

Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formas urbanas

RESUMO

Clerismar Fernandes da Silva

clerys.eel@gmail.com

Universidade Federal do Rio de Janeiro -
UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Patrícia Regina Chaves Drach

patricia.drach@gmail.com

Universidade Federal do Rio de Janeiro -
UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Gisele Silva Barbosa

giselebarbosa@poli.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro -
UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

O crescente processo de urbanização pode promover a intensificação de riscos oriundos das alterações climáticas, logo, é importante associar questões ambientais e ações no meio urbano, planejando cidades com energia limpa. Para estudar a aplicação da energia solar fotovoltaica no meio urbano, foi desenvolvida uma análise comparativa da capacidade de geração de energia e de consumo para duas configurações da morfologia urbana propostas por Marques (2018). O Cenário I atendeu à Lei Complementar, LC 101/2009 - Operação Urbana Consorciada do Porto Maravilha. O Cenário II foi desenvolvido tendo como base ações da certificação ambiental LEED – Neighborhood, o LEED - Desenvolvimento de Bairros, e permitiu maior concentração de edifícios, logo, uma maior área disponível (coberturas) para geração de energia. Os resultados reforçam a necessidade de avaliar previamente os processos de densificação, propondo configurações urbanas adequadas às necessidades do lugar. A geração de energia no meio urbano também 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. Painel Fotovoltaico. Morfologia urbana. Certificações ambientais.

INTRODUÇÃO

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. 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.

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.

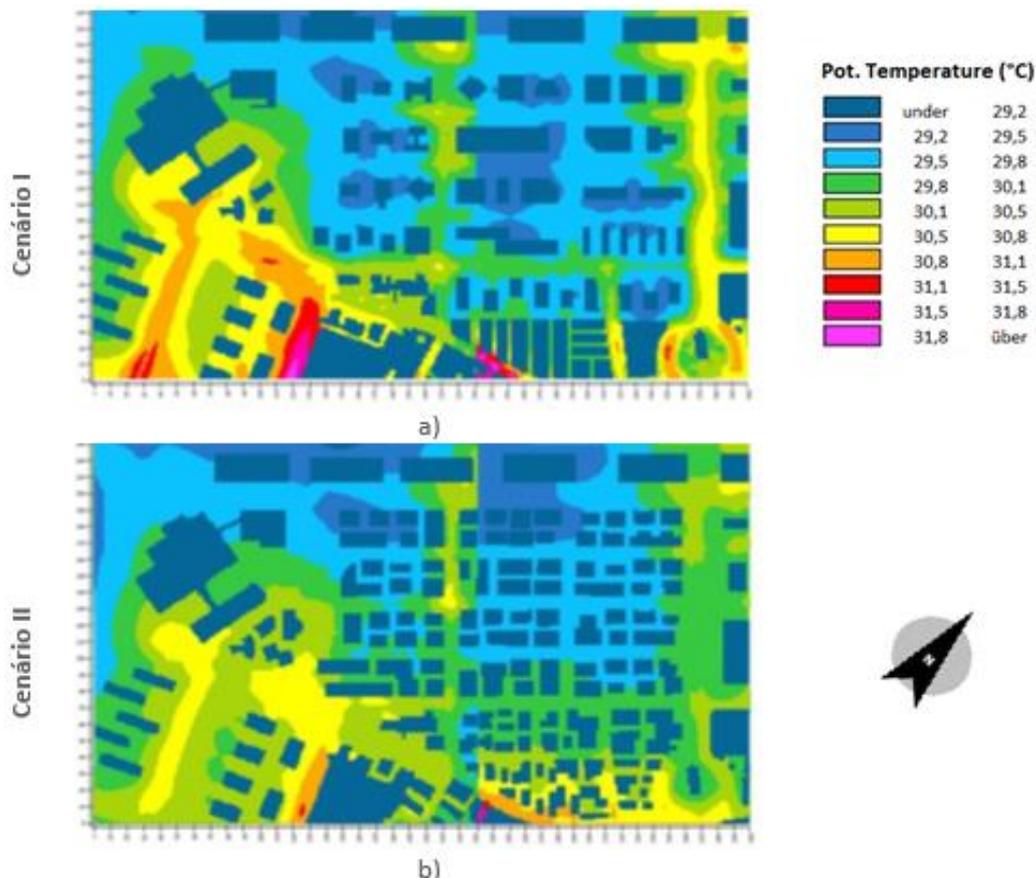
Neste artigo foi abordado a utilização da energia solar fotovoltaica, uma energia renovável, aplicada ao meio urbano, sem a necessidade de utilizar redes de distribuição, através de um estudo prático realizado em uma área da região do Porto Maravilha na cidade do Rio de Janeiro.

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.

Marques (2018) propôs duas configurações urbanas de densidades construídas similares, mas que possuem formas urbanas e tipologias completamente diferentes para a região do Porto na cidade do Rio de Janeiro. 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 1 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 1: Temperatura do Ar (°C) para as duas tipologias do bairro; a) Cenário I e b) Cenário 2. Marques, 2018.



Fonte: Marques, 2018.

A partir das imagens da Figura 1 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.

Este estudo 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.

O objetivo deste trabalho foi estudar a aplicação da energia solar fotovoltaica no meio urbano e verificar sua aplicação em diferentes morfologias urbanas, a partir dos do Cenários propostos por Marques (2018). Desta forma, foi aplicado um estudo em uma proposta que teve uma comprovação de eficiência, como a configuração baseada no LEED-NB que mostra a presença de temperaturas menos elevadas, além de atender a um selo internacional (LEED). 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.

