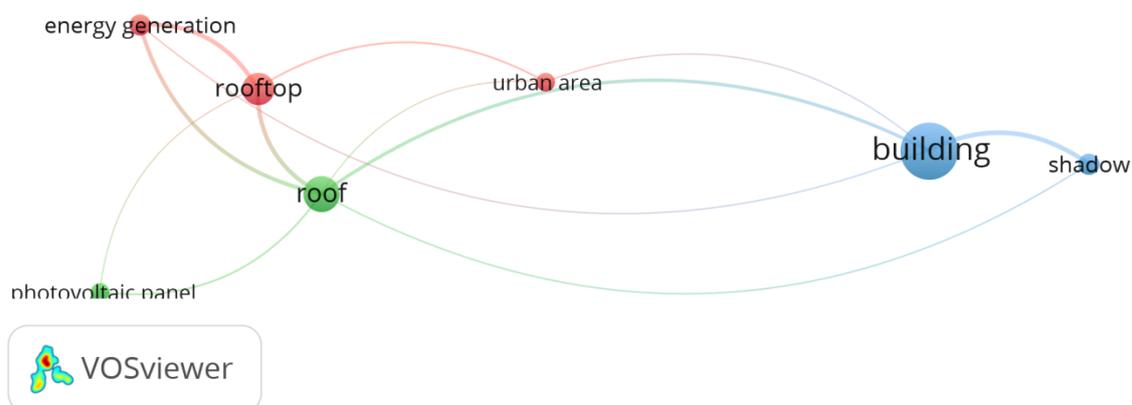


Figura 5: Mapa de visualização das conexões e agrupamentos.

por Marques (2018), onde um modelo com elevado índice de verticalização (Cenário I) é comparado a outro de densidade similar, mas com uma ocupação mais horizontal (Cenário II) e com menor índice de verticalização.

A proposta foi desenvolver o cálculo de geração e consumo de energia para as duas configurações urbanas supondo essa densidade construída semelhante. Algumas simplificações foram necessárias para tal procedimento, como, por exemplo, a soma das superfícies de coberturas gerando uma única superfície para cada uma das configurações e o sombreamento não foi levado em conta. Este procedimento é detalhado na apresentação do estudo prático.

1.4. JUSTIFICATIVA

As preocupações com o aquecimento global trazem a necessidade do mundo em trabalhar com a utilização de recursos renováveis. Atrelado a isto, tem-se também o interesse de reduzir custos econômicos e ambientais. O uso do selo LEED NB busca fomentar a construção de bairros de forma sustentável e/ou mais energeticamente eficientes.

Existe uma crescente demanda nacional e internacional e os estudos na área de energia solar tem avançado. Os levantamentos bibliográfico e bibliométrico apontam o crescente interesse nesta direção com indícios de sua aplicação diretamente no meio urbano, ou seja, na proximidade da área de consumo de energia. O contexto urbano aparece no conjunto relacionado ao Brasil, em vermelho, na Figura 6, resultado do levantamento bibliométrico, possível indicação da crescente produção acadêmica envolvendo este tema.

A geração de energia solar fotovoltaica no meio urbano é viável. A geração distribuída (GD) permite isto. Para o Ministério de Minas e Energia - MME (2017), esta modalidade pode ser definida como a geração de energia elétrica próxima ao local de consumo, ou no próprio estabelecimento consumidor. A energia excedente pode ser vendida para a distribuidora local. A Figura 7 apresenta um esboço de uma instalação típica, no qual pode ser visualizada a sequência produção, consumo e retorno do excedente para a rede.



Figura 7: Esquema da geração distribuída.
MME (2017).

Como pode ser observado na Figura 7, a instalação dos painéis está localizada próxima à área de consumo, sendo este um fator positivo quando se fala de redução de perdas de energia elétrica na distribuição de energia. No modelo esquemático observa-se ainda que, a conexão com a rede através da geração distribuída (GD) está posicionada entre o contador de vendas e contador de consumo, este posicionamento é importante para análise quantitativa da energia produzida/consumida, tanto para o consumidor-produtor quanto para a concessionária de energia.

A escolha do aproveitamento do espaço construído para a aplicação da energia solar fotovoltaica, foi realizada com o intuito de explorar de forma sustentável o espaço. Desta forma, torna-se interessante aplicar esta fonte energética nas construções presentes no bairro, ao invés de propor a construção de uma usina ou uma fazenda solar para atender energeticamente este mesmo bairro.

A partir destas colocações pode-se inferir que o tema desta dissertação está inserido nas necessidades globais de exploração de meios de atuar com recursos naturais visando reduzir custos financeiros e ambientais e promovendo espaços de qualidade.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está composto por cinco capítulos. O Capítulo 1 que é introdutório, além de apresentar o tema de estudo, expõe os objetivos e a metodologia utilizada para sua concretização, assim como, a justificativa para sua realização.

O Capítulo 2 traz a fundamentação teórica deste trabalho abrangendo os diversos aspectos envolvidos na pesquisa. Neste, são apresentados os conceitos de eficiência energética, energia renovável com enfoque em energia solar – tema de estudo, buscando exemplos concretos de sua aplicação em áreas urbanas. Também se apresenta o *Leed Neighborhood*, referência para estudo de vizinhança.

No Capítulo 3 é apresentado o estudo prático e a descrição de sua análise. Os resultados e discussões estão no Capítulo 4 onde são comentados e apresentados os resultados obtidos através do estudo prático. O Capítulo 5 traz as considerações finais deste trabalho, apontando ainda as possíveis perspectivas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conteúdos relevantes ao tema desta pesquisa e fornece o embasamento necessário à seleção do estudo prático e desenvolvimento das análises.

A seção 2.1 traz o conceito de eficiência energética. O subitem (2.1.1) explana sobre a legislação relacionada a este tema. Na sequência, (2.1.2) expõe-se sobre eficiência energética em sistemas de iluminação. Posteriormente, (2.1.3) apresenta sistemas de condicionamento de ar, analisando-se o mesmo conceito.

A seção 2.2 aborda a questão da energia solar fotovoltaica. No subitem (2.2.1) é apresentado o funcionamento do módulo fotovoltaico. Posteriormente, (2.2.2) caracteriza o panorama internacional da energia solar, seguido do (2.2.3) panorama brasileiro da energia solar. O potencial de geração do Brasil é

apresentado no subitem 2.2.4. Em seguida, têm-se (2.2.5) o custo da energia solar fotovoltaica no Brasil – setor residencial.

Na seção 2.3 são apresentados exemplos do uso de energia solar no meio urbano. O subitem (2.3.1) mostra uma ciclofaixa movida à energia solar, na sequência, o (2.3.2) traz um aeroporto movido a essa mesma energia. Um bairro solar situado na Alemanha é apresentado no subitem 2.3.3, e por fim, (2.3.4) mostra um sistema de iluminação pública advinda da energia solar.

Na seção 2.4 é apresentado o conceito de tipologia urbana, abrangendo a compactação de cidades ou regiões, além de uma breve explanação sobre *Leed Neighborhood*.

2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A energia se apresenta de diversas formas na natureza, podendo ser convertidas entre si. Essa possibilidade de conversão é uma característica essencial das formas energéticas. A Figura 8 apresenta as principais formas de conversão entre seis formas básicas de energia.

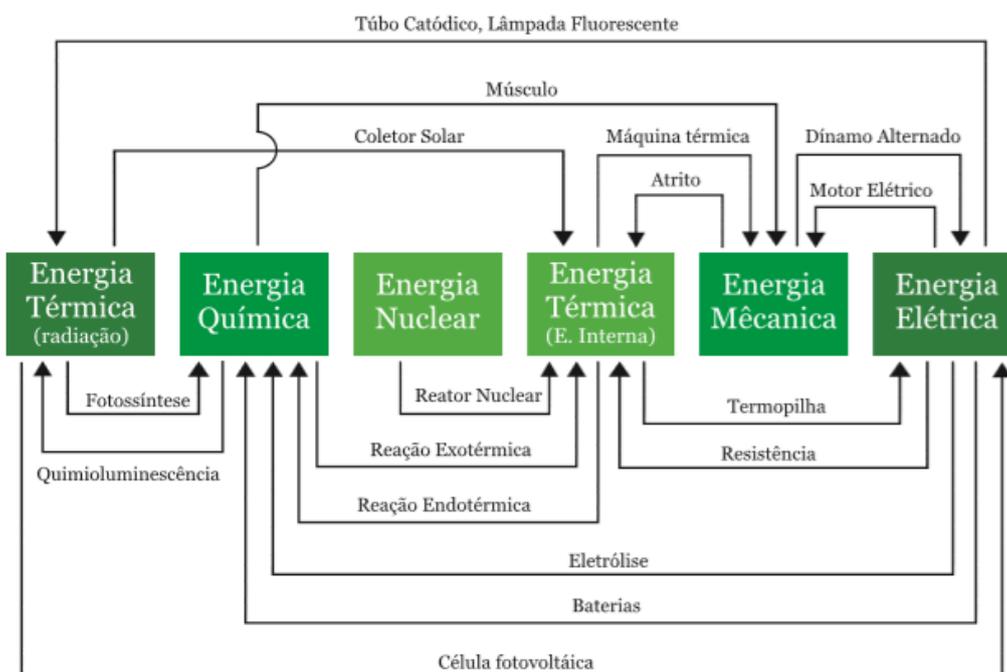


Figura 8: Processos de conversão energética.
Viana *et al.*, 2012.

A partir da imagem da Figura 8 é possível observar a dinâmica da relação entre as diferentes formas de energias e a ação que permite a transformação entre elas.

Todos os processos de conversão energética, independentemente dos sistemas considerados e das formas de energia envolvidas, são regidos por duas leis físicas fundamentais: a Lei da Conservação da Energia e a Lei da Dissipação da Energia (em todos os processos reais de conversão energética, sempre deve existir uma parcela de energia térmica como produto).

A Lei da Conservação de Energia, segundo a qual energia não se cria e não se destrói, e também é conhecida como Primeira Lei da Termodinâmica e permite efetuar balanços energéticos, determinar perdas e quantificar os fluxos energéticos. Segundo Viana *et al.* (2012), o conceito de desempenho ou eficiência energética de um sistema energético, η_{energ} , baseia-se também nesta lei, relacionando o efeito energético útil com o consumo energético no sistema. Esta relação pode ser observada nas Equações 1 e 2, válida para um sistema em regime permanente, isto é, quando não há variação da energia no sistema.

$$\begin{array}{ccc} \xrightarrow{E_{consumida}} & \text{Sistema Energético} & \begin{array}{l} \xrightarrow{E_{\text{útil}}} \\ \xrightarrow{Perdas} \end{array} \\ & \frac{\partial}{\partial t} = 0 & \end{array} \quad (1)$$

$$\eta_{energ} = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{consumida}} = \frac{E_{consumida} - Perdas}{E_{consumida}} = 1 - \frac{Perdas}{E_{consumida}} \quad (2)$$

Desta forma, o balanço energético pode ser entendido a partir da Equação 2 onde a chamada $E_{\text{útil}}$ está diretamente associada a $E_{consumida}$ sendo subtraídas as perdas do sistema.

Pode-se dizer que a eficiência energética ocorre quando o sistema energético opera de forma otimizada atendendo às demandas com um consumo reduzido e perdas mínimas. Do ponto de vista da engenharia civil e arquitetura, a eficiência energética deve ser um fator inerente ao potencial da

edificação em possibilitar conforto ambiental aos seus usuários, com baixo consumo de energia.

O conforto ambiental pode ser definido como sendo um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Um edifício pode ser considerado mais energeticamente eficiente que outro ao proporcionar a mesma sensação de bem estar para os usuários, utilizando-se menos energia. A eficiência energética tem sido aplicada em instalações e equipamentos elétricos a fim de reduzir o consumo energético, como na iluminação, por exemplo. Conforme explana Santos (2007), a iluminação é responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial.

Além da iluminação, outras aplicações do uso eficiente da energia podem ser encontradas em: sistemas de refrigeração, fator de potência, sistemas de ar comprimido, equipamentos elétricos, motores elétricos. Outra contribuição interessante para a eficiência energética seria o desenvolvimento de programas de conscientização relacionados ao uso da energia.

2.1.1. A Lei de Eficiência Energética

A Lei 10.295/2001 (BRASIL, 2001) dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Em seu artigo 2º, prevê que o poder executivo estabelecerá “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país”. No artigo 4º, a lei estabelece que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país”. Este foi um marco muito importante para a eficiência energética no Brasil.

Em 2001 foi instituído o Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, através do Decreto 4.059/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Dentre outras atribuições, este comitê é responsável pela elaboração das

regulamentações específicas para cada tipo de aparelho consumidor de energia e o estabelecimento do Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados por cada equipamento regulamentado.

Segundo Viana (2012), o CGIEE iniciou seus trabalhos em julho de 2002 e obteve resultados concretos que se traduziram em economia de energia significativa para o país ao longo do tempo. Inicialmente foram desenvolvidos os seguintes produtos principais:

- a. Plano de Trabalho para implementação da Lei Nacional de Eficiência Energética;
- b. Regulamentação específica de motores;
- c. Decreto Presidencial nº 4.508 de 11 de dezembro de 2002 que dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução.

O primeiro equipamento selecionado pelo CGIEE para ser objeto da regulamentação específica foi o motor elétrico trifásico, em função do significativo consumo de energia – estimado em cerca de 30% do consumo total do país e 50% do consumo do setor industrial. Da mesma forma, o estabelecimento de regulamentação específica para lâmpadas fluorescentes compactas propiciará a melhoria da qualidade geral dos produtos disponíveis, com a retirada do mercado de produtos de baixa qualidade. A consolidação da implementação da Lei Nacional de Eficiência Energética produzirá, como consequência, os seguintes fatos (VIANA, 2012):

- a. Retirar do mercado, no médio e longo prazo, os equipamentos que apresentam menor eficiência energeticamente;
- a. Obter economia de energia ao longo do tempo, ou seja, a médio e longo prazo;
- b. Promover o desenvolvimento tecnológico, através da fabricação de equipamentos energeticamente mais eficientes;
- c. Promover o aumento da competitividade industrial do país;
- d. Reduzir os gastos dos consumidores;
- e. Contribuir para a redução dos impactos socioambientais através do uso de equipamentos que consomem menos energia.

Em paralelo a aplicação da Lei de Eficiência Energética, tem-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) estabelecendo padrões e/ou etiquetas de eficiência energética dos equipamentos, de forma voluntária. Viana (2012), informa que o Brasil começou a implementar o PBE com o apoio da Eletrobrás/Procel e do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO, a partir de 1985. Entre os vários equipamentos já etiquetados podem ser destacados motores elétricos trifásicos, refrigeradores e congeladores (freezers), condicionadores de ar, coletores solares, lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletromagnéticos, fogões e fornos a gás.

2.1.2. Eficiência Energética na Iluminação

A substituição de lâmpadas é a prática mais comum na iluminação quando o objetivo é reduzir gastos energéticos advindos da iluminação de ambientes. Contudo, esta ação isolada não caracteriza eficiência energética, mas uma prática relacionada a este conceito. O ideal seria elaborar um projeto capaz de otimizar o uso da energia. Por exemplo, considerando uma lâmpada fluorescente, “os acendimentos muito frequentes encurtam a vida útil da lâmpada. A eficiência energética do conjunto depende da utilização dos equipamentos auxiliares adequados e com poucas perdas” (ELEKTRO, s/d).

Contudo, é possível citar outras práticas, com o mesmo intuito. Como por exemplo, aproveitar a iluminação natural, não ligando a luz elétrica onde esta não seja de fato necessária para o desenvolvimento de atividades, desligar lâmpadas de locais desocupados, utilizar tintas claras nas paredes e tetos e manter limpas as janelas e luminárias. Além disso, é possível, nas instalações elétricas, dividir os circuitos de iluminação possibilitando seu uso parcial, sem prejuízo do conforto.

No Quadro 1 é possível verificar as características de diversos tipos de lâmpadas, e entender o porquê da prática de troca do tipo de lâmpada ser muito utilizada para redução do consumo.

Quadro 1: Principais características das lâmpadas (Viana, 2012).

Tipo	Características gerais
Incandescente Comum	Excelente reprodução de cores, baixa eficiência luminosa, vida mediana de 1.000 horas, não exige equipamentos auxiliares.
Incandescente Halógena	Excelente reprodução de cores, vida mediana de 2.000 horas, eficiência luminosa maior que a incandescente comum, vários tamanhos, inclusive com refletores.
Fluorescente	Excelente a moderada reprodução de cores, boa eficiência luminosa, vida mediana de 7.500 a 20.000 horas, exige equipamentos auxiliares: reator e starter (partida convencional).
Fluorescente Compacta	Boa reprodução de cores, boa eficiência luminosa, vida mediana de 3.000 a 12.000 horas, exige equipamento auxiliar (reator), possui o mesmo bocal da lâmpada incandescente.
Mista	Moderada reprodução de cores, vida mediana de 8.000 horas, eficiência luminosa moderada, não exige o uso de equipamento auxiliar.
Vapor de Mercúrio	Moderada reprodução de cores, vida mediana de 12.000 a 24.000 horas, boa eficiência luminosa, exige o uso de equipamento auxiliar (reator).
Vapor metálico	Boa reprodução de cores, vida mediana de 3.000 a 20.000 horas, boa eficiência luminosa, exige o uso de equipamento auxiliar (reator).
Vapor de sódio alta pressão	Baixa reprodução de cores, alta eficiência luminosa, vida mediana de 12.000 a 55.000 horas, exige o uso de equipamentos auxiliares (reator e ignitor).
LED	Boa reprodução de cores, vida mediana de 25.000 a 50.000 horas, boa eficiência luminosa, alto custo de investimento.

As informações do Quadro 1 mostram a grande variação de vida mediana das lâmpadas apresentando ainda a sua capacidade de reproduzir cores, fator importante para o conforto visual dos usuários dos espaços. Desta forma é importante que a opção por uma ou outra considere a vida mediana, o consumo de energia e a capacidade de produzir as cores.

Em relação ao consumo de energia, uma lâmpada incandescente de 100 W possui um fluxo luminoso de 1.380 lm, e uma lâmpada fluorescente compacta de 25 W possui um fluxo luminoso de 1.300 lm, ou seja, praticamente a mesma iluminação, porém com 75% a menos de energia associada (NISKIER e MACINTYRE, 2011).

2.1.3. Eficiência energética no condicionamento de ar

A eficiência energética de equipamentos de condicionamento de ar está diretamente relacionada ao dimensionamento ideal dos equipamentos para cada espaço e função a ser desempenhada, otimizando o consumo, bem como à rede de instalação elétrica adequada ao consumo.

Medidas paralelas podem ser tomadas no intuito de evitar perdas. A Companhia Paranaense de Energia Elétrica – COPEL apresenta uma lista de procedimentos para obter eficiência energética em sistemas de condicionamento de ar:

- “Regular o termostato do aparelho para uma temperatura ambiente que proporcione conforto;
- Limpar periodicamente os filtros, trocando-os quando necessário;
- Verificar se as correias dos ventiladores estão ajustadas e perfeitas;
- Utilizar cortinas e persianas para evitar a incidência de raios solares nos ambientes com condicionares de ar;
- Sempre que possível ligar o condicionador de ar uma hora após o início do expediente e desligue uma hora antes do seu término;
- Manter fechadas as portas e janelas nos ambientes com condicionadores de ar;
- Manter desobstruídas as grelhas de circulação de ar;
- Verificar se o tratamento de água gelada e de condensação está sendo adequado;
- Utilizar, preferencialmente, lâmpadas fluorescentes em ambientes climatizados;
- Desligar o aparelho ao se ausentar do ambiente por longo tempo;
- e
- Dar preferência ao uso de condicionadores de ar que possuem o Selo Procel/Inmetro de Economia de Energia” (COPEL, 2016).

2.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

As energias renováveis são fontes de energia presentes na natureza, consideradas inesgotáveis. Pode-se citar a solar, eólica, biomassa, geotérmica, ondas e marés, além das pequenas centrais hidrelétricas, entre outras. Estas começam a disputar entre si maiores esforços no sentido de aumentar a eficiência tecnológica dos equipamentos de conversão e assim gerar eletricidade em maior escala.

