

# **ANÁLISE DOS IMPACTOS VISUAIS E ARQUITETÔNICOS DAS USINAS FOTOVOLTAICAS NOS CENTROS URBANOS, BEM COMO, O COMPROMETIMENTO DA FAUNA E DA FLORA QUANDO INSTALADAS EM PROPRIEDADES RURAIS**

Laíne Cintra do Nascimento<sup>1</sup>  
Márcio José Dias<sup>2</sup>

## **Resumo**

Com o objetivo de discutir os possíveis impactos visuais e arquitetônicos nas cidades e ambientais nas áreas rurais, realizou-se uma revisão bibliográfica na base de dados Scopus, analisando as produções sobre estes temas entre os anos de 2001 a 2021.

## **Introdução**

A energia solar é reconhecida por suas vantagens econômicas e por ser uma fonte renovável, limpa e sustentável. Devido a isso, não existem muitos debates acerca de seus possíveis impactos paisagísticos e ambientais. Além disso, muitos estudos na área fotovoltaica, realizados por engenheiros eletricitas e de energia, contemplam muito mais seus aspectos técnicos do que seus impactos, sendo eles mais possíveis de serem estudados por pesquisadores das áreas das ciências sociais, ambientais e até mesmo da psicologia.

Por ser um tipo de energia que está em ascensão no mundo, sua presença nas cidades e no campo é pequena, de forma que ainda não desperta tanta atenção das pessoas sobre suas interferências na paisagem e na natureza.

De fato, o processo de geração de energia através das placas solares é sustentável para o meio ambiente e muita ênfase é dada a essa vantagem, mas é preciso dar atenção também à outros aspectos envolvidos no uso da energia fotovoltaica, desde os tipos de materiais usados nos módulos e à sua produção e aos efeitos visuais, arquitetônicos e ambientais que ele pode causar.

## **Metodologia**

No campo de busca da plataforma Scopus, foram digitadas diversas combinações utilizando as seguintes palavras-chave: 'visual', 'architectural', 'rural', 'fauna', 'flora', 'impact', 'photovoltaic', 'solar' e 'landscape'. Na opção 'Add range time', foi digitado o mesmo intervalo de tempo para todas as combinações, 2001 à 2021. O motivo da escolha deste intervalo foi buscar somente por trabalhos feitos a partir do século XXI, pois a partir deste período o uso da energia fotovoltaica teve um aumento mais expressivo. Para uma melhor filtragem, foram selecionadas algumas áreas de estudo e também selecionamos a opção 'Article', pois os artigos são trabalhos mais sucintos, que apresentam resultados e que possuem maior importância no meio científico. Após isso, os artigos foram pré-selecionados a partir da leitura de

<sup>1</sup> Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica. E-mail: laine.nton@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica. E-mail: marcio.dias@unievangolica.edu.br

seus títulos, sendo descartados aqueles que não possuíam como assunto nenhuma relação direta ou indireta com os temas principais. Dentre os que possuíam alguma relação com os temas, selecionamos todos aqueles que tinham pelo menos uma citação para cada combinação de palavras-chave, dois que não possuíam nenhuma citação. Alguns dos artigos escolhidos que não possuem nenhuma citação são bastante recentes e os demais, mesmo mais antigos, foram também escolhidos para que a revisão bibliográfica não ficasse repetitiva ao somente citar artigos já conhecidos.

### **Impactos visuais e arquitetônicos**

A dimensão dos impactos visuais é proporcional à extensão da instalação dos painéis, principalmente quando eles se encontram alocados no solo. Esses impactos permanecem durante todo o tempo de operação do sistema e é um dos problemas mais discutidos pela opinião pública. Para minimizá-los, é possível que os painéis sejam instalados nos telhados residenciais e comerciais, nas fachadas dos edifícios e na superfície de lagos e grandes reservatórios. Outra alternativa é montar o sistema em áreas desérticas e remotas com pouca circulação de pessoas.

Como os módulos fotovoltaicos possuem uma aparência que nos remete à modernidade e à tecnologia e que se contrapõe às paisagens naturais e à estética tradicional de edifícios históricos e culturais quando eles são instalados nesses locais, é necessário maior regulamentação e fiscalização das autoridades e maior participação do público no planejamento inicial da instalação para uma maior aceitação. Além disso, os sistemas fotovoltaicos ainda são pouco usados, por isso sua presença se manifesta mais e assim chama mais a atenção do público. Estudos e projetos que propõem novos designs para os módulos já estão sendo desenvolvidos e podem contribuir para diminuir a sua poluição visual.

### **Métodos de análise de impacto visual e arquitetônico**

Muitos estudos sobre impactos paisagísticos já existem na literatura, porém há poucos relacionados à estética dos sistemas fotovoltaicos. Apesar dos benefícios ambientais desses sistemas serem grandes motivadores para instalá-los, alguns consumidores podem não aceitar usá-los devido aos seus impactos visuais.