O estudo baseou-se em uma pesquisa exploratória, que através de um estudo prático procurou evidenciar um fenômeno. 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, o LEED para Desenvolvimento de Bairros.

LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO

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.

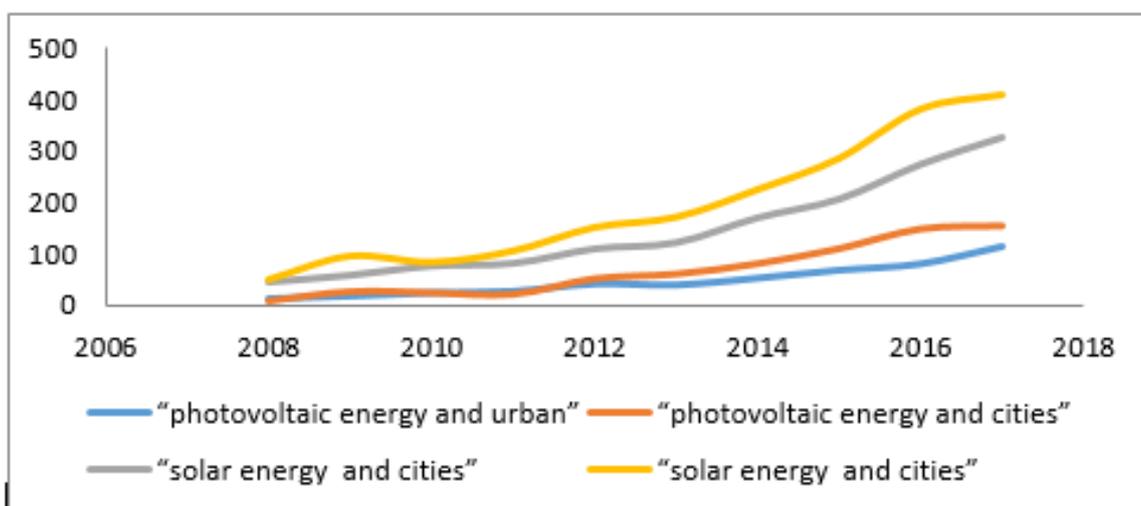
A Tabela 1 e o gráfico da Figura 2 apresentam o número de publicações obtido através da Web of Science, no Portal dos Periódicos da CAPES, possibilitando notar a evolução do interesse no tema deste trabalho ao longo dos últimos 10 anos.

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
“Photovoltaic energy and urban”	14	19	25	28	42	40	53	68	80	113	553
“Photovoltaic energy and cities”	8	26	24	21	51	60	80	109	147	153	766
“Solar energy and urban”	47	60	78	83	111	123	171	207	274	326	1.637
“Solar energy and cities”	49	95	83	105	151	171	225	286	382	410	2.184

Fonte: Autoras, 2018.

Figura 2: Gráfico apresentando o crescimento do uso em publicações, via Web of Science, dos termos relacionados ao tema da pesquisa.



Fonte: Autoras, 2018.

A partir da Tabela 1 e do gráfico da Figura 2 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.

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, resultado do levantamento bibliométrico, possível indicação da crescente produção acadêmica envolvendo este tema.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

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.

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.

A estruturação urbana é extremamente importante para o estudo de geração de energia solar fotovoltaica. 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.

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 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. A Figura 3 apresenta um esboço de uma instalação típica, no qual pode ser visualizada a sequência produção, consumo e retorno do excedente para a rede.

Figura 3: Esquema da geração distribuída.



Fonte: MME (2017).

Como pode ser observado na Figura 3, os painéis fotovoltaicos estão instalados numa região 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.

No final de 2009 havia no globo 23 GW de potência instalada em sistemas de energia solar fotovoltaica, o equivalente a 15 termoelétricas 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.

LEED NEIGHBORHOOD

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 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).

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.

ESTUDO PRÁTICO – PORTO MARAVILHA

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 (Olgay, 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 4) 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).

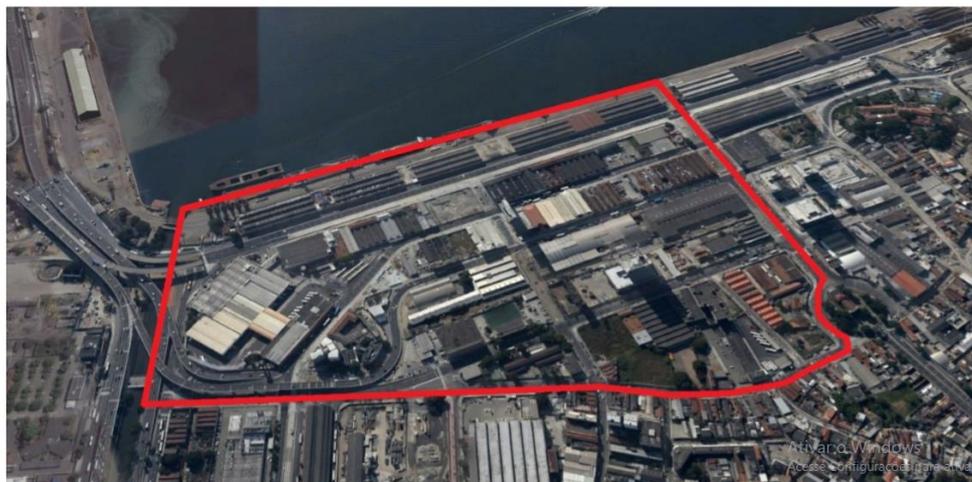
Figura 4: Mapa Solar da Cidade do Rio de Janeiro.