A energia solar é a fonte primária de todas as outras energias, trata-se de um recurso abundante e inesgotável.

O Brasil tem sido um importante ator nas discussões internacionais sobre os efeitos e mecanismos de compensação e redução das emissões de gases de efeito-estufa, comprometendo-se a oferecer maior diversificação de sua matriz energética. No país, a energia eólica encontra-se em estado avançado em relação às demais fontes supracitadas, sendo considerada uma fonte alternativa de energia. Do mesmo modo, a energia solar vem se tornando cada vez mais utilizada.

Para a expansão das energias renováveis a indústria passou por um processo de transferência tecnológica, e a inovação, já é uma realidade para o setor energético dentro das cidades. Salienta-se que a apropriação tecnológica não é um processo estritamente técnico, considera-se também a estrutura socioeconômica do lugar. Assim sendo, pode haver a necessidade de apoio ou até mesmo incentivos financeiros para esta.

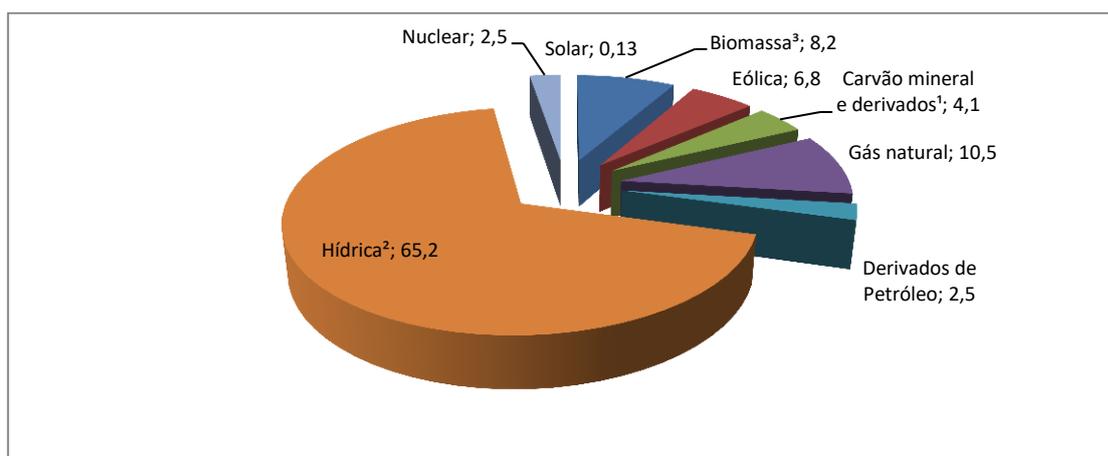
Para Amado e Scarpinela (2005, p.2):

“a transferência tecnológica constitui-se em uma valiosa ferramenta para difundir o uso das energias renováveis, mas sua utilização não pode ser vista como um problema estritamente técnico ou ambiental.” (SCARPINELA, 2005, p.2).

As energias renováveis têm contribuindo em larga escala para a obtenção de energia limpa. A energia solar ganha destaque na atualidade, expandindo-se por diversos países.

A Figura 9 apresenta a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2016. Pode-se notar que a matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável. 68,1% de toda energia elétrica produzida no

país é derivado da geração hidráulica através das hidrelétricas tradicionais e as PCH (pequenas centrais hidrelétricas), observa-se também que a contribuição da energia solar é muito pequena, logo investimentos e incentivos para a energia solar fazem-se necessários para difundir esta fonte e assim tornar a matriz energética menos dependente de fatores climáticos (chuvas) para abastecer as bacias onde se encontram as hidrelétricas tornando, assim, a matriz elétrica brasileira mais robusta e diversificada.



Notas: 1. Inclui gás de coqueria 2. Inclui importação de eletricidade 3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.

Figura 9: Percentual da oferta Interna de Energia por fonte. (BEN, 2018). Adaptado pela autora.

As fontes renováveis representam 80,4% (biomassa, eólica, hídrica e solar) da oferta interna de eletricidade no Brasil (Figura 9).

A energia solar fotovoltaica é a conversão direta da energia solar radiante em energia elétrica (em corrente contínua), é basicamente a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (chamado efeito fotovoltaico) através de um dispositivo fabricado com material semicondutor chamado de célula fotovoltaica.

As tecnologias aplicadas na produção das células fotovoltaicas são classificadas em três gerações. A primeira é dividida em duas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representa mais de 85% do mercado, por ser considerada tecnologia consolidada e confiável e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível (PINHO e GALDINO, 2014).

A segunda geração, comercialmente chamada de filmes finos, é dividida em três: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe).

A terceira geração ainda se encontra em fase de pesquisa e desenvolvimento (P&D), e também é dividida em três: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas e poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*)

A Figura 10 mostra a evolução da eficiência das células fotovoltaicas verificada nos períodos de 1990 a 2010. Analisando a mesma pode-se concluir que as células multijunção para concentração (III-V MJ Conc), ainda em fase de P&D, apresentou uma eficiência bem superior às demais.

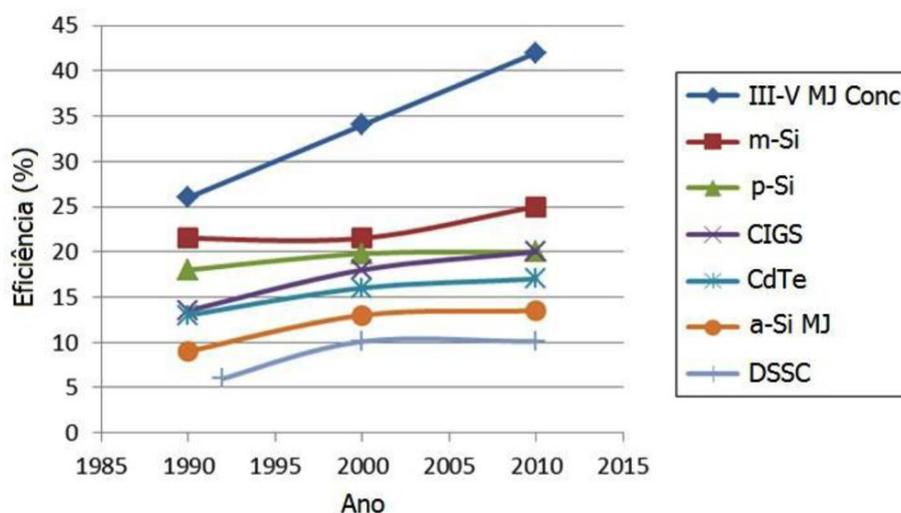


Figura 10: Desenvolvimento das Células Fotovoltaicas.
GREEN, 2011: Adaptado pela autora.

Nota-se (Figura 10) que a segunda célula mais eficiente dentre as que estão disponíveis comercialmente é a silício monocristalino (m-Si), conforme já mencionado anteriormente.

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).

Quanto ao posicionamento dos painéis para melhor aproveitamento da radiação 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 do que quando são utilizados painéis fixos, que não acompanham a trajetória diária do Sol.

A capacidade de um módulo fotovoltaico é medida por uma unidade chamada *watt pico* (Wp) e está associada a um conjunto de condições instantâneas de intensidade e espectro da radiação solar incidente e temperatura da célula fotovoltaica. A condição padrão para plotagem das curvas e testes dos módulos e definição da sua potência nominal (em Wp) é definida para radiação de 1000 W/m^2 (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio-dia), e temperatura de 25°C na célula - a eficiência da célula fotovoltaica é reduzida com o aumento de temperatura (TOLMASQUIM, 2004).

Dois fatores principais afetam a eficiência da conversão: são a temperatura ambiente de operação (uma vez que esta pode contribuir para o consequente aumento da temperatura da célula) e a intensidade da irradiação solar incidente sobre a célula. Este último fator é afetado tanto pela nebulosidade local quanto pelo ângulo de inclinação da célula em relação ao sol. A eficiência da conversão se reduz ao longo da vida útil das células a taxa próxima de 1% ao ano (EPE, 2012). A Figura 11 mostra a característica de tensão e corrente de um painel fotovoltaico em diferentes temperaturas das células e níveis de irradiação.

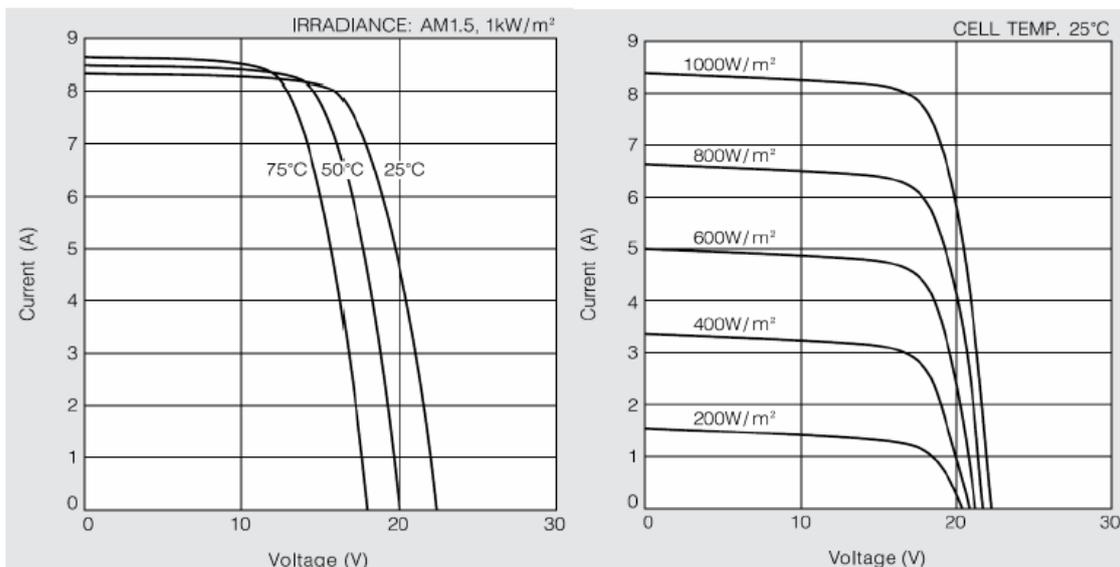


Figura 11: Curvas características das células fotovoltaicas Kyocera apud EPE, 2012.

A partir dos gráficos da Figura 11, verifica-se que em relação a:

- Intensidade da radiação solar – mudanças na intensidade de radiação tem resultado direto na corrente de saída do dispositivo, impactando na energia gerada;
- Temperatura – temperaturas muito elevadas ocasionam redução na tensão e elevação de corrente elétrica, dependendo da carga a redução de tensão pode não ser suficiente para acioná-la.

Do ponto de vista da engenharia elétrica, os principais desafios da geração fotovoltaica para um sistema conectado à rede elétrica são as distorções harmônicas e a elevação de tensão, existindo uma dificuldade em se buscar uma otimização para este problema.

O termo “potência instalada” ou potência nominal, utilizado em projetos energéticos, é a:

“capacidade bruta (kW) que determina o porte da central geradora para fins de outorga, regulação e fiscalização, definida pelo somatório das potências elétricas ativas nominais das unidades geradoras principais da central” (BRASIL, 2013).

Utiliza-se este termo para referir-se à potência do sistema fotovoltaico.

2.2.1. Funcionamento do módulo fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são compostos por células semicondutoras de eletricidade, geralmente produzidas a partir do silício. Uma breve descrição do princípio de seu funcionamento será dada a seguir.

Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P (Figura 12). Separadamente, ambas as camadas são eletricamente neutras, mas ao serem unidas, na interface entre ambos os materiais, os elétrons do silício tipo N difundem para o lado P. Processo análogo ocorre do lado P. O deslocamento dos elétrons do lado N para o lado P deixa em N uma deficiência de cargas negativas (carga líquida positiva). Da mesma forma, a difusão de lacunas para o lado N deixa o lado P com uma carga negativa. Fica estabelecido, portanto, um dipolo, com cargas positivas na região N e negativas na região P, associado a um campo elétrico interno, E_i , no sentido N-P. o campo elétrico reestabelece, desta forma, as condições de equilíbrio na junção P-N (FRAIDENRAICH, *et al.*, 2003).

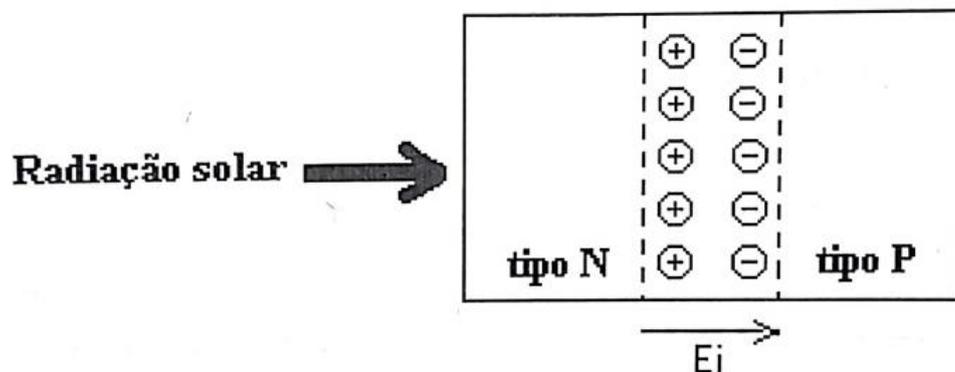


Figura 12: Diagrama esquemático de uma célula fotovoltaica. Fraidenraich, N. e Lyra (1995) *apud* Fraidenraich, N. *et al.* (2003).

Conforme explanam Fraidenraich *et al.* (2003), ao incidir luz sob a célula fotovoltaica, a absorção de fótons produz a passagem de elétrons da banda de valência para a banda de condução. Estabelece-se um campo elétrico interno na interface da junção P-N (os portadores gerados pelos fótons absorvidos estão sujeitos à ação deste campo) dando origem a uma corrente que atravessa a carga externa. A presença desta carga estabelece uma diferença de potencial nos extremos da junção, que varia de acordo com a intensidade

da corrente que a atravessa. A junção fica polarizada positivamente reproduzindo o comportamento no escuro ao qual deve se adicionar a fotocorrente gerada pela iluminação. A intensidade da corrente gerada variará proporcionalmente à intensidade de luz incidente. A curva característica da célula solar será o resultado da superposição de ambos os efeitos (fotocorrente mais junção no escuro). Finalmente, na carga externa observa-se uma corrente que atravessa uma diferença de potencial, transferindo energia para a mesma. Enquanto a luz incidir na célula, a geração de energia haverá de continuar.

Um módulo fotovoltaico é uma associação de células conectadas em série que formam uma unidade com tensão suficiente para carregar a carga. Conectando-se estes módulos em série ou paralelo, obtém-se um painel fotovoltaico.

Os sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica são basicamente de pequeno porte residenciais, geração distribuída – de médio porte – e centrais de potência. Em sistemas residenciais o consumidor-produtor gera energia elétrica à partir de módulos fotovoltaicos, complementando suas necessidades energéticas com a rede. Em caso de excesso de geração, há possibilidade de negociação deste junto à distribuidora de energia elétrica.

A geração distribuída caracteriza-se pelo uso de sistemas fotovoltaicos em determinados pontos da rede de transmissão e distribuição, com o intuito de: reduzir perdas elétricas, aumentar a confiabilidade do sistema de transmissão e distribuição, melhorar a potência fornecida em pontos de linha, evitar ou adiar o redimensionamento de equipamentos de transmissão e distribuição.

Segundo o MME (2017), a Resolução Normativa ANEEL nº 687/15, complementar à 482/12, estabelece que uma geração abaixo de 75 kW é definida como microgeração, e acima de 75 kW e até 5 MW é minigeração, e esta definição vale para qualquer fonte renovável de geração. Enquadram-se nas modalidades tratadas por esta normativa os imóveis individuais, condomínios, cooperativas e consórcios.

As centrais de potência têm como finalidade gerar eletricidade para comercialização, são utilizadas como uma fonte a mais de um dado sistema.

A eficiência máxima teórica da célula de silício monocristalino exposta a uma radiação do sol encontra-se em torno de 25%. Células com concentração podem atingir eficiências de 29%, conforme descrito na Tabela 2. Note-se que estes valores de eficiência são obtidos em testes de laboratório e, que ocorre uma redução desta eficiência no uso das células manufaturadas.

Tabela 2: Eficiência de células produzidas comercialmente e células desenvolvidas em laboratório.

TECNOLOGIA DA CÉLULA	EFICIÊNCIA DE CÉLULAS MANUFATURADAS (%)	EFICIÊNCIA DE LABORATÓRIO (%)
Silício monocristalino	15,3 – 17,5	25
Silício multicristalino	13,5 – 15,0	21
Silício amorfo	5,0 – 7,0	12, quando estabilizada, ou 16, imediatamente depois de fabricada
Células com concentração	24	29
Filmes de silício	9 – 11	16

Maycock, 1999 *apud* Fraidenraich et. al. (2003).

Os valores de redução de eficiência apresentados com o uso das células manufaturadas (Tabela 2) para o caso das células com concentração não chegam a 20%.

Em termos sócio-econômicos, Fraidenraich *et. al.* (2003) apresentam algumas características relevantes à tecnologia fotovoltaica para geração de eletricidade em escala comercial, e sua comparação com fontes convencionais de energia elétrica. A área necessária para instalação de centrais de geração a carvão e nuclear, tem certa equivalência com a fotovoltaica, conforme mostra a Tabela 3. Quanto a geração de empregos especializados, a eletricidade fotovoltaica utiliza 12 a 14 homens-hora/GWano contra 3 a 4 homens-hora/GWano para a geração elétrica utilizando carvão ou nuclear.

Tabela 3: Comparação entre áreas de instalação de centrais de geração a carvão e nuclear x área de um sistema fotovoltaico.

Fonte	Área (hectares/GWh)
Fotovoltaica	0,0320
Carvão	0,0360
Nuclear	0,0332

Fraidenraich et. al. (2003). Adaptado pela autora.

O fato da área, medida em hectares por geração de energia (hectares/GWh), necessária para instalação de uma planta fotovoltaica ser inferior ao necessário para plantas utilizando carvão e energia nuclear representa mais uma indicação da eficiência do uso de recursos renováveis. Em termos de ocupação do espaço, a fonte renovável apresenta-se vantajosa em relação às demais comparadas na Tabela 3.

2.2.2. Panorama Internacional da energia solar

No final de 2009 havia no globo 23 GW de potência instalada em sistemas de energia solar fotovoltaica, o equivalente a 15 termelétricas a carvão de médio porte (*SOLAR GENERATION 6 – Full Report*, EPIA, 2011).

Ainda segundo o *SOLAR GENERATION 6 – Full Report* (EPIA, 2011), alguns indicadores mostram que o custo de produção de energia solar cai cerca de 22% cada vez que a capacidade instalada mundial dobra e que a eficiência dos módulos solares tem melhorado em alguns pontos percentuais a cada ano. Mais de 1.000 companhias estão envolvidas na produção da tecnologia estabelecida na produção de células fotovoltaicas. Em um cenário seguindo o padrão de expansão industrial atual incluindo políticas de suporte adequadas, a energia fotovoltaica pode chegar a prover 345 GW em 2020, algo em torno de 4% do consumo mundial.

Levando em consideração estes indicadores, alguns países, têm lançado cada vez mais políticas governamentais através de incentivos para alavancar a produção de energia solar fotovoltaica. No Quadro 2 pode-se notar algumas políticas de incentivo fiscal em importantes países para a economia mundial, evidenciando assim a relevância desta fonte de energia para o futuro cenário global. Ainda analisando o quadro 2 nota-se que a China, a União Europeia e o Japão estão com políticas de incentivos fiscais para que o uso da energia solar fotovoltaica seja cada vez mais difundido e deste modo contribuir cada vez mais com a matriz energética destes países.