Para avaliar o impacto estético e visual de sistemas fotovoltaicos são considerados três aspectos: os fatores objetivos ou físicos, a percepção subjetiva e os métodos de relacionamento entre os dois aspectos anteriores. A seguir, serão descritos cada um deles.

Dentre os fatores objetivos mais considerados estão: cor, brilho, visibilidade e grau de integração.

### **Cor**

O contraste das cores presentes no ambiente e em seus componentes podem causar impactos visuais pois está relacionado aos seus graus de visibilidade ou percepção. A nossa percepção de cor de um determinado objeto é modificada de acordo com as cores dos elementos vizinhos a ele. Portanto, ao trazermos esse princípio para ambientes que possuem sistemas fotovoltaicos instalados, as cores dos telhados, das paredes ou da própria vegetação podem contrastar com as típicas cores escuras dos painéis e influenciar na harmonia visual.

### **Brilho**

O brilho é a luz refletida ou emitida por um objeto. Quanto maior for o brilho maior o desconforto visual e o ofuscamento. O ofuscamento consiste em uma degradação progressiva do desempenho visual e que leva ao cansaço prematuro dos olhos com o aparecimento subsequente de uma sensação de desconforto ou outros sintomas como dores de cabeça e uma resposta fotofóbica em um observador que reage apertando os olhos, piscando ou desviando o olhar. Uma discussão frequentemente levantada é com relação aos painéis instalados próximos às rodovias, cujo reflexo pode causar desconforto aos motoristas e interferir na segurança viária.

### **Visibilidade**

É um dos fatores mais utilizados e representa a porcentagem da área total da paisagem ocupada pela instalação fotovoltaica. Também considera que o impacto visual do sistema aumenta quando é mais visível por mais pessoas e a partir de diversos lugares. Porém, mesmo que seja visível por poucas pessoas, seu impacto será considerável de acordo com a quantidade de tempo em que o sistema pode ser observado.

### **Grau de integração**

Apesar de ser um fator muito utilizado nos estudos de impacto visual fotovoltaico, não existe um consenso que define de forma clara como medir esse fator. Alguns estudos classificam o sistema como não integrado, parcialmente ou semi-integrado e totalmente integrado para definir o quão perceptível e visível é a instalação.

### **Percepção subjetiva**

#### **Métodos de avaliação de impacto visual**

O módulo para software GIS r.wind.sun foi desenvolvido usando a linguagem de programação Python e é usado para avaliar quantitativamente os impactos visuais de instalações eólicas e solares com base no conceito de linha de visão humana e da distância entre o observador e o objeto. O impacto visual é quantificado pela proporção do campo de visão humano obstruído pela instalação.

O tamanho e a forma percebidos de um objeto diferem de suas dimensões reais dependendo da posição (distância e ângulo) entre o objeto e o observador. Assim, para a determinação do índice de impacto visual de painéis fotovoltaicos, a ferramenta calcula a área percebida para todas as células que se encontram dentro de um raio centrado em torno de toda a instalação e definido por parâmetros delimita de distância mínimo e máximo.

Esse cálculo é feito sequencialmente para cada painel e então é gerado um mapa individual. Os mapas de cada painel são então somados e no final do processamento é determinado um índice de impacto para toda a instalação. Como o modelo é baseado em raster, o tempo de processamento está fortemente ligado ao tamanho dos painéis e à distância máxima escolhida para avaliar o impacto visual(ou seja, o tamanho da região de estudo). Grandes valores de distância máxima e alta resolução espacial aumentam o tempo de processamento e que pode inviabilizar esse método de avaliação de impacto.

### **Método LESO QSV**

É um método que define níveis adequados de qualidade e coerência de integração arquitetônica do sistema fotovoltaico com os edifícios em que estão instalados. Esses níveis são variáveis e podem ser definidos pelos responsáveis pela instalação. Nesse método, três características principais são avaliadas segundo uma escala (totalmente coerente - cor verde, parcialmente coerente - cor amarela e não coerente - cor vermelha): a coerência da geometria do sistema (tamanho, forma e posição do campo), a materialidade do sistema (cores dos módulos, texturas e reflexividade) e o padrão modular (módulos fotovoltaicos mais sistema de montagem) com o projeto do edifício. Cada uma dessas características é representada por um arco de circunferência, que juntos, formam um círculo que é usado para apresentar a qualidade global do sistema.

Após a sua formação, esse círculo é inserido numa grade de nível de criticidade que compara os níveis de visibilidade e de sensibilidade ao contexto do edifício da instalação. Cada um desses níveis é avaliado em baixo, médio e alto e sua junção define o nível de criticidade do sistema também em baixo, médio e alto. Porém, o nível de criticidade pode variar de acordo com o ponto de vista que é tomado para realizar essa avaliação. Por exemplo, um sistema instalado em um telhado totalmente horizontal pode ter seu nível de criticidade considerado baixo se sua avaliação for feita ao nível do solo. Porém, se a avaliação for realizada a partir do ponto de vista de uma janela de um cômodo ou da sacada de um edifício localizado ao lado do estabelecimento que contém a instalação, esse nível de criticidade pode ser considerado alto.