Fonte: SEDEIS; EPE; IPP; GIZ, 2015; adaptado pelas autoras, 2018.

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 5) é definida pelas Av. Francisco Bicalho, Praça Marechal Hermes, Rua Santo Cristo, Avenida Professor Pereira Reis e Baía da Guanabara (Marques, 2018).

Figura 5: Delimitação do Setor C – LC 101/09.

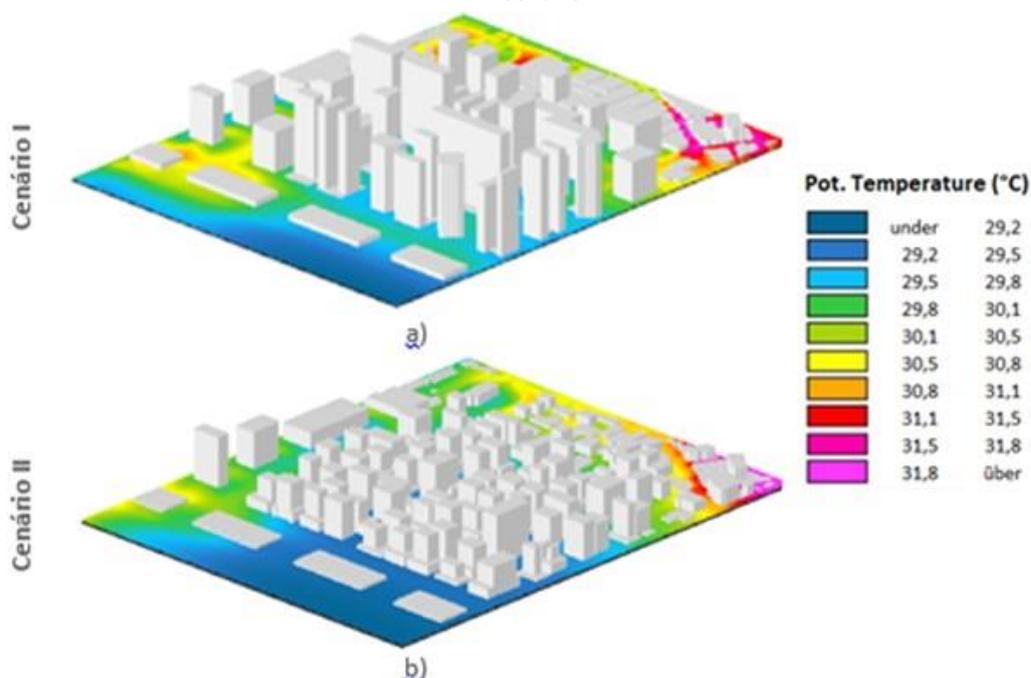


Fonte: Marques, 2018.

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 6, 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 6: As duas configurações estudadas para o Setor C - LC 101/09: a) Cenário I e b) Cenário II.



Fonte: Marques, 2018.

Através das imagens da Figura 7 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.

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.

METODOLOGIA DE CÁLCULO

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.

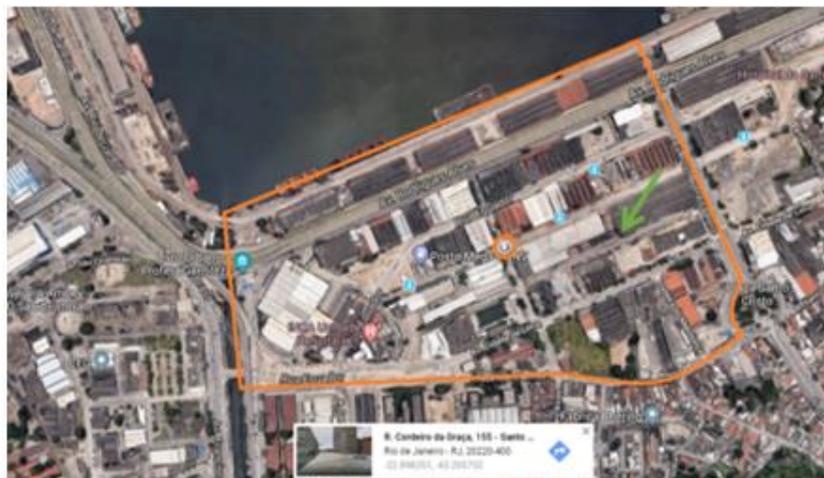
O levantamento de cargas de uso específico se dá pelo cálculo das potências dos equipamentos e do seu tempo de utilização. Quando se trata de consumo, utiliza-se a unidade Wh (Watt-hora), indicando consumo por unidade de tempo (Equação 1).

$$\text{Potência [W]} \times \text{tempo de utilização [h]} = \text{Consumo[Wh]} \quad (1)$$

A Equação 1 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 7). As coordenadas geográficas correspondentes são: latitude (22,898351° S) e Longitude (43,205752° O).

Figura 7: Delimitação do ponto de apuração do índice solarmérico do Setor C.



Fonte: Google Earth; adaptado pelas autoras, 2018

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 2.