Quadro 2: Políticas de incentivo ao redor do mundo

País/Região	Políticas	Detalhes
China	Programa <i>Golden Sun</i>	Subsídio de 50% do investimento no custo de projetos solares <i>on-grid</i> (com mais de 500 MW) e 70% para projetos <i>off-grid</i> , 2009-2011.
União Europeia	Pacote 20-20-20	Corte geral na emissão de gases do efeito estufa em 20% em 2020. Metas nacionais de uso de energias renováveis para redução de emissões e importações. Revisão das diretrizes de ajuda estatal para proteção ambiental para suporte do desenvolvimento e uso seguro de captação e armazenamento de carbono (CSS).
Japão	Subsídio e tarifas <i>feed-in</i> para uso residencial de sistemas fotovoltaicos (PV)	Subsídio: JPY 70000/kW com um orçamento total de JPY 20 bilhões. Tarifa <i>feed-in</i> : Excedente de energia elétrica a ser comprada por usuários pelo dobro da tarifa de varejo (JPY 48/kWh).

Adaptado de EPIA, 2011.

No contexto internacional pode-se destacar a Alemanha como o grande exemplo a ser seguido quando se fala em geração de energia fotovoltaica. A Alemanha é líder em pesquisa e desenvolvimento em energia solar fotovoltaica, sendo o primeiro país a introduzir um sistema de tarifas *feed-in*, onde o consumidor é premiado por gerar energia limpa e por exportá-la à rede, através de tarifas pré-estabelecidas por contrato.

Na Alemanha, a maioria dos sistemas fotovoltaicos encontra-se conectada à rede de distribuição de energia elétrica. Há previsões no sentido de que, no ano 2050, os sistemas fotovoltaicos possam ser responsáveis por uma fatia significativa da energia elétrica fornecida, atingindo este valor cerca de um terço do total. (COOPER e JUNIOR, 2013).

A China foi por muito tempo marcada pela produção de energia suja, com a queima do carvão mineral. Vieira (2018) explana que a China superou a pioneira Alemanha na capacidade instalada de geração de energia solar: 130 GW, o equivalente a 80% de toda a matriz elétrica brasileira, e se tornou a maior fabricante de painéis solares do mundo. Nos Estados Unidos, a fabricante de carros elétricos Tesla, ultrapassou a fronteira dos sistemas fotovoltaicos comuns para criar uma telha solar, que gera energia e substitui a telha tradicional. Em vários estados americanos, a exemplo da Califórnia, é possível vender o excedente produzido pelos painéis aos vizinhos — o que é

impossível no mercado brasileiro, onde o livre comércio de energia só é autorizado para grandes consumidores.

A Tabela 4 traz a geração energia solar no mundo no ano de 2016. O mundo contava com uma potência instalada solar de 301 GW, sendo 294 GW de fotovoltaica (FV) e 7 GW de CSP. A geração total foi de 333 TWh. Dentre os 15 maiores em geração solar, a Grécia apresentou o maior percentual de geração solar em relação à sua geração total, de 8,2%, seguida da Itália (8,1%) (MME, 2017).

Tabela 4: Geração solar no mundo - 2016

	País	Geração (TWh)	Expansão no ano (GW)
1	China	66,2	34,5
2	Estados Unidos	56,8	14,7
3	Japão	49,5	8,6
4	Alemanha	38,2	1,5
5	Itália	22,9	0,4
6	Espanha	13,6	0,1
7	Índia	11,9	4,0
8	Reino Unido	10,3	2,0
9	França	8,3	0,6
10	Austrália	7,2	0,8
11	Coréia do Sul	5,2	0,9
12	Grécia	4,0	0,0
13	África do Sul	3,3	0,5
14	Canadá	3,1	0,2
15	Bélgica	3,0	0,2
	Outros	29,7	6,3
	Mundo	333,1	75,1

MME, 2017. Adaptado pela autora.

Segundo o MME (2017), os cinco primeiros países em potência instalada respondem por 74% do total mundial. Em 2018, o Brasil deverá estar entre os 15 países maiores geradores de energia solar, ao se considerar a operação da potência já contratada, de 2,6 GW. Em termos de área geográfica, os 301 GW

de potência instalada em 2016, correspondem a um quadrado de 57 km de lado.

2.2.3. Panorama Brasileiro da energia solar

Ao contrário de países europeus e asiáticos juntamente com os Estados Unidos, que apresentam forte crescimento do parque solar instalado, o uso desta tecnologia no Brasil está muito aquém do seu potencial de geração.

Em abril de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL lançou o que pode ser considerado um marco regulatório para a inserção da geração fotovoltaica no Brasil: a Resolução Normativa No 482/2012, que “Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica”.

O Brasil apresenta um constante crescimento na utilização da fonte solar fotovoltaica. Isto se deve ao grande potencial de geração, ao ganho de eficiência em tecnologias que aumentam a eficiência do sistema fotovoltaico, e a uma ligeira queda nos custos dos equipamentos.

Dispondo de grande potencial solar, recentemente o país inaugurou dois grandes empreendimentos em energia solar: o parque solar Nova Olinda, no Piauí e a usina solar de Pirapora em Minas Gerais. Tais empreendimentos são considerados os maiores da América Latina, até o presente. A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) anunciou no início de 2018 que o Brasil ultrapassou 1GW de capacidade instalada de energia solar, sendo isto suficiente para abastecer cerca de 500 mil residências. Por muito tempo essa fonte energética foi vista como algo secundário e extravagante no setor energético, é ainda a menos consumida entre as renováveis, contudo, começa a prosperar, tornando-se cada vez mais acessível. Ressalta-se que o primeiro leilão de energia solar fotovoltaica no Brasil aconteceu em 2014.

O 6º Leilão de Energia de Reserva (LER), realizado em 31 de outubro de 2014, pode ser considerado um marco histórico para o setor fotovoltaico brasileiro, representando a primeira contratação da fonte em um leilão federal de energia elétrica no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). A partir de

agora, a energia solar fotovoltaica torna-se realidade como uma alternativa energética renovável, limpa e sustentável para o desenvolvimento da matriz elétrica do país. Este foi, portanto, um passo decisivo para o setor fotovoltaico brasileiro (ABSOLAR, 2014).

Em 2015, mais dois leilões foram realizados, totalizando 2.653 MW contratados, com início de suprimento em 2017 e 2018 (MME, 2017).

Roxa (2018), afirma que o Parque Solar Nova Olinda (Ribeira do Piauí-PI) em Ribeira do Piauí, a 380 quilômetros de Teresina, foi inaugurado em novembro de 2017 o maior parque solar em operação da América Latina. Com 930 mil placas de captação de energia fotovoltaica, o empreendimento é capaz de suprir 300 mil domicílios. Do mesmo modo, quando estiver em operação plena, a Usina Solar de Pirapora (Pirapora-MG), será a maior da América Latina. O projeto começou a funcionar em setembro, a segunda fase foi iniciada em outubro e a terceira e última etapa se concluirá ao final do primeiro semestre de 2018. A capacidade total de geração do projeto será suficiente para abastecer 420 mil casas por ano.

A Empresa de Telecomunicações Oi, está construindo duas fazendas solares em Minas Gerais, nas cidades de Janaúba e Capitão Enéas. Cada uma das fazendas tem capacidade de geração de 5 megawatts, energia suficiente para abastecer 10.000 residências por mês. Segundo Vieira (2018), a energia produzida, será injetada na rede elétrica da concessionária local, e vai gerar créditos para ser abatidos da conta de luz de 3.000 unidades da Oi no estado, entre torres de telecomunicações e prédios corporativos. A Oi pretende até 2021, construir mais 15 usinas do gênero no país.

Outro exemplo a citar das fazendas solares instaladas em Minas Gerais, é a de capacidade equivalente a 1 megawatt. Essa energia gerada consegue atender ao consumo de 70 clientes, entre restaurantes, bares e açougues. Vieira (2018) afirma que o estado lidera a corrida solar no Brasil, com 5 000 sistemas instalados. O estado foi o primeiro a isentar a cobrança de 30% de imposto sobre circulação de mercadorias e serviços que incidia sobre a troca de energia entre consumidores e concessionária. O tempo de retorno do investimento do consumidor num sistema fotovoltaico no estado de Minas Gerais é um dos menores do país.

Em apenas 5 anos, a geração de energia solar por meio de painel fotovoltaico cresceu 81000% no Brasil (Vieira, 2018) conforme pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Crescimento de sistemas fotovoltaicos no Brasil

Ano	Número de sistemas FV
2013	29
2015	1.768
2018 (março)	23.584

Vieira, 2018. Adaptado pela autora.

Para Vieira (2018), este crescimento foi motivado pela queda de 80% nos preços dos equipamentos nos últimos 10 anos. Também pelo aumento de 44% da energia elétrica nos últimos 6 anos. Em 2018, a instalação de quatro painéis solares com capacidade total de 1,25 megawatt custa aproximadamente 15.000 reais. Em 2015, era de 30.000 reais.

Além disso, todos os estados brasileiros e o Distrito Federal oferecem isenção de impostos (ICMS) sobre a energia produzida por autogeradores no Brasil. Segundo a ABSOLAR o Amazonas, Paraná e Santa Catarina formalizaram adesões ao Convênio ICMS nº 16/2015, que autoriza os governos estaduais a isentarem o ICMS sobre a energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis em residências, comércios, indústrias, edifícios públicos e na zona rural, por meio da microgeração e minigeração distribuída solar fotovoltaica. A adesão foi oficializada por meio do Convênio ICMS nº 42/2018, publicado no Diário Oficial da União do dia 17 de maio de 2018. Os demais estados já haviam realizado esta adesão. Agora, a medida passará a beneficiar todos os Estados da Federação, abrangendo 100% da população, empresas e produtores rurais do País.

O gráfico da Figura 13 mostra a potência instalada de energia solar em cada estado no Brasil.

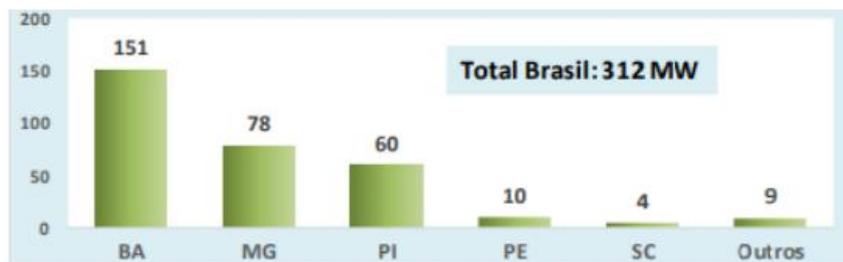


Figura 13: Potência instalada solar centralizada, por UF (MW) – 09/10/2017.
MME, 2017.

Considerando todas as fontes de micro e mini GD, o setor comercial detém a maior participação em potência (37%), o residencial a maior participação em nº de usuários (75%), e o industrial a maior potência média por usuário (81 kW) (MME, 2017).

Em 2017, o Brasil ingressou no ranking mundial do setor solar fotovoltaico. Neste ano o país investiu 0,9 GW no setor, tornando-se o 10º maior investidor dessa modalidade energética.

Segundo a ABSOLAR, a geração distribuída solar fotovoltaica no país, atualmente, equivale a 401,6 MW. Enquanto isso, a geração centralizada acumula 1.349,0 MW. No total são 1750,6 MW. O gráfico da Figura 14 traz o montante de potência por estado. Verifica-se que o estado de Minas Gerais é líder em potência instalada com 95,8 MW, com valores muito superiores aos observados em outros estados, seguido do Rio Grande do Sul (56,2 MW), São Paulo (49,4), Santa Catarina (25,7) e do Paraná (20,4 MW).

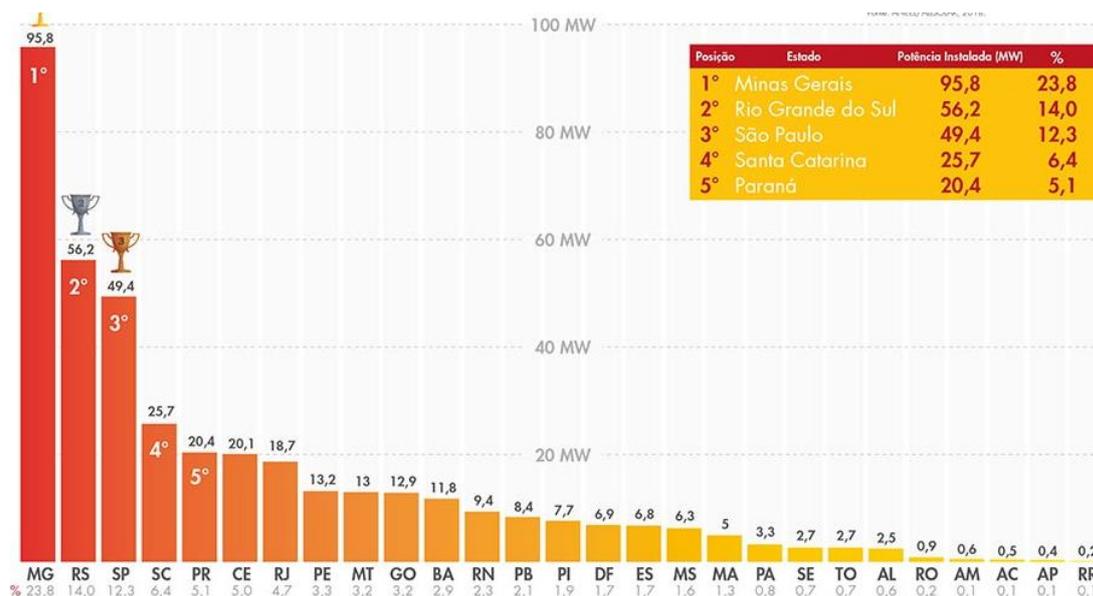


Figura 14: Potência instalada solar fotovoltaica, por UF (MW).
ABSOLAR, 2018.

O mercado já se prepara para uma popularização da geração de energia solar fotovoltaica. Vieira (2018) afirma a existência de cerca de 3000 empresas: são comercializadoras, projetistas e instaladoras de sistemas fotovoltaicos, atuando em modelos diversos. A projeção da ANEEL é que, até 2024, cerca de 800.000 unidades de microgeração estejam em funcionamento no Brasil. A Eletropaulo, responsável pela região metropolitana de São Paulo, recebeu 600 pedidos de geração solar distribuída apenas em 2017 — o dobro do registrado no ano anterior. Desses pedidos, 350 foram conectados à rede da concessionária, que arca com as despesas da própria conexão (referência, ano).

Com relação aos fabricantes de painéis fotovoltaicos, há isenção de imposto na compra de um painel completo, porém, isto não acontece na compra de peças para sua montagem. Desta forma a importação do painel torna-se tributariamente vantajosa sobre a fabricação nacional.

A China é líder de mercado na fabricação de painéis fotovoltaicos. Vieira (2018) explica que a BYD (Contra seus Sonhos - Build Your Dreams), chinesa com 40 fábricas no mundo, entre painéis solares, veículos elétricos e baterias, inaugurou em fevereiro de 2017, uma de suas maiores fábricas de painéis em Campinas. A Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL Energia, agora parte da estatal chinesa de energia State Grid, criou em 2017 uma

empresa do Grupo CPFL Energia, focada na alta da demanda por geração solar distribuída: a ENVO, voltada para o mercado de pequenos estabelecimentos comerciais. Antes disso, em 2016, a CPFL já havia dado início à instalação de painéis solares para 200 consumidores de Campinas, no interior de São Paulo, a fim de avaliar o impacto da microgeração em redes elétricas de baixa tensão, aproveitando um fundo de incentivo da Aneel à pesquisa em eficiência.

O Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2026 estima que a capacidade instalada de geração solar chegue a 13 GW em 2026, sendo 9,6 GW de geração centralizada e 3,4 GW de geração distribuída. A proporção da potência solar chegará a 5,7% do total (MME, 2017).

2.2.4. Potencial de Geração fotovoltaico do Brasil

Para o cálculo do potencial de geração solar fotovoltaica, dois dados básicos são necessários: eficiência ou rendimento das placas e radiação solar, geralmente representada em kWh/m². Os dados de eficiência são dados de placa dos módulos, obtidos em laboratório. O ponto mais importante torna-se, portanto, uma análise da radiação solar do local onde se pretende instalar um sistema de geração fotovoltaico (COOPER e JUNIOR, 2013).

Na Figura 15 pode-se notar o grande potencial ainda pouco explorado de geração fotovoltaica no Brasil.

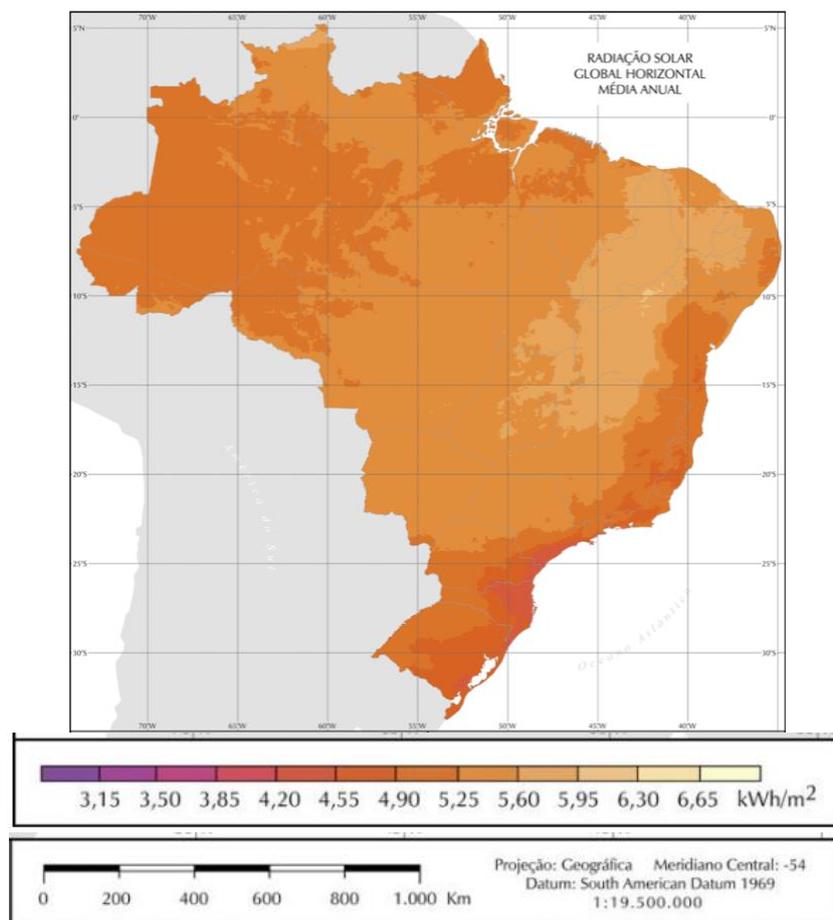


Figura 15: Radiação Solar Global Horizontal (GHI) Média Anual. PEREIRA *et al*, 2006. Atlas brasileiro de energia solar.

A escala de cores indica os maiores valores de radiação solar global (acima de 6,65 kWh/m²) através das cores mais claras. Nota-se que praticamente todo o litoral leste do Brasil (Figura 15) apresenta um grande potencial, porém ainda nada comparado com o interior do Nordeste onde, de acordo com o mapa de radiação solar, apresenta o maior potencial de geração do território brasileiro.

Investimentos e subsídios a fim de incentivar este tipo de geração só contribuem para que o território brasileiro fique com uma matriz energética cada vez mais renovável e robusta.

Viana (2010) destaca o potencial de geração fotovoltaica, em kWh, de acordo com a potência instalada de sistema fotovoltaico concentrado (SFVC), em kW_p conforme mapa da Figura 16. As faixas de valores do total anual de geração estimada, em kWh/kW_p/ano, são baseadas em uma metodologia que

leva em conta os níveis de desempenho de SFVC operando em países como a Espanha (VIANA 2010, *apud* LERCHENMÜLLER *et al.*, 2005, LERCHENMÜLLER *et al.*, 2007, PERPIÑAN *et al.*, 2008).

Esse mapa (Figura 16) é uma amostra do Atlas de geração estimada com SFVC, preparado para o Brasil. Onde se observa que, mesmo nas regiões com os menores níveis de irradiação direta normal, se pode esperar uma produtividade anual de 1.400 kWh/kWp/ano (VIANA *et al.*, 2010).