Tabela 2: 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 Atlântico	Oceano 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/m ² .dia]													
	Jan	Fev.	Mar	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd	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
Ocea. Atlant.	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
Ocea. Atlant.	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

Fonte: autoras 2018.

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 2.

$$N = \frac{E}{A_m \cdot \eta \cdot I \cdot PR} \quad (2)$$

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:

$$W_p = N \cdot W_p(\text{módulo}) \quad (3)$$

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

$$\text{Área} = N \cdot A_m \quad (4)$$

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 3:

Tabela 3: Especificações Técnicas do Painel de 330Wp de Energia Solar.

Descrição	Dados
Máxima Potência (Pm):	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 Painel:	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

Fonte: Neosolar, 2018.

* 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.

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 4 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 4: 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

FONTE: ANEEL, S/D.

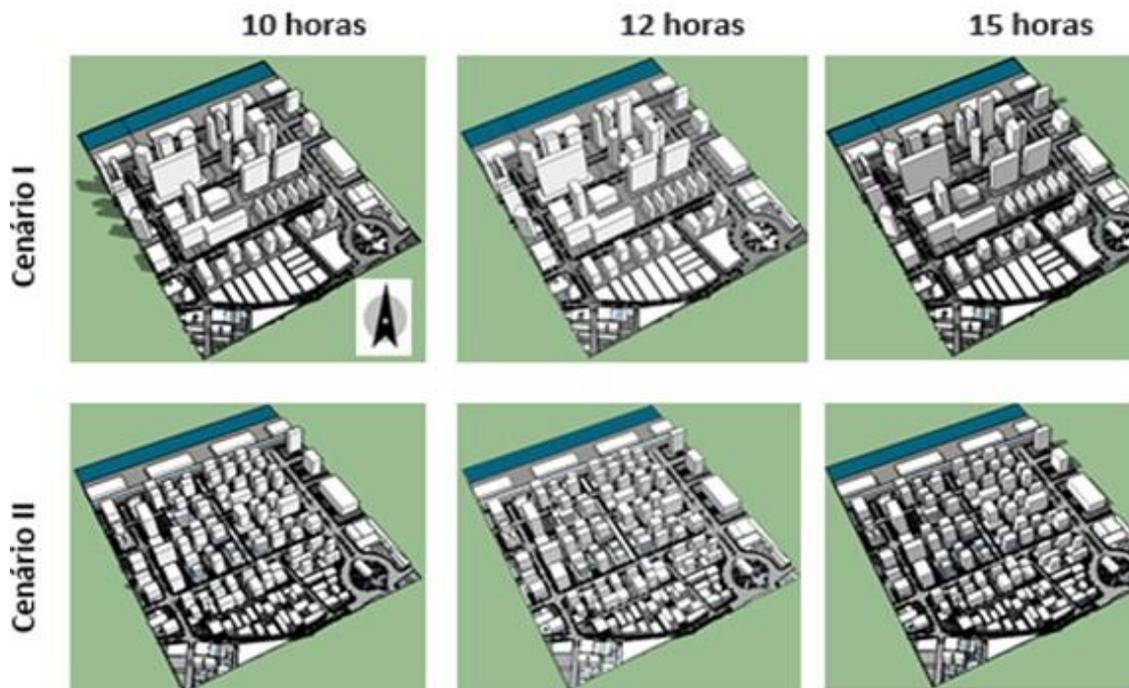
Para o cálculo do consumo mensal é estimado o número de viagens/dia e multiplicado por 30. Este consumo pode ser replicado para os edifícios do bairro. A partir dos resultados apresentados na Tabela 8 é possível entender o que representam as grandes torres 'energívoras' em termos de consumo de energia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

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 9) e julho (Figura 10) para os horários de 10h, 12h e 15h para os dois cenários. A ferramenta utilizada foi o software Sketchup, Versão 2017.

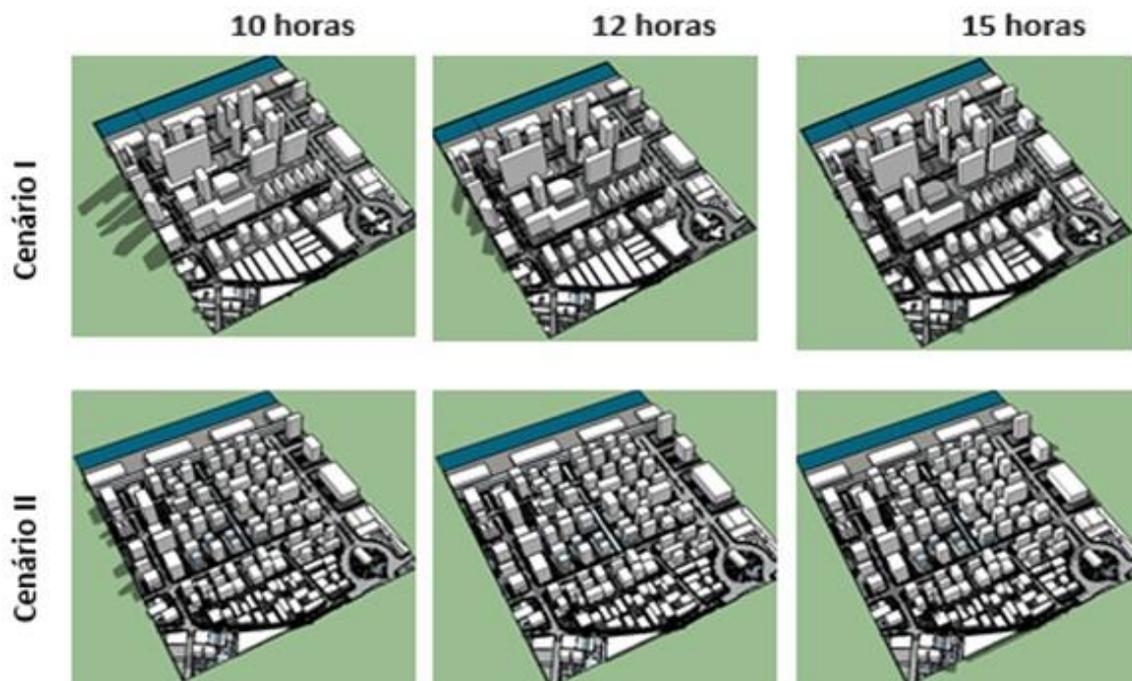
Figura 9: Sombreamentos nos meses de janeiro para os horários de 10h, 12h e 15h para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.



Fonte: Autoras 2018.

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



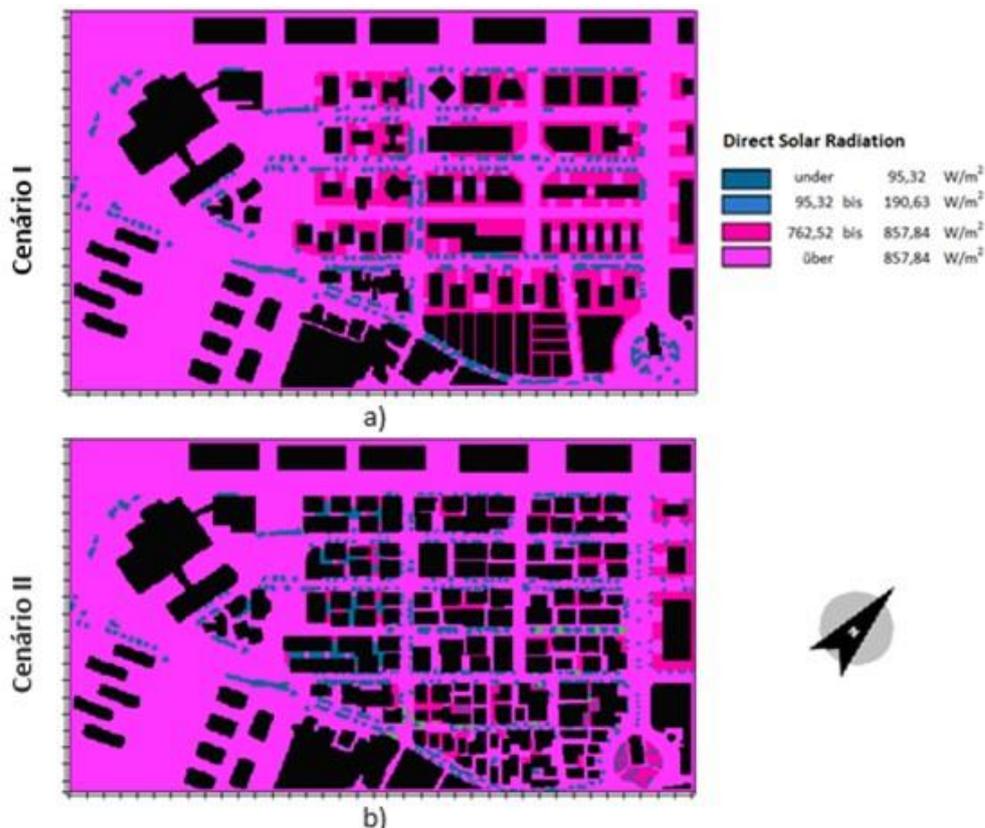
Fonte: Autoras 2018.

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 11 e 12 podem ser observados os valores para DNI e DIF, respectivamente, retirados para o horário de 12 horas no mês de janeiro.

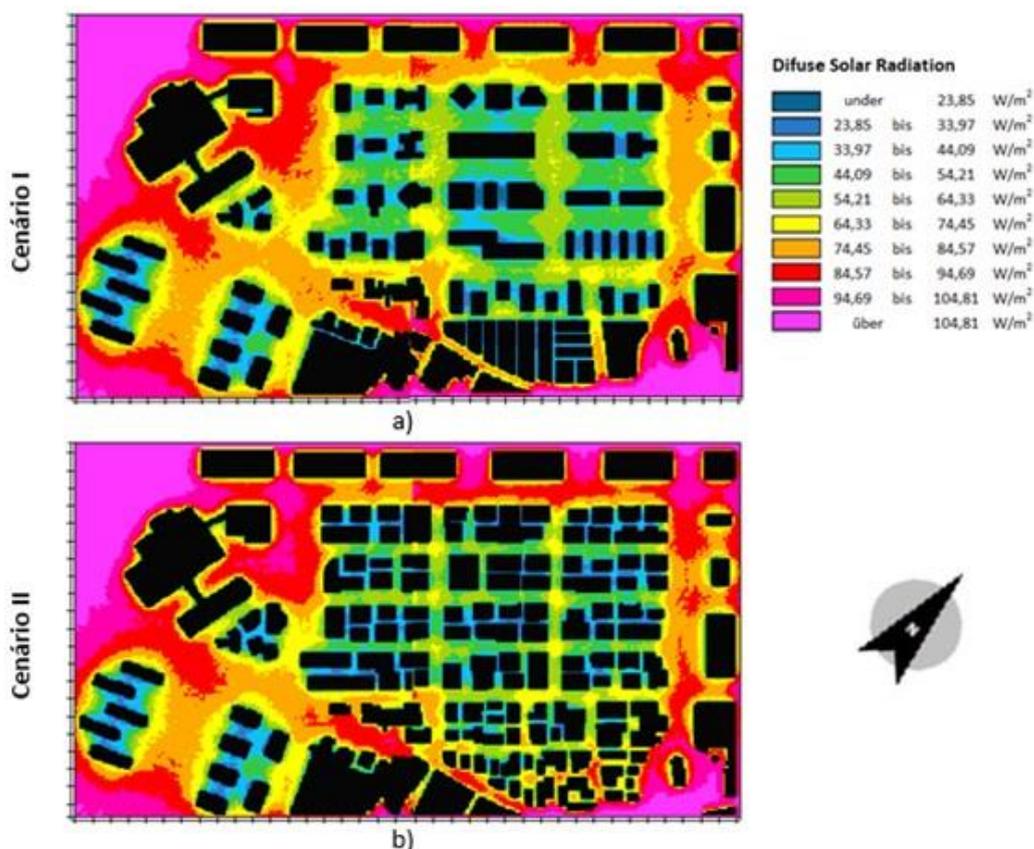
Figura 11: Fração recebida de DNI para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.