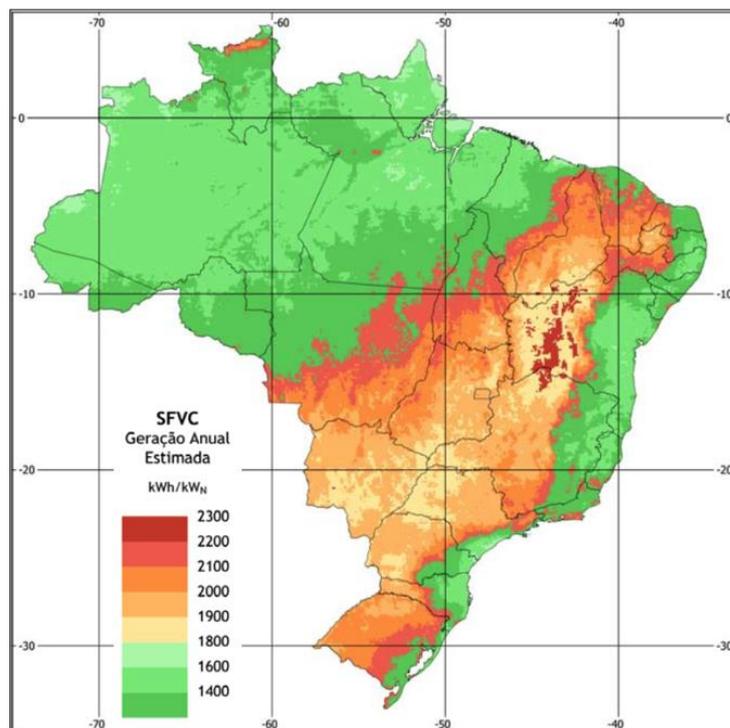


Figura 16: Mapa de geração fotovoltaica anual estimada, para SFVC, em kWh/kWp/ano. VIANA *et al.*, 2010.

O preço do módulo fotovoltaico foi por muito tempo um entrave à expansão deste tipo de energia, contudo, este tem sofrido quedas consideráveis nos últimos anos. Muitos fatores contribuem para a definição de preços, tal como a competitividade tecnológica e comercial.

Em 1981, o preço do módulo fotovoltaico custava mais de US\$ 20.000 por quilowatt; no ano 2000 módulos fotovoltaicos custavam cerca de US\$ 3.500 por quilowatt (Goldemberg *et al.*, 2002). Atualmente, no Brasil, o mercado de placas fotovoltaicas oferece dos mais variados e acessíveis projetos de energia solar.

Um sistema fotovoltaico pode ser utilizado para atender qualquer carga, contudo, seu dimensionamento pode apresentar requisitos específicos. Os fatores imprescindíveis para a aplicação deste sistema são: área para instalação dos coletores solares, radiação solar incidente e investimento. Assim sendo, sua viabilidade está intimamente ligada à qualidade do recurso solar no local desejado para aplicação.

Até o início de 1950 as células fotovoltaicas eram basicamente utilizadas como sensores de radiação luminosa. A partir dos anos 70, as células para aplicação terrestre superam as células para uso espacial. Entre os anos 50 e 70, estas eram utilizadas especialmente para ser fonte de energia das naves espaciais.

Atualmente notam-se grandes avanços na aplicação de tais células, tais como: melhoria na eficiência do processo de conversão de energia solar em energia elétrica, crescimento da produção e vendas, comercialização em níveis internacionais e expansão das oportunidades de aplicação. No Brasil, a Lei 10.438/2002 que estabelece a universalização dos serviços de energia elétrica, pode ser citada como um incentivo legal ao uso de células fotovoltaicas, tais como de outras fontes de energia. Contudo, não é objeto deste trabalho detalhar tal legislação.

A tecnologia fotovoltaica começou a ser discutida no Brasil juntamente com o desenvolvimento da energia solar no país. Impulsionada pela crise do petróleo, no início dos anos 80 havia no país enorme engajamento científico para o desenvolvimento de placas solares de diversos tipos e materiais, surgindo a indústria brasileira de módulos fotovoltaicos. Serviços de telecomunicações e sistemas de bombeamento de água receberam primariamente esta tecnologia. Porém, após a crise do petróleo, as políticas de incentivo ao aproveitamento solar e de outras fontes renováveis de energia foram praticamente esquecidas.

A irradiação média anual brasileira varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano, bem acima da média da Europa, mas há no mundo regiões com valores acima de 3.000 kWh/m²/ano, como Austrália, norte e sul da África, Oriente Médio, parte da Ásia Central, parte da Índia, sudoeste dos USA, além de México, Chile e Perú. (MME, 2017)

O MME (2017) explana que a região Nordeste apresenta os maiores valores de irradiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual entre todas as regiões geográficas. Os valores máximos de irradiação solar no país são observados na região central da Bahia (6,5kWh/m²/dia), incluindo, parcialmente, o noroeste de Minas Gerais. Há, durante todo o ano, condições climáticas que conferem um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar para essa região semiárida.

Segundo a EPE (2012) a Alemanha tem um índice de radiação solar entre 2,5 e 3,47 kWh/m²/dia índice muito inferior a países com baixas latitudes, incluindo a região sul do Brasil, como por exemplo, a costa norte do estado de Santa Catarina que apresenta média de 1551 kWh/m²/ano.

2.2.5. Custo da energia solar fotovoltaica no Brasil – setor residencial

Apesar de não ser a intenção de esta dissertação discutir custos de instalação de sistemas fotovoltaicos parece importante apresentar seus valores quando relacionados ao salário mínimo atual para o Estado do Rio de Janeiro. Para tal, os valores apresentados na Tabela 6, “Preço Médio” estão convertidos para número de salários, tendo como referência o salário mínimo – Piso Nacional 2018, no valor de R\$954,00 (novecentos e cinquenta e quatro reais). Este valor pode servir de parâmetro a pesquisas futuras para detectar a evolução dos valores de mercado para instalação destes sistemas, cuja previsão é de queda. Ela ajuda também a traçar um perfil da camada da sociedade com poder aquisitivo para adquirir os sistemas.

Em termos de custos, a instalação de sistemas, incluindo um sistema de energia solar fotovoltaico depende principalmente do tamanho e da complexidade da instalação necessária.

O Portal Solar (2018) realizou uma pesquisa de mercado em janeiro de 2018. A grande variação de preço entre os fornecedores é relacionada à qualidade dos componentes utilizados, o tamanho da empresa e a complexidade da instalação. Os preços são aproximados, com instalação e projeto, assumindo a utilização de componentes de qualidade. A pesquisa foi

feita com as 4.500 empresas cadastradas no Portal Solar. A pesquisa, está detalhada na Tabela 6 e gráfico da Figura 17, e considera apenas o custo do material não incluindo valores de projeto e mão de obra.

Tabela 6: Custo de material de instalação de sistema de energia Solar FV em residências.

Tipo de domicílio	Número de pessoas	Potência do sistema [kWp]	Preço médio [R\$]	Número de salários mínimos – Piso Nacional 2018
Casa pequena	2	1,32	10.673,36	11,19
Casa media	3 – 4	2,64	17.570,00	18,42
Casa media	4	3,3	20.320,00	21,30
Casa grande	4 – 5	4,62	25.695,00	26,93
Casa grande	5	6,6	32.410,00	33,97
Mansões	> 5	10,56	52.240,00	54,76

Portal Solar, 2018. Adaptado pela autora.

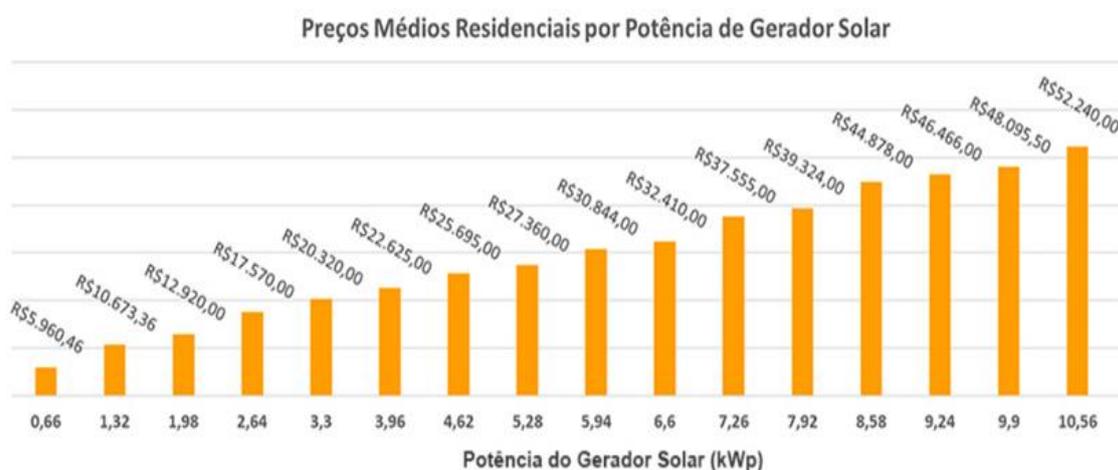


Figura 17: Custo da energia solar FV residencial. Adaptado pela autora.

Os valores observados na Tabela 6 e na Figura 17 ainda se apresentam elevados para realidade nacional, uma vez que uma família com 2 membros, que receba um salário mínimo mensal, necessita de um ano para pagar pelo sistema, caso consiga viver sem outras despesas.

2.3. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NO MEIO URBANO

Dentre outras aplicações, a energia solar é utilizada para a iluminação pública de vias urbanas e espaços compartilhados, como, por exemplo, praças, parques, calçadas, ciclovias, feiras ao ar livre etc. Estas ações representam uma importante redução de custo financeiros e ambientais. Na sequência, são apresentados alguns exemplos práticos de seu uso no meio urbano.

2.3.1. Ciclofaixa movida à energia solar

Em 2014 a Holanda inaugurou a primeira ciclofaixa movida a energia solar do mundo. Trata-se de uma faixa com comprimento aproximado de 100 metros, localizada na cidade de Krommenie.

Segundo Hayashi (2014), a ciclofaixa, a *SolarRoad*, exibida na Figura 18, apresenta uma estrutura montada por placas de células solares revestidas por vidros temperados (Figura 18b), isto garante a resistência do material e fornece melhor atrito com os pneus das bicicletas. Este protótipo servirá como base para realizar melhorias no aumento da captação de energia com sua expansão para ruas e estradas.



(a)

(b)

Figura 18: Ciclofaixa movida a energia solar na Holanda (a). Detalhe do piso (b). Hayashi, 2014.

Os resultados obtidos já indicam que a *SolarRoad* é capaz de gerar mais energia do que estava previsto no projeto original e que a superfície de piso não necessita de mais cuidados do que uma estrada comum. Inaugurada em 2014, a *SolarRoad* foi capaz de gerar mais de 3.000 kWh, o que na região, é suficiente para abastecer de eletricidade uma residência por um ano (SolarRoad, 2018).

2.3.2. Aeroporto movido à energia solar

Apesar de ser um dos países mais poluidores do mundo, a Índia possui o primeiro aeroporto internacional operado 100% com energia solar. Trata-se do Aeroporto Internacional Cochin, em Kerala, cujo parque solar é exibido na Figura 19.

Em termos ambientais, o consumo de energia solar pelo aeroporto vai poupar a emissão de 300 mil toneladas de carbono na atmosfera pelos próximos 25 anos, de acordo com nota oficial. Isso equivale a plantar três milhões de árvores. A demanda energética do aeroporto será atendida por 46.150 painéis solares, instalados em uma área de 180 mil metros quadrados. Os painéis serão capazes de gerar 12 megawatts de potência, o suficiente para abastecer todas as funções operacionais do aeroporto (Ambiente Urbano, s/d).

A usina solar, próxima ao setor de carga do aeroporto foi inaugurada em agosto de 2015. O excedente de eletricidade é encaminhado para a rede do Conselho de Eletricidade do Estado de Kerala - KSEB (Express Web Desk, 2018).



(a)



(b)

Figura 19: Planta solar do Aeroporto Internacional Cochin, Kerala, Índia (a). Detalhe (b). Ambiente Urbano (s/d).

O aeroporto, situado em uma região de turismo, atualmente opera com 25 companhias aéreas para variados destinos domésticos e internacionais. Recebeu o Prêmio Campeão da Terra - 2018, instituído pela Organização das Nações Unidas (ONU). Foi elogiado pela ação voltada à conservação de energia renovável e, ainda pelo cultivo de vegetais no parque solar (Express Web Desk, 2018).

2.3.3. Bairro Solar, na Alemanha

O bairro Schlierberg, em Friburgo, na Alemanha, um projeto da EXPO 2000 "*Solarsiedlung am Schlierberg*", é composto por 59 residências e um edifício comercial. Possui cerca de 11.000 m², é uma construção ecológica, tem baixo impacto ambiental. Em termos energéticos, é capaz de produzir quatro vezes mais energia do que consome.

O arquiteto alemão Rolf Disch, autor do projeto, ressaltou a importância da concepção do conjunto com os painéis solares desde o início do projeto. Ele incorporou aos edifícios as normas de arquitetura passiva, o que auxiliou a redução do consumo de energia.

Segundo pesquisadores do Ambiente Urbano, o projeto reduziu o número necessário de carros na cidade e utilizou técnicas e materiais de construção sustentável com pouco consumo de energia, favorecendo uma gestão sustentável da água e dos resíduos. Além disso, foi desenvolvido por meio de um processo de planejamento participativo.

A Figura 20 mostra o "Bairro Solar" Schlierberg. Este empreendimento gera 420 mil kWh de energia solar fotovoltaica. Cada residente (proprietário ou inquilino) do bairro Schlierberg recebe, ao final de cada ano, um recurso do governo pelo excesso de energia produzida que é vendida à rede ao longo de 12 meses.



(a) (b)
Figura 20: Bairro Solar Schlierberg: vista geral (a) e detalhe (b).
 Ambiente Urbano (a) e Rolf Disch buro (b).

Calculando a economia de energia a partir da máxima eficiência, anualmente no bairro são economizados 200 mil litros de óleo e deixam de ser emitidas 500 toneladas de CO₂.

2.3.4. Iluminação pública com energia solar – sistema independente

A energia solar tem se mostrado cada vez mais vantajosa em aplicações residenciais, empresariais, gerando economia de custos financeiros e baixo impacto ambiental. A iluminação por meio de sistemas isolados desta energia é ideal para locais remotos, onde não há uma rede de energia elétrica. Tornou-se uma ótima saída para cidades de interior e vilarejos que ainda não possuem iluminação pública e que fazem parte de municípios pequenos e afastados.

O sistema de iluminação pública é extremamente simples, formado por um módulo solar, um controlador de carga, uma bateria e um inversor (Figura 21). Com relação à estrutura, os postes geralmente são fabricados em concreto ou ferro galvanizado, resistentes aos efeitos do clima, como calor, chuva e frio. Existe ampla diversidade nos modelos de postes para energia solar, com vários tamanhos, designs e potências. A escolha do modelo e das lâmpadas vai depender do local e da destinação do serviço, se possui foco em iluminação para carros ou para pedestres e demais detalhes relevantes para essa escolha. É preciso conhecer as necessidades específicas da região.

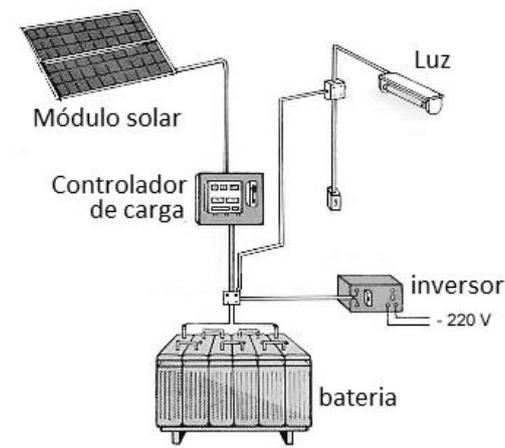


Figura 21: Sistema de iluminação pública: módulo solar, controlador de carga, uma bateria e um inversor.

Com relação à distribuição de painéis solares, não há necessidade que cada poste tenha a sua própria fonte de captura de energia. Dentre um conjunto de postes, apenas alguns podem servir como mini usinas, capturando a energia solar e armazenando. Depois, essa energia acumulada é distribuída aos outros postes da região por meio de cabos instalados de forma subterrânea.

Ressalta-se que toda a população pode se beneficiar deste recurso através da iluminação pública, inclusive a urbana. Quando aplicada em locais públicos, tais como praças, iluminação de vias e outros, a energia solar apresenta as seguintes vantagens:

- Iluminação de origem limpa e econômica;
- Independe de rede elétrica;
- Aplicação em locais remotos;
- Autonomia do sistema, que suporta até 3 dias sem incidência solar, dependendo apenas de dias claros;
- Baterias que duram até quatro anos ou mais, disponíveis no mercado;
- Pouca manutenção para o sistema;
- Uso de temporizadores no sistema, que permite reconhecer dia e noite, ligando e desligando as lâmpadas de forma automática.

A Figura 22 exemplifica o sistema de iluminação do arco metropolitano do Rio de Janeiro, a opção usada nesse sistema foram postes acoplados a um gerador solar individual.



Figura 22: Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.
Jornal O Dia, 2015 *apud* COTIA, 2015.

No caso iluminação pública com utilização dos sistemas fotovoltaicos, é possível apontar que além do fato de se tratar de uma energia renovável, são apontadas as vantagens da necessidade de pouca manutenção do sistema e do fato de ser possível aplicar em regiões distantes e nas quais o acesso à rede convencional de energia teria elevados custos financeiro e complicações de instalação.

2.4. LEED NEIGHBORHOOD

A estruturação urbana é extremamente importante para o estudo de geração de energia solar fotovoltaica no meio urbano. O setor residencial possui grande área disponível para instalação de painéis fotovoltaicos, sendo capaz de gerar energia além do seu consumo. A arquitetura empregada neste setor apresenta grande área de telhado, situam-se próximas umas às outras, possuem, geralmente o mesmo porte, permitindo menor sombreamento em sua cobertura. Portanto, possui estruturalmente as melhores aplicações para sistemas fotovoltaicos integrados às edificações.

Se caso a compactação urbana for excessivamente verticalizada, pressupõe edificações com menor área em sua cobertura e maior sombreamento. A teoria de cidade compacta surge primariamente como uma tentativa de responder aos problemas internos da mesma, 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 polinucleada.

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. Esta ideia é representada pelo esquema da Figura 23.

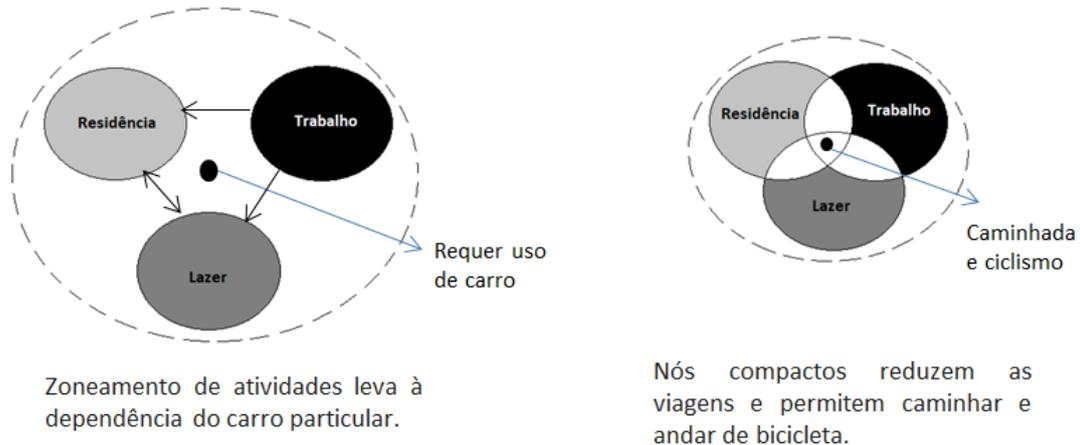


Figura 23: Usos mistos compactos criam nós de redução de jornadas, e criam vizinhanças mais atraentes e sustentáveis. Rogers, 2001 *apud* Mestriner, 2008.

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) 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 econômicas, 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;
- Controle coordenado do planejamento e desenvolvimento urbano;
- Capacidade governamental para financiar as infraestruturas e equipamentos urbanos”.

Os setores centrais da cidade, com edificações em altura e uso de comércio e serviços, apresentam um pico de demanda energética diurno. Isto representa uma sobrecarga diurna à rede elétrica. Uma característica da configuração urbana dessas zonas é a inexistência de grandes áreas livres entre as edificações, isto resulta em considerável área de cobertura disponível para aplicação dos sistemas fotovoltaicos, apesar de apresentar sombreamento devido à grande altura das edificações.

O estudo da forma urbana é fundamental para a conquista da sustentabilidade urbana. São muitos os conceitos de sustentabilidade urbana sendo inclusive aprovada recentemente (2017) no Brasil pela ABNT a NBR ISO 37120 (NBR ISO 37120 – Desenvolvimento sustentável de comunidades – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida). Algumas referências internacionais também são de grande valia como a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) que tem mudado o modo como

os edifícios e as comunidades são planejados, construídos e operados. No caso específico de bairro, destaca-se o LEED *Neighborhood*.

O sistema de certificação LEED foi criado pelo *United States Green Building Council* (USGBC), em 1998. É um método de classificação baseado na harmonização, ponderação de créditos (em função do impacto ambiental e da saúde humana) e regionalização. A eficiência energética e redução da emissão de CO₂ são itens considerados de maior importância neste sistema de avaliação. O selo certifica edifícios a partir de uma lista de pré-requisitos e créditos, e possui quatro níveis: Certificado, Prata, Ouro e Platina (USGBC, 2012 *apud* GRUMBERG, 2014).

O LEED é um sistema de classificação que avalia a sustentabilidade de um empreendimento. Através do seu processo é possível saber o quanto um empreendimento é sustentável. A certificação funciona como um guia para desenvolver os aspectos sustentáveis do empreendimento. Adequando-se aos critérios do sistema, o empreendimento garante aos usuários e investidores que sua construção atende a critérios sustentáveis e que haverá economia no consumo de recursos durante a sua operação. Além do bom retorno financeiro que um edifício certificado pode ter, também há ganhos sociais e ecológicos para o entorno da construção e para os agentes envolvidos no processo da construção (GBC BRASIL, 2015 *apud* MARQUES, 2018).

De modo geral, a certificação LEED pode trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais, conforme exposto no Quadro 3, baseado no GBC – Brasil.

Quadro 3: Benefícios da certificação LEED

Tipo	Benefícios
Econômicos	Diminuição dos custos operacionais; Diminuição dos riscos regulatórios; Valorização do imóvel para revenda ou arrendamento; Aumento na velocidade de ocupação; Aumento da retenção; Modernização e menor obsolescência da edificação.
Sociais	Melhora na segurança e priorização da saúde dos trabalhadores e ocupantes; Inclusão social e aumento do senso de comunidade Capacitação profissional;

	<p>Conscientização de trabalhadores e usuários; Aumento da produtividade do funcionário; melhora na recuperação de pacientes (em Hospitais); melhora no desempenho de alunos (em Escolas); aumento no ímpeto de compra de consumidores (em Comércio); Incentivo a fornecedores com maiores responsabilidades socioambientais; Aumento da satisfação e bem estar dos usuários; Estímulo a políticas públicas de fomento a Construção Sustentável;</p>
Ambientais	<p>Uso racional e redução da extração dos recursos naturais; Redução do consumo de água e energia; Implantação consciente e ordenada; Mitigação dos efeitos das mudanças climáticas; Uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental; Redução, tratamento e reuso dos resíduos da construção e operação.</p>

O nível de certificação é definido conforme a quantidade de pontos adquiridos, podendo variar de 40 pontos a 110 pontos (MARQUES, 2018). Estes níveis são exibidos na Tabela 7, conforme sua distribuição de pontuação.

Tabela 7: Níveis da certificação LEED

Nível de certificação	Pontuação
<i>Certified</i>	40 a 49
<i>Silver</i>	50 a 59
<i>Gold</i>	60 a 79
<i>Platinum</i>	80 a 110

MARQUES, 2018. Adaptado pela autora.

Conforme explana a *Green Building Council – Brasil* (GBC Brasil), a certificação LEED funciona para todos os edifícios e pode ser aplicado a qualquer momento no empreendimento. Quatro diferentes tipologias podem ser estudadas através do LEED, estas são apresentadas na Figura 24.



Figura 24: Tipologias das certificações LEED.
GBC BRASIL, 2018.

Para o desenvolvimento de bairros, utiliza-se a tipologia ND, LEED *Neighborhood*, uma das mais utilizadas no Brasil e se propõe a mudar a maneira como os edifícios e comunidades são planejados, construídos e operados.

Segundo Corrêa (1989), o espaço urbano é simultaneamente fragmentado e articulado. As partes componentes mantêm relações espaciais entre si com intensidades variáveis e se manifestam empiricamente através de fluxos de veículos e de pessoas, deslocamentos cotidianos entre áreas residenciais e locais de trabalho, deslocamentos para variadas atividades (fazer compras, ir ao cinema etc.), relações espaciais de circulação de decisões e investimentos, de capital, mais-valia, salários, juros, renda, e ainda, prática do poder e da ideologia, sendo todas essas relações de natureza social cuja matriz é a própria sociedade de classes e seus processos. Esta divisão de classes remete ao fato de que, na maioria das cidades, o espaço urbano é dividido em áreas residenciais segregadas que representam papel ponderável na reprodução das relações de produção e em cujo processo se reproduzem as diversas classes sociais e suas frações, os bairros. Portanto o bairro é o local de reprodução dos grupos sociais.

O sistema LEED para desenvolvimento de bairros é projetado para certificar projetos que tenham bom desempenho em termos de crescimento inteligente, urbanismo e construção verde. Podem ser aplicados em bairros inteiros, partes de bairros ou vários bairros, portanto não possuem tamanho mínimo ou máximo para seu desenvolvimento, mas, no entanto, sugere-se que o tamanho mínimo seja de pelo menos dois edifícios habitáveis e o máximo um total de 320 acres, que equivale a aproximadamente 1,30 quilômetros quadrados (USGBC, CNU e NRDC, 2011 *apud* MARQUES, 2018).

O LEED ND enfatiza a localização do bairro e o desempenho da infraestrutura e dos edifícios dentro dele. Desta forma, tem foco na criação de bairros compactos, tranquilos, vibrantes e de uso misto com boas conexões com as comunidades vizinhas.

3. ESTUDO PRÁTICO

3.1. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO PRÁTICO

Tendo como exemplo o bairro Schlierberg, em Friburgo, Alemanha, este trabalho traz o estudo da geração de energia solar, para atender a uma área específica do Projeto Porto Maravilha na cidade do Rio de Janeiro.

A cidade do Rio de Janeiro (22° 54' 10" latitude sul, 43° 12' 27" longitude oeste) pode ser caracterizada por um clima tropical com chuvas de verão (Aw) segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, sendo uma região quente e úmida.

Ela está localizada na Z8 de acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e fazem parte das estratégias para esta região o controle da radiação solar direta, com a adoção de elementos de sombreamento e a promoção da perda de calor através da ventilação (Olgyay, 2010; Lamberts et al., 2014). Desta forma a permeabilidade da malha urbana faz parte das recomendações para região.

A cidade do Rio de Janeiro possui potencial para a instalação do sistema fotovoltaico e mesmo para os meses de inverno, as condições se apresentam categorizadas como excelentes (Figura 25) de acordo com o levantamento da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, o Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro (SEDEIS; EPE; IPP; GIZ, 2015).



Figura 25: Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro (SEDEIS; EPE; IPP; GIZ, 2015).

O estudo prático se concentra na área definida como Setor C do Projeto Porto Maravilha, portanto, uma região com potencial de utilização do sistema. Localizado entre a baía de Guanabara e o Morro da Providência, possui um potencial construtivo elevado, com quarteirões de usos diversificados. Situado na parte plana da Área Portuária, sua delimitação (Figura 26) é definida pelas Av. Francisco Bicalho, Praça Marechal Hermes, Rua Santo Cristo, Avenida Professor Pereira Reis e Baía da Guanabara (Marques, 2018).

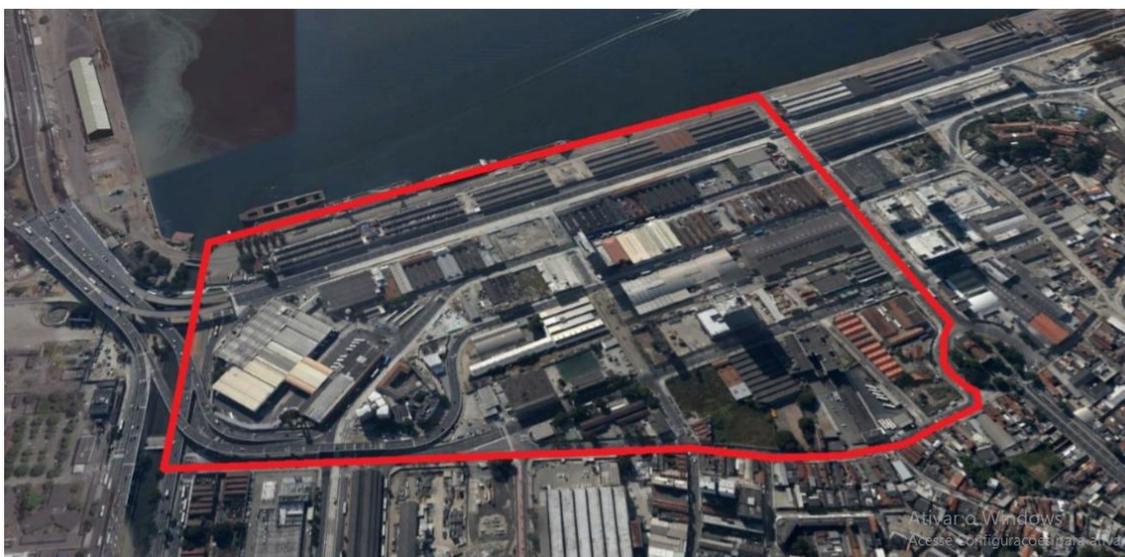


Figura 26: Delimitação do Setor C – LC 101/09.
Marques, 2018.

Conforme descrito, trata-se uma análise comparativa da capacidade de geração de energia e de consumo para duas configurações da morfologia urbana propostas por Marques (2018). Os cenários propostos para a mesma

região com densidade semelhante diferem em suas diretrizes e apresentam resultados muito diferentes. O Cenário I atendeu à Lei Complementar, LC 101/2009, que permite um importante processo de verticalização com quadras grandes. Já o Cenário II teve como base ações da certificação ambiental LEED – NB, o LEED para Desenvolvimento de Bairros.

A partir das imagens da Figura 27, observa-se os dois cenários (Cenário I e Cenário II) numa configuração 3D onde é possível entender as diferentes configurações apesar da densidade semelhante.

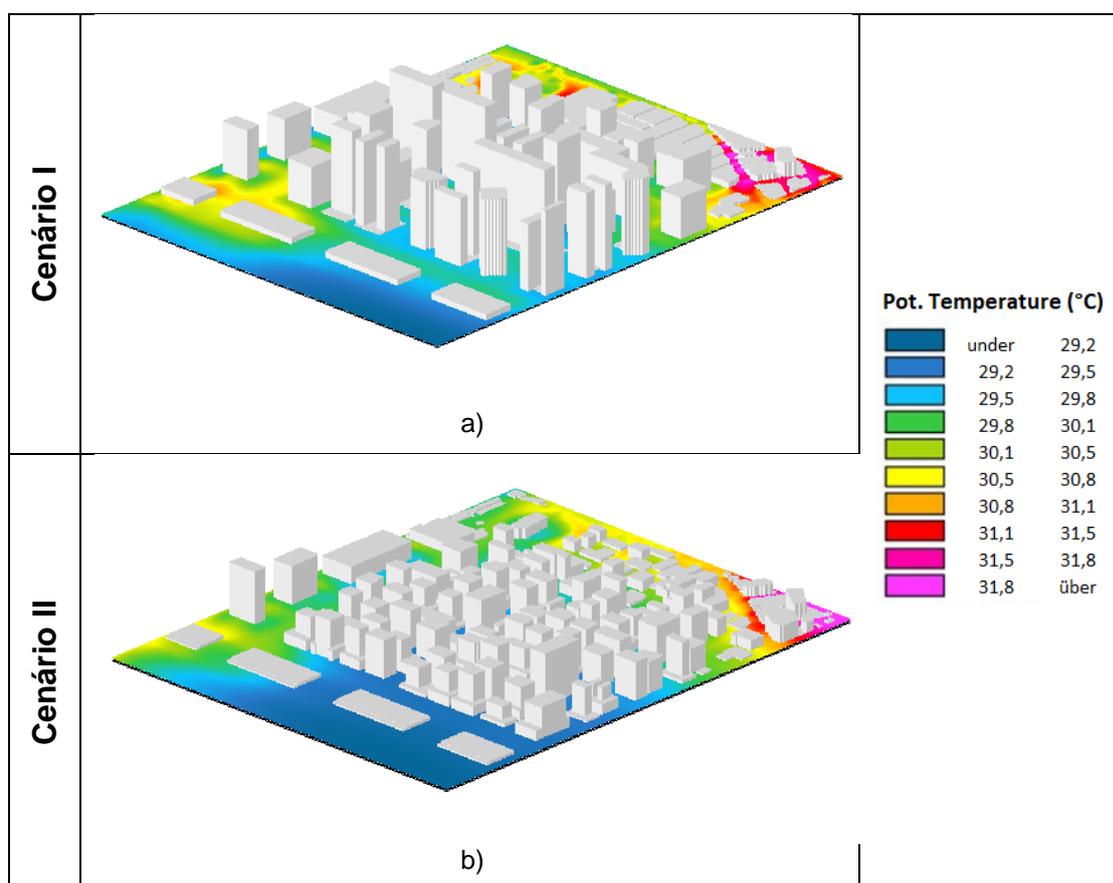


Figura 27: As duas configurações estudadas para o Setor C - LC 101/09: a) Cenário I e b) Cenário II.

Através das imagens da Figura 27 e da escala de cores nota-se que as temperaturas observadas na configuração com maior verticalização são mais elevadas, este fato se repete inclusive nas regiões circunvizinhas. Ressalta-se que para o Cenário I, os valores de temperatura do ar, ao nível do pedestre, são mais elevados, atingindo em alguns trechos uma diferença de 3°C.

Assis (2000) coloca que o adensamento e a intensa verticalização em grandes centros urbanos comprometem o acesso ao sol e à luz interferindo nas questões de saúde e de habitabilidade dos espaços internos. Para Knowles (1981) cada fração de propriedade deve ter a garantia do mesmo acesso ao sol, sob a lei. Segundo ele, o resultado seria um envelope de volume desenvolvível que expandiria seu tamanho e forma a partir do tamanho, forma, inclinação e orientação da propriedade. Até o momento a legislação, no Brasil, parece pouco ter tratado da insolação e do direito de acesso ao sol.

Cabe esclarecer que algumas simplificações foram determinadas para abordagem do estudo. Dentre elas, foi efetuada a soma das áreas de cobertura dos edifícios e estas foram tratadas como um único elemento. O potencial de geração de energia solar fotovoltaica é afetado pelas áreas de sombra que um edifício é capaz de fazer no outro. Neste estudo, estas áreas serão desconsideradas para efeito de cálculo.

3.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO

O levantamento inicial que incluiu a coleta de dados (bibliográficos e bibliométricos) foi fundamental para construção e delimitação do referencial teórico do estudo. Desta forma, foi possível justificar o tema e a sua abordagem e, ainda definir o desenvolvimento da metodologia do cálculo. A partir disso, são apresentados os resultados e discussões, considerações finais e perspectivas futuras, pensadas a partir dos resultados aqui observados.

Para cálculo da geração da energia solar capaz de atender ao Setor C, se faz necessário levantar a demanda energética e conhecer o índice de irradiação solar no local a ser estudado.

Previamente, é desenvolvido o levantamento da carga residencial, utilizando esta como base para os cálculos. Será considerado o consumo padrão de uma residência média (de 3 a 4 pessoas). A demanda de energia elétrica calculada será expandida para o bairro.

O levantamento de cargas de uso específico se dá pelo cálculo das potências dos equipamentos e do seu tempo de utilização. Quando se trata de

consumo, utiliza-se a unidade Wh (Watt-hora), indicando consumo por unidade de tempo (Equação 3).

$$\text{Potência [W]} \times \text{tempo de utilização [h]} = \text{Consumo [Wh]} \quad (3)$$

A Equação 3 considera o consumo diário. Este consumo calculado é portanto, a energia necessária [E], que deve ser gerada pelo sistema fotovoltaico.

O índice solarmérico a ser usado foi medido em um ponto central da região de estudo (Figura 28). As coordenadas geográficas correspondentes são: latitude (22,898351° S) e Longitude (43,205752° O).

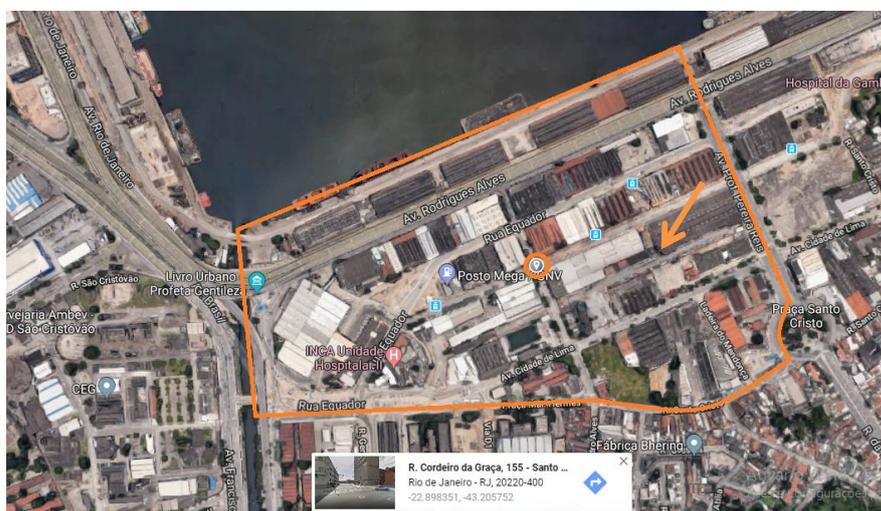


Figura 28: Delimitação do ponto de apuração do índice solarmérico do Setor C.

Os dados de irradiação solar foram apurados através do SunData - um programa destinado ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional. Ao inserir os dados geográficos, o programa apresenta o índice de irradiação em três pontos próximos ao local escolhido. O resultado é apresentado na Tabela 8 e no gráfico da Figura 29.

Tabela 8: Índice solarmérico do Setor C – Projeto Porto Maravilha.