Fonte: Autoras 2018.

A incidência de radiação direta permanece entre 762,52 e 857 W/m² em todos os pontos (Figura 12), 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 12: Fração recebida de DIF para os dois cenários: a) Cenário I e b) Cenário II.



Fonte: Autoras 2018.

A partir das imagens da Figura 12 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).

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 13 mostra a interface do simulador utilizado.

Figura 13: interface do simulador de consumo do Grupo Light.



Fonte: Simulador Light, 2018

No simulador da Figura 13, 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.

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.

A Tabela 5 apresenta os equipamentos considerados neste levantamento de carga, discriminando a quantidade, a potência elétrica e o tempo de utilização.

Tabela 5: Descrição de equipamentos utilizados no levantamento de carga da residência.

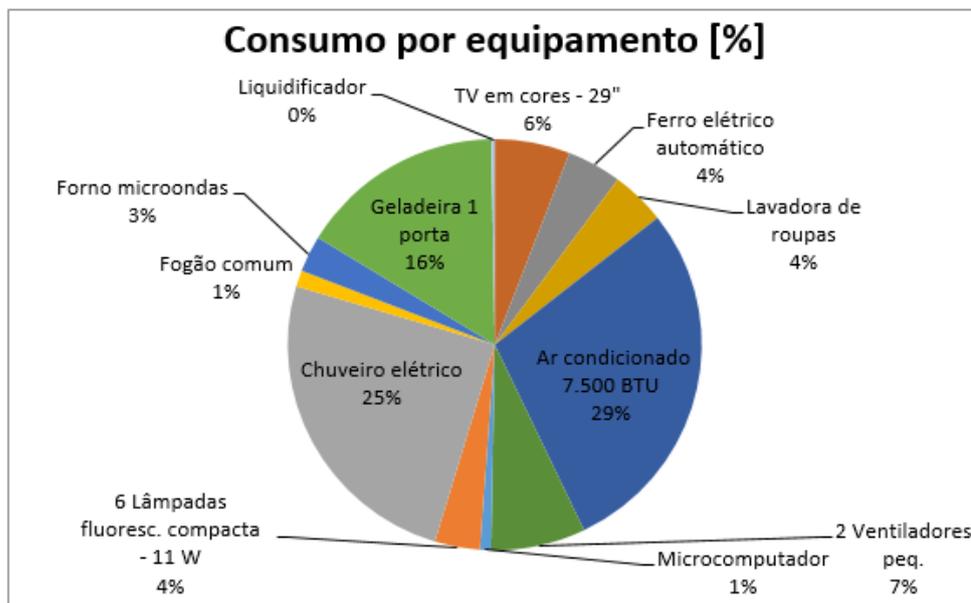
ENTRETENIMENTO						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo	Unid. Tempo	Dias no Mês	Total kWh
TV em cores - 29"	1	110	5	Horas	30	16.5
Subtotal: 17 kWh/mês						
LAVANDERIA/LIMPEZA						
Aparelho	Quant.	Potência (W)	Tempo	Unid. Tempo	Dias no Mês	Total kWh
Ferro elétrico automático	1	1000	1	Horas	12	12
Lavadora 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 kW
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 kW
Fogão comum	1	60	120	Min.	30	3.6
Forno micro-ondas	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	

Fonte: Simulador Light, 2018

Através da Tabela 5, 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 14 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 14: Consumo de energia por equipamento simulado para uma família média no Simulador de consumo Light.



Fonte: Simulador Light, 2018

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

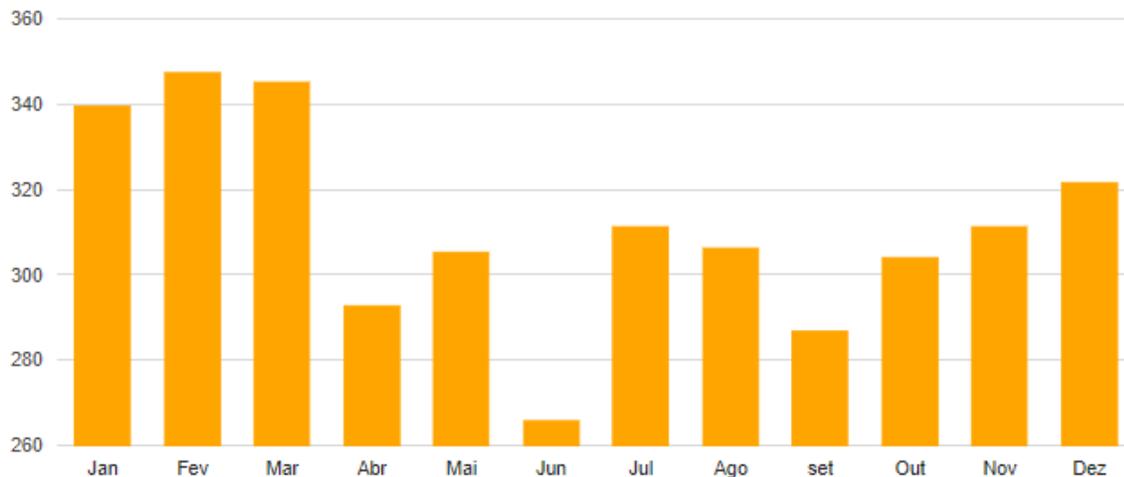
Marques (2018) cita que a população do Porto Maravilha equivale a 32 mil habitantes. Tomando como base o consumo do domicílio modelo, o bairro apresenta demanda energética equivalente a 2.248.000 kWh/mês, isto equivale a 8 mil residências.

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 15.

Figura 15: Geração de energia para uma residência do Porto Maravilha.

Produção Anual de energia: 3372 kWh/ano

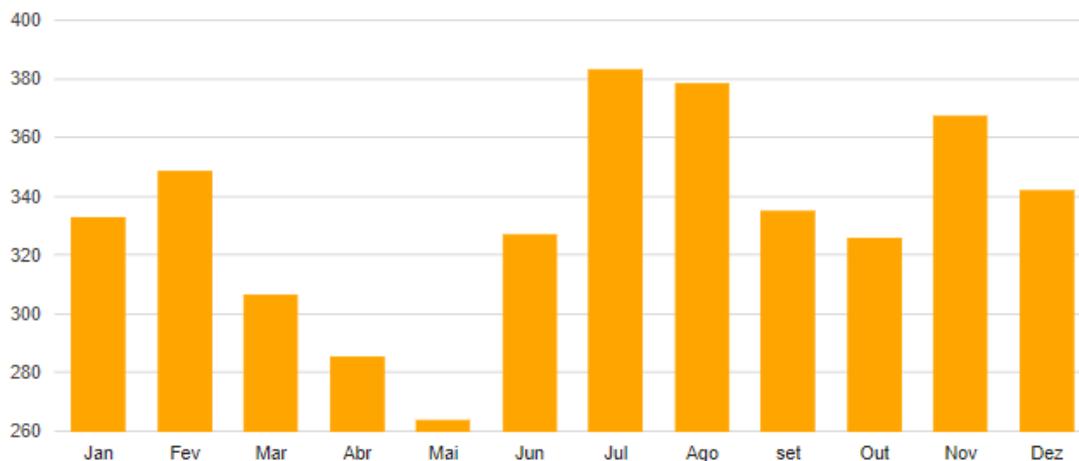


Fonte: Autoras.

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 16, 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.

Figura 16: Geração de energia para uma residência do Jardim Botânico.

Produção Anual de energia: 3372 kWh/ano



Fonte: Autoras.

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 coberturas, em ambos os cenários, é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Soma das áreas de cobertura.

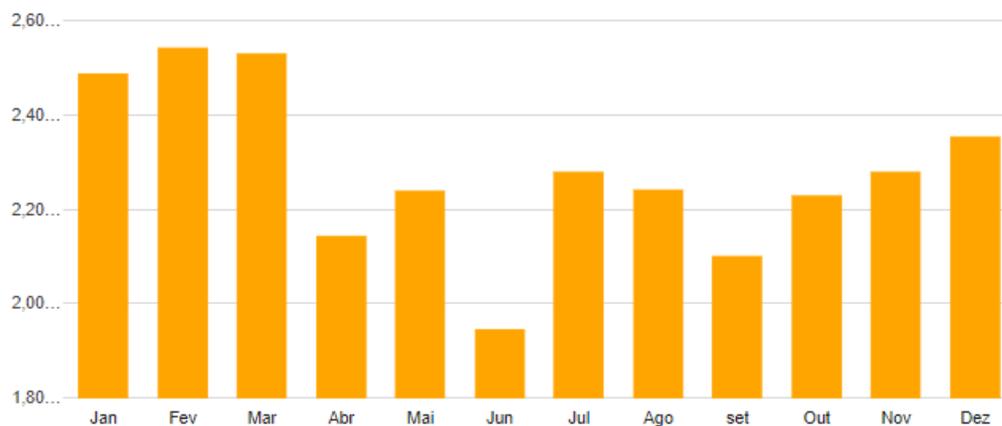
Item	Área total [m ²]
Cenário I	71.062,76
Cenário II	72.610,95

Fonte: Autoras.

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 17 traz o gráfico que evidencia a geração de energia ao longo do ano.

Figura 17: Excedente de geração de energia no Cenário II em relação ao Cenário I.