Estação	Município	UF	País	Irradiação Solar diária média [kWh/m ² .dia]		
				Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	RJ	Brasil	22,901° S	43,249° O	4,4
Oceano	Oceano					

Atlântico	Atlântico		22,901° S	43,149° O										5,8
Oceano Atlântico	Oceano Atlântico		22,801° S	43,249° O										11,7
Irradiação Solar diária média [kWh/m².dia]														
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Rio de Janeiro	6,04	6,22	5,06	4,36	3,59	3,35	3,34	4,20	4,43	5,11	5,14	5,93	4,73	2,88
Oceano Atlântico	6,18	6,35	5,16	4,46	3,60	3,34	3,34	4,22	4,41	5,10	5,21	6,05	4,79	3,01
Oceano Atlântico	6,03	6,16	5,06	4,41	3,60	3,37	3,35	4,19	4,39	5,02	5,07	5,84	4,71	2,81

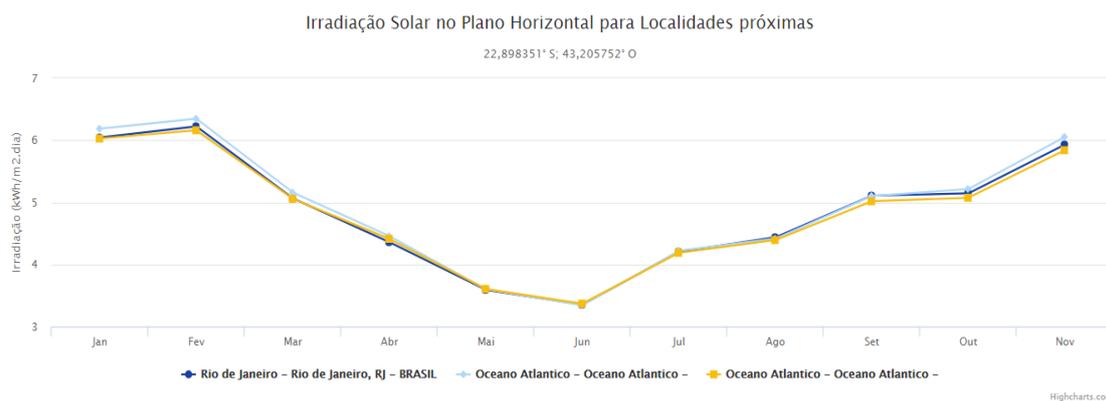


Figura 29: Índice solarmérico do Setor C – Projeto Porto Maravilha.

O SunData é uma tentativa do CRESESB - Centro de Referência para as energias solar e eólica Sérgio Brito (parte integrante do CEPEL -Centro de Pesquisa em Energia Elétrica) de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Ressalta-se que o SunData é alimentado com base na 2ª edição (lançada em 2017) do Atlas Brasileiro de Energia solar.

Conhecido o índice solarmérico, o passo seguinte constitui-se do cálculo da geração de energia solar. Faz-se necessário conhecer a potência nominal do sistema fotovoltaico necessário para gerar energia capaz de suprir esta demanda em relação ao índice de irradiação presente no local de estudo. Ou seja, a potência das placas fotovoltaicas deve atender a demanda.

A eficiência das placas é de 83% (valor padrão considerando perdas elétricas na geração e transmissão/distribuição).

A partir disto, é levantado o número de placas necessárias para gerar energia para atender essa demanda parcial ou integral. O cálculo do número de placas necessárias é realizado conforme Equação 4.

$$N = \frac{E}{A_m \cdot \eta \cdot I \cdot PR} \quad (4)$$

Onde,

N: número de placas necessárias;

E: energia necessária;

A_m: área do módulo;

η: rendimento do módulo;

I: índice de irradiação solar local;

PR: eficiência adotada 83%.

A Potência instalada em *W_p* é:

$$W_p = N \cdot W_p(\text{módulo}) \quad (5)$$

A área necessária para a instalação dos painéis fotovoltaicos capaz de gerar essa energia é:

$$\text{Área} = N \cdot A_m \quad (6)$$

As superfícies (áreas de cobertura) dos edifícios foram somadas de modo a equivaler a uma única área para cada um dos cenários, consideradas para instalação dos painéis. Dentre diversos simuladores de sistemas de geração de energia solar, foi utilizado o Portal Solar (2018). As características do painel solar utilizado nas simulações são apresentadas na Tabela 9:

Tabela 9: Especificações Técnicas do Painel de 330Wp de Energia Solar

Descrição	Dados
Máxima Potência (P _m):	330 Watts
Tolerância:	± 3%

Voltagem de Máxima Potência (Vm) :	37,72 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im):	8,75 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc):	46,38 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	9,49 Amps
Voltagem Máxima do Sistema:	1000 Volts
Eficiência do Pannel:	17,0%
Coeficiente de Temperatura da Potência(Pm):	-0,423 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Corrente(Isc):	0,039 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Voltagem(Voc):	-0,307 %/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45±2°C

* Condição padrão de teste STC/CPT: Irradiação de 1.000 W/m², Espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C.

NEOSOLAR, 2018.

Além da questão energética e da sustentabilidade é importante pensar no desenvolvimento de espaços densos, mas que estejam relacionados à escala humana. Proporciona-se assim um caminhar agradável e um incremento na qualidade da cidade para as pessoas (GEHL, 2013).

A primeira configuração de bairro aqui estudada, Cenário I, aquela utilizando as diretrizes LC 101 tem mais uma limitação à sua aplicação, que é o consumo de elevadores para torres altas. Estas torres apresentam um consumo de energia bem mais elevado do que aquele observado para os edifícios mais baixos.

Os elevadores têm capacidade de transportar de 6 a 12 pessoas. Dependendo da altura do edifício e da velocidade do elevador, a potência dos motores pode variar entre 6 e 20 cv. A Tabela 10 apresenta o consumo médio de um elevador para ir da garagem até o último andar e voltar ao ponto de partida (ANEEL, s/d). O cálculo do consumo de energia elétrica por elevadores é realizado com base nesta tabela.

Tabela 10: Consumo de energia elétrica em elevadores

Número de andares	Capacidade do elevador (em nº de pessoas)	Consumo médio por viagem (kWh)
3	6	0,15
6	6	0,25

10	8	0,45
----	---	------

ANEEL, s/d.

Para o cálculo do consumo mensal é estimado o número de viagens/dia e multiplicado por 30. Este consumo pode ser replicado para os edifícios do bairro. A partir dos resultados apresentados na Tabela 8 é possível entender o que representam as grandes torres ‘energívoras’ em termos de consumo de energia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. SOMBREAMENTO E RADIAÇÃO SOLAR DIRETA E DIFUSA

O sombreamento atua como um obstáculo que dificulta a captação da energia solar. Isto resulta da inclinação e orientação inadequada dos painéis, da não observância da distância mínima entre as fileiras de módulos FV (em que os próprios painéis podem sombrear uns aos outros) ou da localização do sistema. Tomando este último, a radiação solar que consegue atingir os painéis fotovoltaicos é afetada pelas áreas de sombra que um edifício é capaz de fazer no outro, ou até mesmo que um conjunto de painéis é capaz de fazer no outro. Neste estudo, estas áreas foram desconsideradas para as simulações, mas algumas configurações são aqui apresentadas para o entendimento da questão. Foram gerados os sombreamentos nos meses de janeiro (Figura 30) e julho (Figura 31) para os horários de 10h, 12h e 15h para os dois cenários. A ferramenta utilizada foi o software Sketchup, Versão 2017.

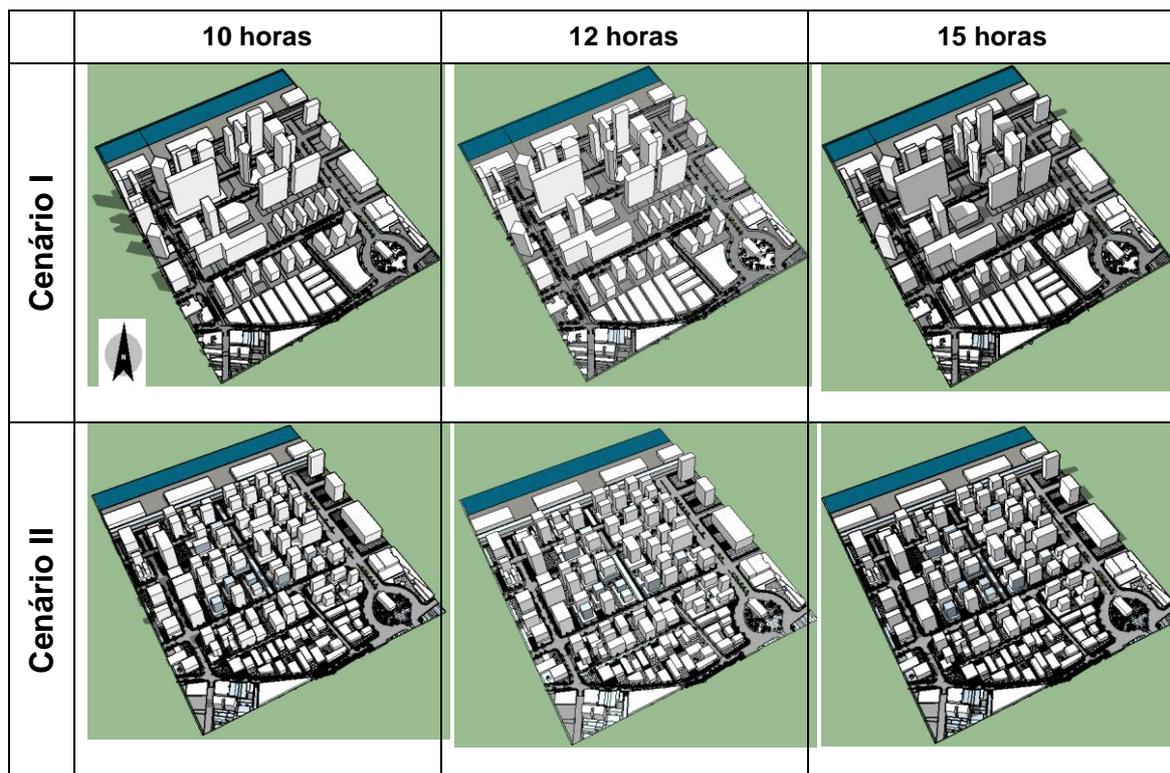
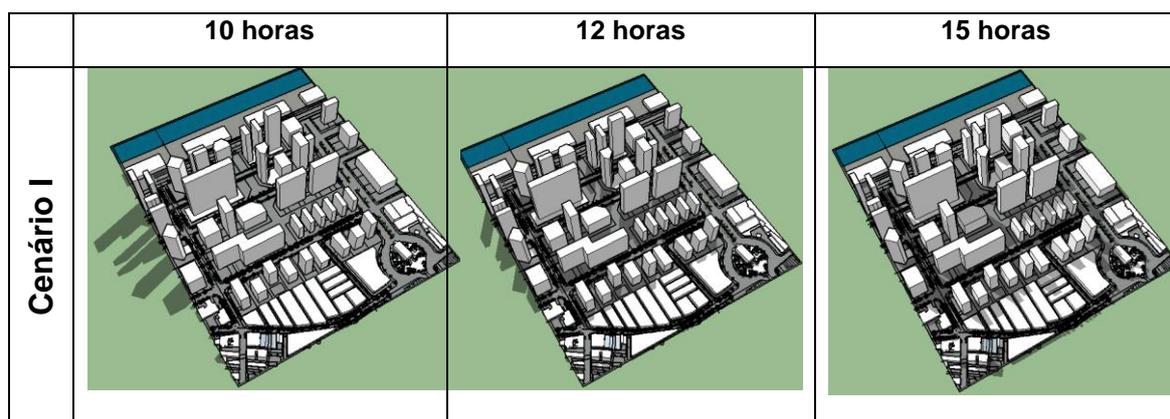


Figura 30: Sombreamentos nos meses de janeiro para os horários de 10h, 12h e 15h para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.

Os resultados para o sombreamento a partir da trajetória solar apontam que a configuração com verticalização intensa (Cenário I) acaba produzindo também uma maior área sombreada no topo dos edifícios nos horários de 10 horas e 15 horas, se comparada com a configuração do Cenário II.



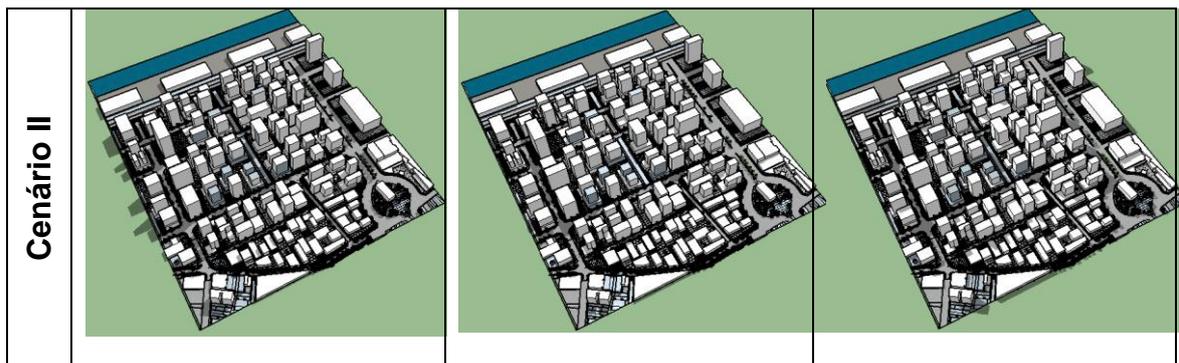


Figura 31: Sombreamentos nos meses de julho para os horários de 10h, 12h e 15h para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.

Durante o inverno o sombreamento produzido nas coberturas é mais intenso no horário das 15 horas predominantemente para o Cenário I. Este fato apesar de não ter sido levado em conta nos resultados aqui apresentados, pode ser de relevância para estudos futuros e, ainda pode representar mais um ponto positivo ao se propor a adoção de um cenário menos verticalizado para bairros da cidade.

Paralelamente a isto, uma vez que a maior verticalização também produz um sombreamento nas faces das outras edificações pode ser aqui colocada a questão do direito ao sol. O Sol, uma fonte renovável de energia é fundamental para a vida no planeta. A luz natural cria um ritmo diário influenciando as percepções de tempo e espaço (LYNCH, 1960). Seu uso remonta a história do homem no planeta. Na Roma antiga, mais precisamente no século II d.C o imperador Ulpiano criou a lei Heliocaminus, a qual garantia ao povo o direito ao sol (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997).

Conforme dito anteriormente, para o aproveitamento solar fotovoltaico, faz-se uso da Irradiação Global Horizontal (GHI) que define a radiação recebida por uma superfície plana horizontal. A GHI é composta pela Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e pela Irradiação Normal Direta (DNI). Em dias nublados, a principal fração recebida é a DIF, enquanto que em dias claros prevalece a DNI (EPE, 2012). Nas Figuras 32 e 33 podem ser observados os valores para DNI e DIF, respectivamente, retirados para o horário de 12 horas no mês de janeiro.

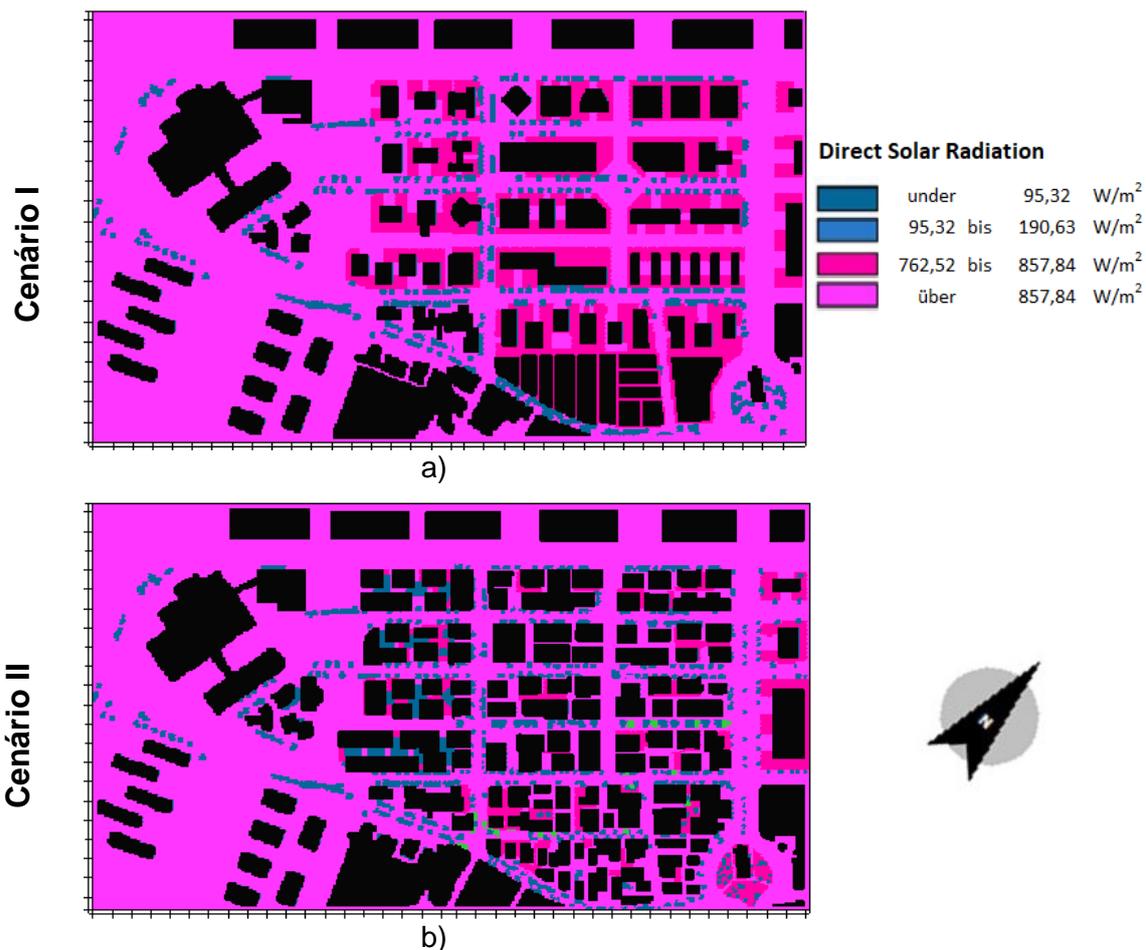


Figura 32: Fração recebida de DNI para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.

A incidência de radiação direta permanece entre 762,52 e 857 W/m^2 em todos os pontos (Figura 33), com exceção das áreas arborizadas, onde os valores mais baixos de DNI podem ser observados. A linha da arborização aparece marcada com o azul. Para o mês de janeiro, às 12 horas, a altura solar está próxima de 90° , não oferecendo, portanto, o sombreamento das edificações.

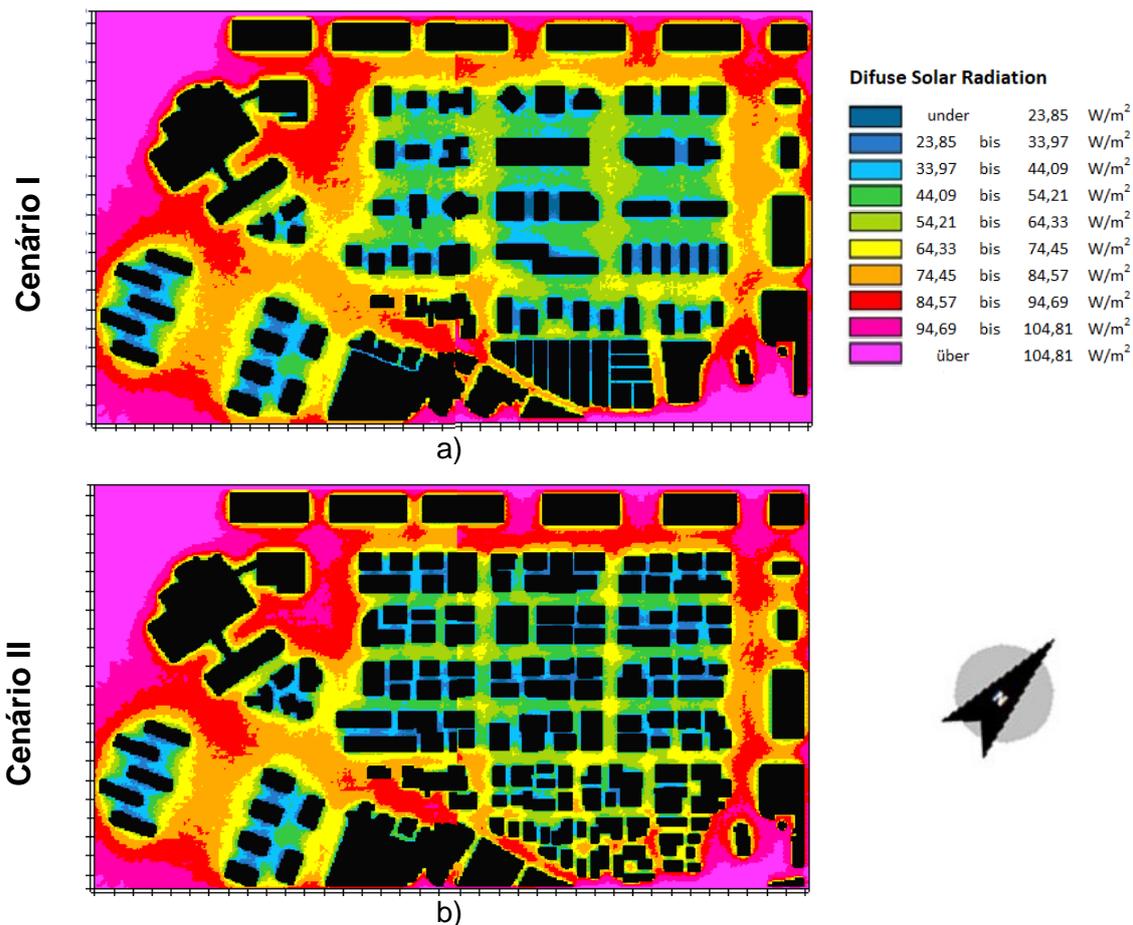


Figura 33: Fração recebida de DIF para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.