Produção Anual de energia: 27360000 kWp/ano



FONTE: Autoras.

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 7.

Tabela 7: Área utilizada para energia solar fotovoltaica.

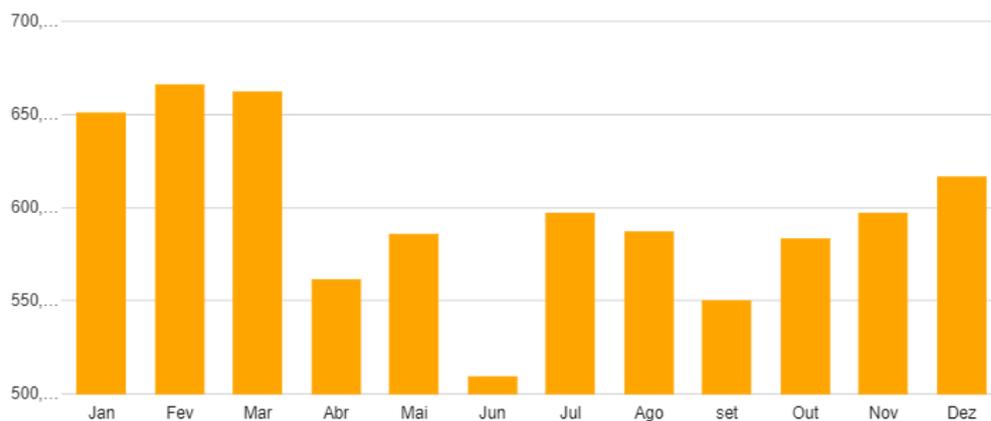
Item	Área total [m ²]	Área disponível [m ²]
Cenário I	71.062,76	63.956,484
Cenário II	72.610,95	65.349,855

Fonte: Autoras.

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 18, 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 18: Geração de energia solar no Bairro.

Produção Anual de energia: 26976000 kWh/ano



Fonte: Autoras.

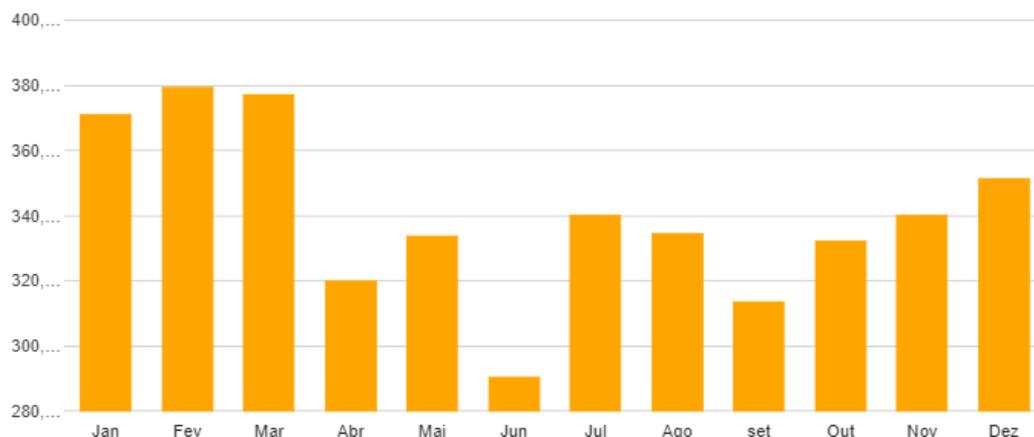
Observando a potência instalada (5.062,20 kWp) verifica-se que esta ultrapassa 5 MW. Ressalta-se que a simplificação de junção de superfícies foi realizada apenas com o intuito de trabalhar com única área na realização das simulações, verificando o potencial de geração desse espaço. Para a aplicação 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 19.

Figura 19: Geração de energia solar excedente no Bairro.

Produção Anual de energia: 4080000 kWh/ano



Fonte: Autoras.

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.

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.

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.

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.

Solar energy in the urban environment: analysis of different urban forms

ABSTRACT

The growing urbanization process can increase the risks intensification from climate change. It is important to associate environmental issues and urban environment actions, planning cities with clean energy. In order to study the application of photovoltaic solar energy in the urban environment, a comparative analysis of the power generation and consumption demand was developed for two configurations of urban morphology proposed by Marques (2018). Scenario I was planned according to Complementary Law, LC 101/2009 - Consortium Urban Operation of Porto Maravilha. Scenario II was developed based on LEED - Neighbourhood environmental certification, and allowed to greater concentration of buildings, thus, a greater available area (roofing) for energy generation. The results reinforce the need of evaluating in advance the densification processes, proposing urban configurations adapted to the needs of the place. The energy generation in urban environments also allows the insertion of projects with distributed generation, which presents advantages such as the reduction of energy losses in the transmission process.

KEYWORDS: Solar energy. Photovoltaic panel. Urban morphology. Environmental certifications.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem às Agências de fomento brasileiras: CAPES, CNPq e FAPERJ.

REFERÊNCIAS

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

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.

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

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.

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

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

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.

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.

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

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.

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.

Recebido: 10 mar. 2019.

Aprovado: 26 jun. 2019.

DOI: 10.3895/rts.v15n37.9800

Como citar: SILVA, C. F.; DRACH, P. R. C.; BARBOSA, G. S., Energia solar no meio urbano: análise para diferentes formar urbanas **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 15, n. 37, P. 546-575, jul./set. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9800>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Clerismar Fernandes da Silva

-

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