A partir das imagens da Figura 34 pode-se observar que radiação difusa - DIF apresenta os menores valores em locais confinados, uma vez que os edifícios mais altos representam um obstáculo à penetração da radiação difusa. Observa-se pelas imagens que mesmo as ruas do entorno do conjunto apresentam valores mais elevados no Cenário I onde há maior verticalização.

Desta forma, esta incidência de irradiação solar é propícia para o uso de painéis fotovoltaicos, em particular pelo grande aproveitamento da parcela DNI. Este fato se dá para as duas configurações estudadas, Cenário I e Cenário II, informação obtida inicialmente através do Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro (SEDEIS; EPE; IPP; GIZ, 2015).

4.2. DEMANDA ENERGÉTICA DO BAIRRO

O levantamento de carga elétrica de uma residência média (que abriga de 3 a 4 pessoas) foi realizado através do simulador de consumo fornecido pelo Grupo Light, neste são considerados valores padrão de potência para os diferentes equipamentos elétricos escolhidos. Ressalta que estes valores podem variar conforme potência específica de cada um, além do tempo de uso destes. A Figura 34 mostra a interface do simulador utilizado.



Figura 34: interface do simulador de consumo do Grupo Light.

No simulador da Figura 34, é possível inserir o tipo de equipamento, a quantidade, sua potência elétrica, tempo diário de utilização, quantidade de dias em que é usado, e então obter o consumo em kWh/mês.

Nota-se que a escolha dos equipamentos pode ser agrupada por atividade específica ou cômodo da residência, conforme mostra a Figura 35.

Simulador de Consumo da Light

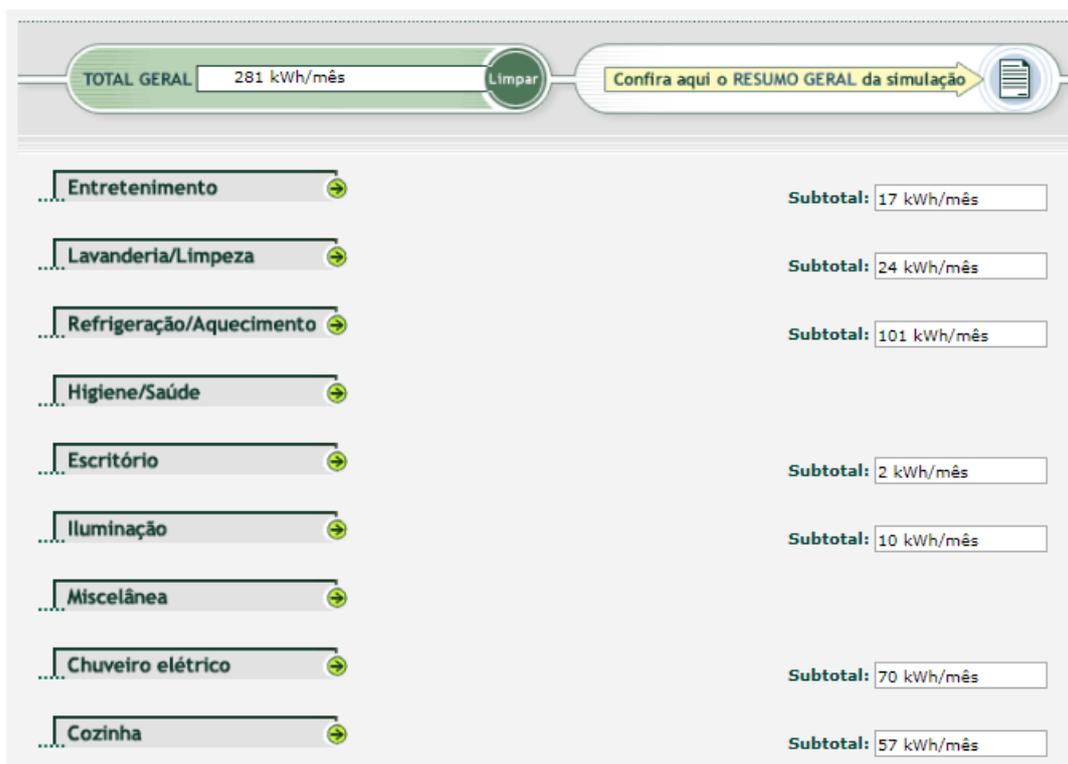


Figura 35: Consumo por atividade / cômodo no simulador de consumo do Grupo Light.

A escolha dos equipamentos elétricos para o levantamento da demanda elétrica de uma residência deve ser criteriosa, considerando desde os itens básicos aos itens mais sofisticados, que poderiam ser utilizados, a depender do maior poder aquisitivo dos residentes. Por exemplo, na Figura 35, verifica-se um consumo mínimo para o escritório (2kWh/mês), este valor poderia ser maior se considerado uma lista de equipamentos como computador de mesa, notebook, impressora, scanner, etc, ou poderia não existir. Contudo, não é objeto deste trabalho discutir isto.

A Tabela 11 apresenta os equipamentos considerados neste levantamento de carga, discriminando a quantidade, a potência elétrica e o tempo de utilização.

Tabela 11: Descrição de equipamentos utilizados no levantamento de carga da residência.

ENTRETENIMENTO						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo Unid.	Tempo Dias no Mês	Total kWh	
TV em cores - 29"	1	110	5	Horas	30	16.5
Subtotal: 17 kWh/mês						
LAVANDERIA/LIMPEZA						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo Unid.	Tempo Dias no Mês	Total kWh	
Ferro elétrico automático	1	1000	1	Horas	12	12
Lavadora de roupas	1	500	2	Horas	12	12
Subtotal: 24 kWh/mês						
REFRIGERAÇÃO/AQUECIMENTO						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo Unid.	Tempo Dias no Mês	Total kWh	
Ar condicionado 7.500 BTU	1	1000	8	Horas	10	80
Ventilador pequeno	2	65	8	Horas	20	20.8
Subtotal: 101 kWh/mês						
ESCRITÓRIO						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo Unid.	Tempo Dias no Mês	Total kWh	
Microcomputador	1	80	2	Horas	15	2.4
Subtotal: 2 kWh/mês						
ILUMINAÇÃO						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo Unid.	Tempo Dias no Mês	Total kWh	
Lâmpada fluoresc. compacta 11 W	6	11	5	Horas	30	9.9
Subtotal: 10 kWh/mês						
CHUVEIRO ELÉTRICO						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo Unid.	Tempo Dias no Mês	Total kWh	
Chuveiro elétrico	4	3500	10	Min.	30	70
Subtotal: 70 kWh/mês						
COZINHA						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo Unid.	Tempo Dias no Mês	Total kWh	
Fogão comum	1	60	120	Min.	30	3.6
Forno microondas	1	1200	20	Min.	20	8
Geladeira 1 porta	1	300	-	-	-	45
Liquidificador	1	300	10	Min.	15	0.75
Subtotal: 57 kWh/mês						
TOTAL:			281 kWh/mês			

Através da Tabela 10, é possível observar o consumo individual dos equipamentos, o total de consumo por atividade/cômodo, além do montante total no mês. Essa separação é extremamente importante, deixando o projeto

elétrico detalhado, fazendo-se relevante também para a possibilidade de se projetar um sistema de geração para atender determinada parte da residência.

A Figura 36 ilustra um domicílio com consumo médio mensal equivalente a 281 kWh, com 11 eletrodomésticos diferentes e lâmpadas. Neste, pode-se observar que o ar condicionado é o item que apresenta maior consumo, 29% do total, seguido do chuveiro elétrico (25%) e da geladeira (16%). Juntos, estes três equipamentos consomem 70% da energia elétrica demandada por este domicílio.

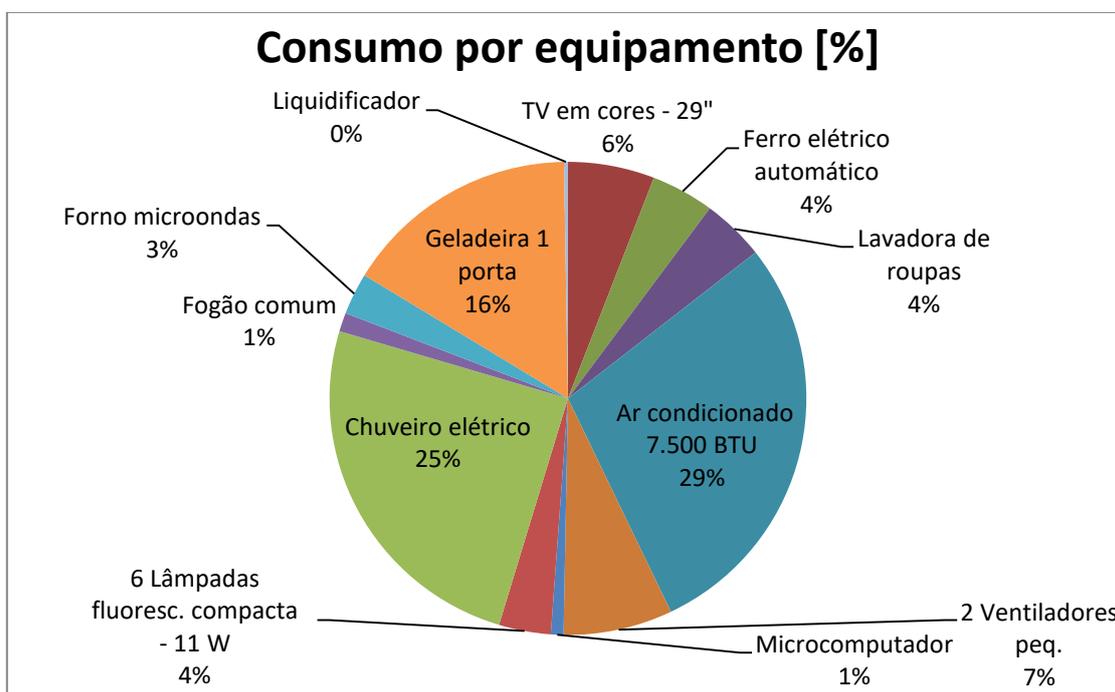


Figura 36: Consumo de energia por equipamento.

Eletrodomésticos como fogão e liquidificador apresentam baixíssimas taxas de consumo 1% e 0% respectivamente. Além disto, o microcomputador tem consumo irrelevante.

Marques (2018) cita que a população do Porto Maravilha equivale a 32 mil habitantes. Tomando como base o consumo do domicílio modelo, o bairro apresenta demanda energética equivalente a 2.248.000 kWh/mês, isto equivale a 8 mil residências.

4.3. SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA O BAIRRO

Para suprir energia ao domicílio modelo (com demanda de 281 kWh) é necessário um sistema solar fotovoltaico com potência de 2,64 kWp. É necessária a instalação de 8 painéis de 330 W e 21,12 m² de área para instalação. Este sistema geraria o equivalente a 3372 kWh/ano, conforme mostra o gráfico da Figura 37.

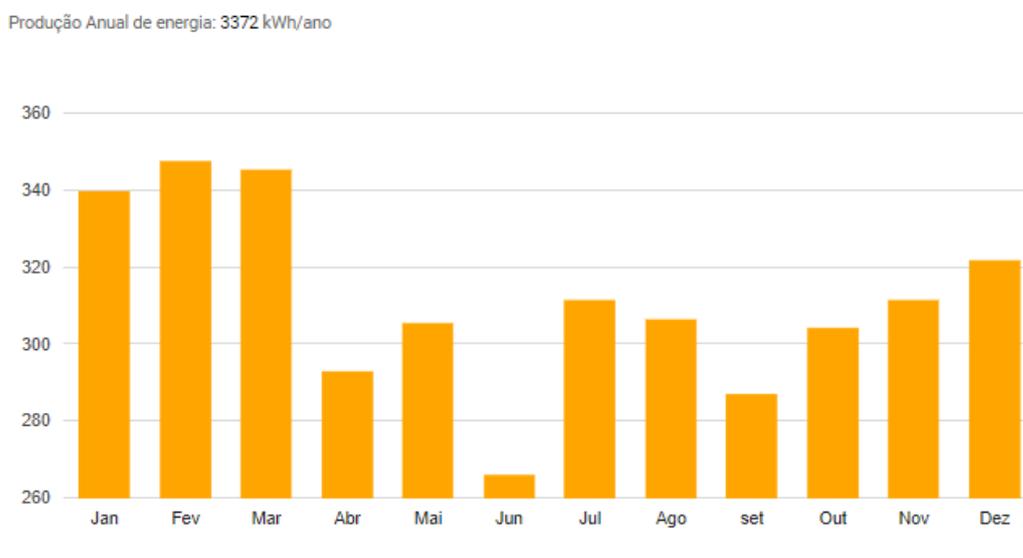


Figura 37: Geração de energia para uma residência do Porto Maravilha.

Se esta mesma residência fosse considerada em uma região com índice de irradiação diferente, tal como o Bairro Jardim Botânico, o sistema seria diferente. Por isto é extremamente importante a precisão destes dados. Na Figura 38, verifica-se a geração de energia a partir do sistema solar fotovoltaico neste bairro, com potência de 3,25 kWp, maior em relação ao Porto Maravilha. Do mesmo modo, seriam necessário 26 m² de área para a instalação de 10 painéis. Nota-se que a geração anual de energia é a mesma, porém há maior demanda de potência e área.

Produção Anual de energia: 3372 kWh/ano

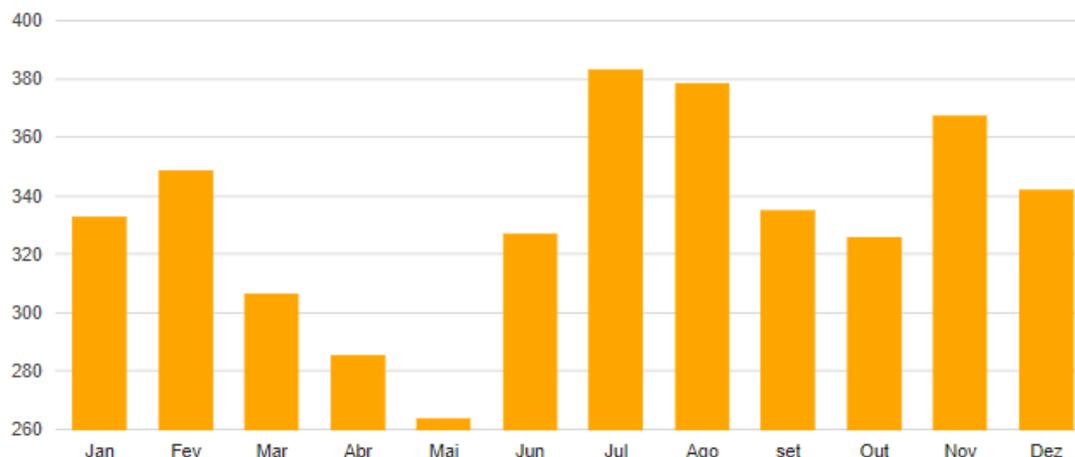


Figura 38: Geração de energia para uma residência do Jardim Botânico.

Partindo do domicílio modelo, busca-se expandir a geração para todo o Bairro. Para tanto, uma simplificação é adotada: considera-se as superfícies dos edifícios como único espaço, projetando-se um sistema solar capaz de atendê-lo energeticamente.

As superfícies de cobertura dos edifícios foram somadas. Desta forma, tem-se uma única área equivalente para instalação dos painéis fotovoltaicos. A soma das áreas de cobertura em ambos os cenários são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Soma das áreas de cobertura.

item	Área total [m ²]
Cenário I	71.062,76
Cenário II	72.610,95

O Cenário II apresenta uma tipologia urbana mais compacta, permitindo maior aglomeração de edifícios, por isso sua área de cobertura é maior. A diferença de área entre os dois cenários equivale a 1.548,19 m², isto representa apenas 2,1% a mais de área. Contudo, ao utilizar este dado para fins de geração de energia, esta área é suficiente para gerar 27,36 GWp/ano, utilizando-se de placas de 330 W, considerando o índice de irradiação solar do

Projeto Porto Maravilha. A Figura 39 traz o gráfico que evidencia a geração de energia ao longo do ano.

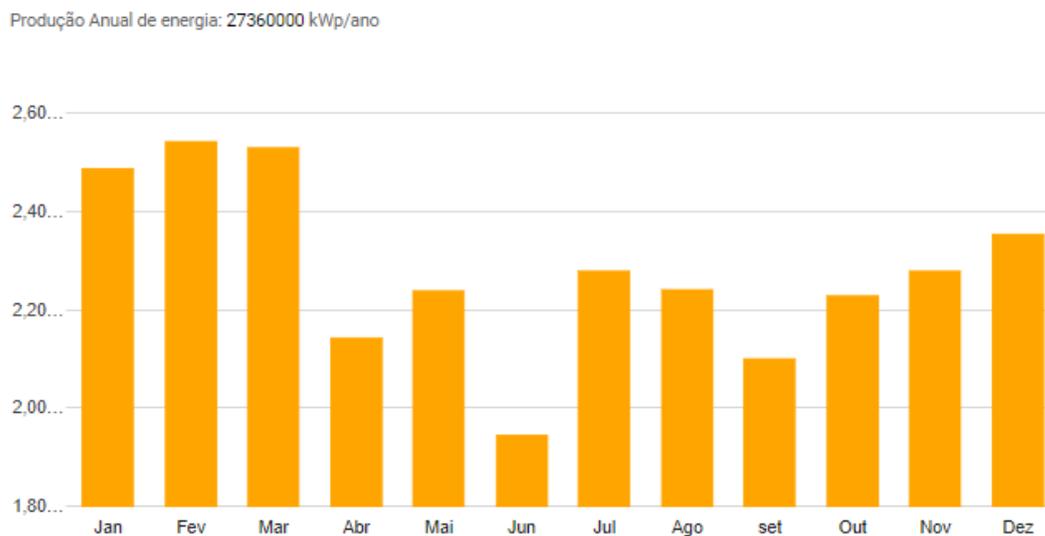


Figura 39: Excedente de geração de energia no Cenário II em relação ao Cenário I

O número total de área disponível em cada cenário é bastante expressivo. Porém considerando instalações adversas nas coberturas dos edifícios (como a presença de uma caixa d'água, por exemplo), neste trabalho utilizou-se apenas de 90% destas superfícies. No Cenário I foram considerados apenas 63.956,484 m² para instalação de painéis fotovoltaicos. Do mesmo modo, no Cenário II, utilizou-se apenas 65.349,855 m², conforme representado na Tabela 13.

Tabela 13: Área utilizada para energia solar fotovoltaica.

item	Área total [m ²]	Área disponível [m ²]
Cenário I	71.062,76	63.956,484
Cenário II	72.610,95	65.349,855

Conforme citado, a demanda energética do bairro equivale à 2.248.000 kWh/mês. O sistema de energia solar fotovoltaica para atender essa demanda requer potência instalada de 5.062,20 kWp, ocupando uma área de 40.497,60m², e utilizando-se de 15.340 painéis de 330 W. No gráfico da Figura

40, observa que a menor geração acontece no mês de junho e a maior no mês de fevereiro, o que é esperado, conforme valores mínimos e máximos dos índices de irradiação solar da região.

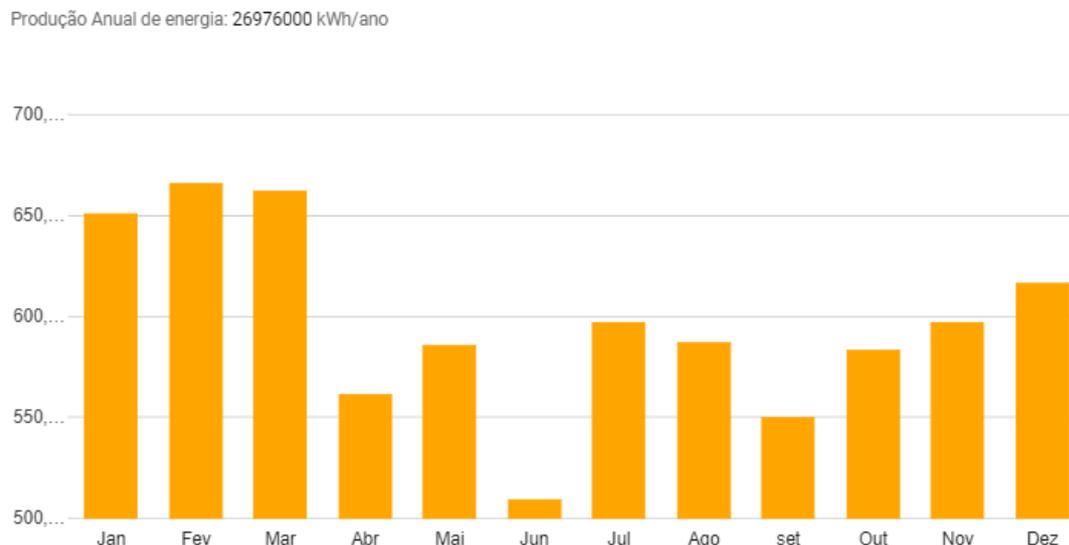


Figura 40: Geração de energia solar no Bairro.

Observando a potência instalada (5.062,20 kWp) verifica-se que esta ultrapassa 5 MW. Ressalta-se que a simplificação de junção de superfícies foi realizada apenas com o intuito de trabalhar com única área na realização das simulações, verificando o potencial de geração desse espaço. Para a aplicação do sistema, cada cobertura de cada edifício deve ser recortada e as placas realocadas conforme a disponibilidade da área.

A área necessária para gerar energia a ser fornecida para o bairro, equivale a apenas 63,3% da área disponível e à 57% da área total no Cenário I. Do mesmo modo, no Cenário II, corresponde a 62% da área disponível e a 55,8% da área total.

Assim, o Cenário I ainda dispõe de 23.458,884 m², e o Cenário II de 24.852,255 m². Se utilizar o restante da área disponível em cada cenário, para gerar energia para outros fins, tal como fornecer para o comércio local, ou até mesmo para uma escola, seria observada a geração apresentada no gráfico da Figura 41.

Produção Anual de energia: 4080000 kWh/ano

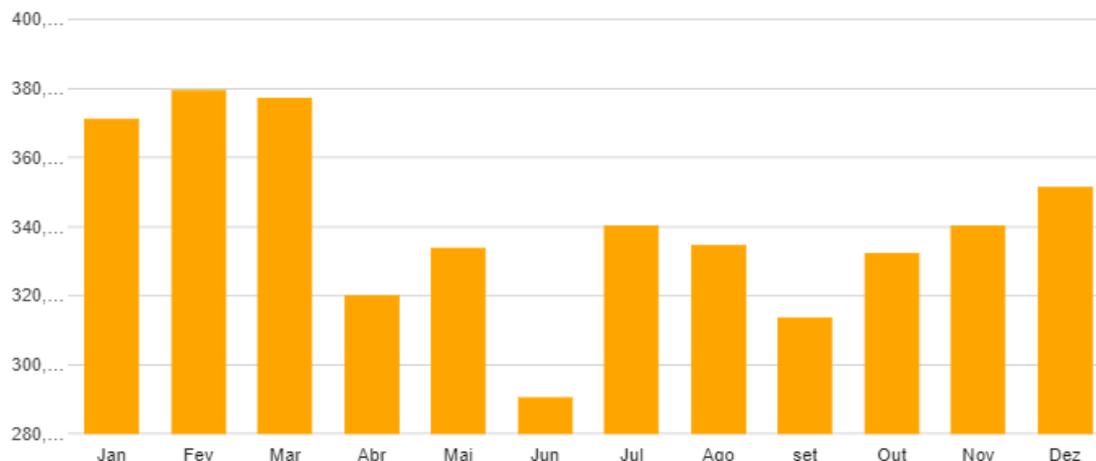


Figura 41: Geração de energia solar excedente no Bairro.

Em média, a área restante permite a instalação de mais 8.740 painéis de 330 W, isto equivale a potência instalada de 2.884,20 kWp. A área utilizada para esta simulação foi de apenas 23.073,60 m².

Salienta-se que os resultados desta simulação podem variar de acordo com a complexidade da instalação, tal como altura do telhado do edifício por exemplo. O cálculo de produção de energia baseia-se na radiação solar da região estudada. Diversos fatores como inclinação dos painéis fotovoltaicos, sombras ou outro tipo de interferência podem influenciar na produção de energia do seu sistema.

4.4. DISCUSSÕES

Como principal resultado pode ser apontada a indicação da maior capacidade de geração de energia do Cenário II, construído atendendo a certificação LEED-ND, dada sua área total calculada para receber os painéis fotovoltaicos.

Esta configuração apresentou uma capacidade de atender à demanda de energia. Com uma visão mais próxima do Projeto da EXPO 2000 *Solarsiedlung am Schlierberg*, que seria um assentamento solar no Schlierberg,

capaz de atender à demanda interna com a vantagem da geração de excedente de energia. Para a região do estudo não foi, aqui proposta, a introdução das normas de arquitetura passiva, o que seria um fator redutor da demanda de energia.

A grande vantagem deste resultado é também reforçar a opção por uma configuração urbana compacta que atende à escala humana, permite o uso misto propiciando a apropriação do espaço pelos seus usuários.

A aplicação de sistemas fotovoltaicos no bairro, além de causar menor dano ambiental relacionado à geração de energia elétrica, permite a sua utilização em pequena escala (edifício a edifício) e ainda pode ser instalado próximo ao ponto de consumo. Por serem conectadas à rede elétrica pública, essas instalações dispensam uso de banco de baterias (sistemas acumuladores de energia), utilizados nos sistemas isolados, isto reduz o custo total da instalação e dispensa a manutenção envolvida por um banco de baterias.

Apesar do sombreamento não ter sido levado em consideração na análise aqui apresentada, foram geradas configurações de sombra para o verão e o inverno nos horários de 10 horas, 12 horas e 15 horas. A partir dos resultados foi observada a maior perda de área de cobertura relacionada ao sombreamento para a proposta com maior verticalização. Soma-se a esta questão, o fato do sombreamento, no caso de intensa verticalização, atingir também as fachadas de alguns outros blocos, privando também os seus espaços internos de sol e luz.

A questão do sombreamento merece um estudo posterior, inclusive relacionado à Lei de Direito ao Sol com o desenvolvimento de envelopes solares para a região, como forma de assegurar o Direito ao Sol para as futuras edificações.

Um dos itens calculados no consumo de energia foi o consumo de energia com chuveiros elétricos, entretanto, o custo de instalação de aquecimento solar de água é relativamente baixo e os sistemas possuem eficiência comprovada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em ambos os cenários, Cenário I e Cenário II, observou-se a importância em aproveitar o espaço construído para a geração de energia solar. O Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro (2015) indica o forte potencial da Cidade do Rio de Janeiro, particularmente da Região do Porto Maravilha para geração de energia. Os dados obtidos mostraram que, levando em consideração pequenas variações (para mais ou para menos), com aproximadamente 60% das áreas disponíveis é possível gerar energia suficiente para atender a demanda do bairro.

As energias renováveis são uma realidade e uma necessidade. A geração distribuída pode trazer diversos benefícios para a matriz energética brasileira, em particular, com a energia solar fotovoltaica, pode-se citar o baixo impacto ambiental, a redução das cargas nas redes que alivia o sistema centralizado, a minimização das perdas técnicas e não técnicas ligadas ao sistema centralizado, e um impulso na diversidade de matriz energética no Brasil.

O aproveitamento desses espaços (cobertura dos edifícios) no meio urbano além de parecer viável permite inserir projetos utilizando a geração distribuída, que apresenta vantagens como a redução de perdas de energia no processo de distribuição e transmissão. Outra questão importante é evitar a necessidade de trabalhar com a geração centralizada, como por exemplo, os médios e grandes parques solares nas proximidades das cidades. Os sistemas fotovoltaicos integrados possuem a vantagem de atuarem como uma usina geradora descentralizada e que não ocupa área física extra, visto que pode estar integrada à edificação substituindo ou se sobrepondo a materiais de cobertura ou revestimento. Quando as estruturas fotovoltaicas são incorporadas ao desenho original do projeto, também é possível apontar vantagens em relação ao custo total da instalação, uma vez que estas substituem materiais de revestimentos ou recobrimentos. Contudo, os sistemas fotovoltaicos independentes envolvem um investimento ainda maior, pelo fato de necessitarem de um super dimensionamento, para garantir energia elétrica

durante o ano todo, independentemente dos períodos com menores níveis de radiação.

As fazendas solares apesar de entrarem também no sistema de redes de geração distribuída, perdem em vantagem quando comparadas aos pequenos sistemas distribuídos nos edifícios. A geração de energia *in loco* permite inclusive o abastecimento de áreas residenciais, comerciais etc. pensando na cidade bairro a bairro. O modelo de geração que aproveita a cobertura dos edifícios para a geração de energia é visto como uma forma de preservar o meio ambiente, pois neste, não é necessária a ocupação de outro espaço para fins energéticos apenas.

Os processos de densificação devem ser avaliados com cautela, buscando adequar a tipologia do bairro às necessidades e demandas do lugar. Ao avaliar intervenções é importante entender as dinâmicas presentes na região para que os processos não tenham como resultados espaços que não promovem o bem estar de seus usuários. O Cenário II além de atender à questão da geração de energia, representa um espaço caminhável e de uso diversificado.

Outro fator importante para pensar em configurações com um menor fator de verticalização se dá pelo direito ao sol. Estes edifícios extremamente altos promovem um sombreamento intenso, por vezes impedindo que o sol chegue aos edifícios vizinhos.

O processo de verticalização implicou em um maior consumo de energia, inicialmente como resultado do uso de elevadores (Tabela 10). As torres altas apresentam por si só uma demanda de energia bem mais elevada do que a observada para os edifícios mais baixos no caso de elevadores.

A finalização de um trabalho usualmente aponta novas questões e abre possibilidades de novas ações. Alguns pontos interessantes para futuras pesquisas estão diretamente relacionados às simplificações inicialmente adotadas. Dentre eles, pode ser apontado o estudo relacionado ao sombreamento para determinação das reais perdas ocasionadas pelo caso de intensa verticalização. A partir deste levantamento seria interessante recalcular a relação entre demanda e geração de energia para a região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, N. B; SCARPINELA, C. A. Transferência tecnológica e energias renováveis: Questões para o debate. In: MORET, A. de S.; GUERRA, S. M. G (Org.). Impactos e contribuições das energias renováveis no Brasil. São Paulo: ProEnergia Comunicações, 2005. p. 1-10.

AMBIENTE URBANO. Energia solar. Disponível em: <http://wp.clicrbs.com.br/ambienteurbano/tag/energia-solar/?topo=98>. Acessado em: 02 de Mar. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Elevadores. Disponível em: www2.aneel.gov.br. Acessado em: 15 de Ago. 2018.

ASSIS, E S. Impactos da forma urbana na mudança climática: método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. São Paulo, 2000. Tese de doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR - ABSOLAR. Marco histórico para o setor fotovoltaico brasileiro. Disponível em: <http://absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/marco-historico-para-o-setor-fotovoltaico-brasileiro.html>. Acessado em: 06 de Ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR - ABSOLAR. Isenção de microgeração e minigeração distribuída alcança todos os estados brasileiros. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/isencao-de-microgeracao-e-minigeracao-distribuida-alcanca-todos-os-estados-brasileiros.html>. Acessado em: 04 de Set. 2018.

BARBOSA, G. S.; ROSSI, A. M. G.; DRACH, P. R. C. Análise de projeto urbano a partir de parâmetros sustentáveis: alteração morfológica de Copacabana e algumas de suas consequências climáticas (1930 - 1950 - 2010). URBE - Revista Brasileira de Gestão Urbana, 6, set/dez 2014. 275-287.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências.** Diário Oficial, Brasília, DF, 18 out. 2001. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. **Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências.** Diário Oficial, Brasília, DF, 20 dez. 2001. Seção 1, p. 5.

BRASIL. ANEEL. Resolução ANEEL nº 583 de 22 de Outubro de 2013. Estabelece a sistemática de determinação da "Potência Instalada" e da "Potência Líquida" de empreendimento de geração, para fins de outorga, regulação e fiscalização dos serviços de geração de energia elétrica, e revoga a Resolução nº 407, de 19 de outubro de 2000. Diário Oficial, Brasília, DF, 05 nov. 2013. Seção 1, p. 57.

BRUSE, M., LEONARDO 3.75 - 2009. On-line Manual. Disponível em: <http://www.envi-met.com>. Acessado em: 14 Dez. 2009-2010.

CLARIVATE ANALYTICS. Web of science. Disponível em: <https://clarivate.com/products/web-of-science/>. Acessado em: 06 Mar. 2018.

COPEL. **Dicas de Eficiência Energética.** Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagc>

opel2.nsf%2Fdocs%2F2821DB171AAD77DB032573FB005D4B41. Acessado em: 19 de Jul. 2018.

CORRÊA, Roberto Lobato. **O espaço urbano**. São Paulo: Editora Ática S.A., 1989.

COTIA, Frederico Coutinho Guimarães. **Uso de Tecnologias Fotovoltaicas e Aerogeradores para Geração de Energia no Meio Urbano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2015.

COOPER, E.; JUNIOR, W. M. M. **Aplicação de Painéis Solares Fotovoltaicos Como Fonte Geradora Complementar de Energia Elétrica em Residências**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná, 2013.

Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB. Potencial Solar – SunData v 3.0. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acessado em: 14 de Ago. 2018.

EPE. **Balço Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Rio de Janeiro, 2018.

EPE. NOTA TÉCNICA. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012.

EPIA European Photovoltaic Industry Association, Solar Generation 6 – Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World, 2011.

Express Web Desk. **Solar-powered Cochin Airport gets UN's highest environmental accolade**. Cochin, em Querala, Índia. Publicado em 26 de julho de 2018. Disponível em: <https://indianexpress.com/article/india/solar-powered-cochin-airport-gets-uns-highest-environmental-accolade-5278121/>. Acessado em: 03 de Nov. 2018.

FRAIDENRAICH, N. *et al.* Energia Solar Fotovoltaica. In: TOLMASQUIM, M. T. (Org.). Fontes renováveis de energia no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003. p. 281-334.

GBC BRASIL. Certificação LEED. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>. Acessado em: 23 de Jul. 2018.

GEHL, Jan. **Cidades para Pessoas**. Ed. Perspectiva: São Paulo, 2013.

GOLDEMBERG, J.; PARENTE, V.; ZILLES, R. **Comments on Experience Curves for PV Modules**, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, volume 10, nº 8, páginas 571-574, Dezembro de 2002.

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.

GREEN, M. A.; RAFFAELLE, R. P.; BRUTON, T. M.; CONIBEER, G. **Achievements and challenges of solar electricity from photovoltaics**. In *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. [LUQUE, A., HEGEDUS, S. (eds)]. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

GRÜNBERG, Paula Regina M.; MEDEIROS, Marcelo Henrique F. de; TAVARES, Sergio Fernando. **Certificação ambiental de habitações: comparação entre leed**

for homes, processo água e selo casa azul. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. XVII, n. 2, p. 195-214, abr.-jun. 2014.

HAYASHI, Eduardo Issao. Holand ganha “rua” movida a energia solar. Folha *on line*. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/energia-solar/65917-holanda-ganha-rua-movida-energia-solar.htm>. Acessado em: 02 de Mar. 2018.

KNOWLES, Ralph L. Sun Rhythm Form, The Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1981, 198 p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

LYNCH, K. The image of the city. Harvard U.P. Oxford. 1960. Disponível em: <<http://italianstudies.nd.edu/assets/68866/lynch.pdf>> Acesso em: 25/02/2014

MACINTYRE, A. J., **Instalações elétricas**, 5ª Edição, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: LTC, 2011.

ELEKTRO. **Seguimento Industrial – Sistemas de Iluminação.** Manuais Elektro de Eficiência Energética. ELEKTRO. s/d.

International Energy Agency – IEA. World Energy Balances: Overview. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acessado em: 31 de Ago. 2018

MARQUES, Amanda Martins da Silva. **Análise microclimática e avaliação LEED Neighborhood: Um estudo de caso da morfologia urbana do Porto Maravilha.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2018.

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.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Acordo de Paris. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acessado em: 29 de Jul. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Energia solar no Brasil e no MUNDO. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907dd9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>. Acessado em: 07 de Ago. 2018.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** Barcelona. Editora Gustavo Gilli, 2010.

Painel solar fotovoltaico sinosola sa330-72p (330wp). Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-sinosola-sa330-72p-330wp.html>. Acessado em 10 de Dez. 2018

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São Jose dos Campos: INPE, 2006.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A.; **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos.** Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. CEPEL – DTE – CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. Quanto custa a energia solar fotovoltaica. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>. Acessado em: 02 de Out. 2018

RANJBAR-SAHRAEI, B.; NEGENBORN, R. Research Positioning & Trend Identification: a data-analytics toolbox. Delft University of Technology, 2017.

ROXA, Camilo. As dificuldades para a expansão da energia solar no Brasil. Jornal eletrônico NEXO. Disponível em: <https://www.nexojournal.com.br/expresso/2018/01/10/As-dificuldades-para-a-expans%C3%A3o-da-energia-solar-no-Brasil>. Acessado em: 02 de Fev. 2018

SANTOS, A. H. M., *et. al.* **Eficiência Energética Teoria & Prática**, 1. Ed. Eletrobras / PROCEL Educação, Universidade Federal de Itajubá, Fupai, Itajubá, 2007.

Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços do Governo do Estado do Rio de Janeiro (SEDEIS), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do Governo Federal, o Instituto Pereira Passos, da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (IPP) e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). **Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro 2015. Disponível em: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=ea015caccdde49f1a838599dd6d3edd3>. . Acessado em: 10 de Nov. 2018

SOLARROAD. **The road that converts sunlight into electricity**. SolarRoad. Krommenie, Holanda. Disponível em: <https://en.solaroad.nl/>. Acessado em: 04 de Nov. 2018.

TOLMASQUIM, M. T. **Alternativas Energéticas sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004.

UNITED NATIONS, UN (2018) World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs - United Nations, Nova Iorque.

VIANA, A. N. C.; BORTONI, E.da C.; NOGUEIRA, F. J. H. *et all.* **Eficiência energética: Fundamentos e Aplicações**. 1.ed. Campinas – SP: Elektro, 2012.

VIANA, T. S.; RÜTHER, R.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. **Potencial de Geração Fotovoltaica Com Concentração no Brasil**. III Congresso Brasileiro de Energia Solar - Belém, 2010.

VIEIRA, Renata. Brasil começa a aproveitar seu potencial de energia solar: Revista EXAME. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/revista-exame/quando-o-sol-vira-dinheiro/>. Acessado em: 23 de Jul. 2018.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZOTTIS, Luisa. Quais são as nações mais poluentes do mundo. Disponível em: <http://wricidades.org/noticia/quais-s%C3%A3o-na%C3%A7%C3%B5es-mais-poluentes-do-mundo>. Acessado em: 07 de ago. 2018.