### **Método OASPP**

A análise da qualidade visual dos sistemas FV também pode ser realizada através de fotografias aéreas e ao nível do solo, aplicando-se o parâmetro contínuo OASPP.

Esse parâmetro varia de 0 a 1 e é a soma ponderada de quatro subparâmetros relacionados aos seguintes aspectos: visibilidade da planta ( $V_p$ ), a cor da planta em comparação com a cor da região ao seu redor ( $C_p$ ), formato da planta ( $F_p$ ) e concorrência de formatos e cores diferentes na mesma planta ( $C_{fc}$ ). É importante salientar que o nível do impacto visual pode ser influenciado pelas condições ambientais em que as fotografias são tiradas, como neblina, fumaça, poeira e precipitações.

### **Formas de determinação dos subparâmetros**

#### **Visibilidade da planta ( $V_p$ )**

É determinada através de uma função que relaciona a razão entre a área total ocupada pelos painéis e a área do fundo da paisagem  $A_t/A_f$  (representada na função por  $x$  e expressa em porcentagem).

$$V_p = -0,004x^2 + 0,128x \text{ para } x < 13,5$$

$$1 \text{ para } x > 13,5$$

Cor da planta ( $C_p$ )

Impactos ambientais (rurais, na fauna e na flora)

### **Perda de produção agrícola**

As instalações fotovoltaicas podem ocupar grandes extensões de terras rurais e a fabricação dos painéis pode usar produtos perigosos. Portanto, é a tecnologia de produção de energia renovável que mais faz uso do solo. Quando os painéis são instalados sobre uma área cultivável, há uma perda de produção agrícola, que, em larga escala, pode resultar em uma maior importação de alimentos. Se ocorrer atrasos nessa importação pode resultar em escassez de alimentos e aumento de preços.

Para isso, é proposto um sistema de colheita solar de ângulo duplo (duas inclinações do painel solar). Ao aumentar a capacidade fotovoltaica também é possível reduzir a quantidade de painéis utilizados. Por exemplo, uma potência de 10 MW que normalmente exigiria instalações de 1154 painéis fotovoltaicos pode ser reduzida para 104 com potência de 30 MW. Também é possível instalar o sistema em áreas degradadas (não cultiváveis).

### **Mudanças na paisagem típica rural**

A ocupação do solo em um espaço rural pelos painéis, resulta numa mudança de paisagem pela degradação e não crescimento de plantas naquele local (apenas gramíneas) e interfere na dinâmica dos animais que deixam de se movimentar nesse espaço, descaracterizando uma típica paisagem rural. A aparência dos painéis traz

um ar de modernidade e tecnologia que se opõe à sensação comum que temos ao olharmos uma paisagem rural.

### **Aquecimento do microclima rural**

O aumento da temperatura dos módulos durante seu funcionamento pode afetar o microclima, ocorrendo um aquecimento ao redor do sistema podendo causar desconforto na região ao redor.

### **Impactos de outros materiais e equipamentos usados na instalação**

O impacto ambiental no terreno é gerado pelo uso de concreto e maquinário pesado, instalação das estruturas e montagem das valas para os cabos e conexão das estruturas. O uso de telhados, estacionamentos, aterros sanitários e terras perturbadas diminuiria o uso de terras 'boas' usadas para a instalação.

### **Ofuscamento ocular para motoristas**

O ofuscamento ocular causado pelo reflexo da luz solar nos módulos pode trazer prejuízos quando eles são instalados próximo à estradas (segurança no trânsito).

### **Emissão de carbono e gases de efeito estufa**

Os sistemas fotovoltaicos têm zero emissões de dióxido de carbono, metano, óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SOX, NOX, respectivamente) durante a sua operação, com efeitos insignificantes na poluição do ar e no aquecimento. No entanto, essa é apenas uma das etapas e não inclui todas as fases do ciclo de vida do sistema. Assim, e para uma avaliação mais completa, as emissões durante todas as fases do ciclo de vida dos sistemas fotovoltaicos, desde a fabricação até o transporte, a instalação, a operação e terminando com o descarte/desativação devem



ser consideradas. É evidente que a fabricação (manufatura) é responsável pela maior parte das emissões, seguido pela construção e operação.

Sua emissão de carbono e gases de efeito estufa varia de 10 a 53 vezes menos que os emitidos pelos combustíveis fósseis e esses valores podem diminuir ainda mais ao serem adotados novos processos de fabricação, assim como a reciclagem dos materiais usados nos painéis.

Os sistemas fotovoltaicos emitem menos gases de efeito estufa (13 - 18 vezes) e ocupam menos terras (5 - 13 vezes) para uma mesma capacidade energética que as usinas térmicas a carvão. E para uma mesma quantidade de produção de energia, eles requisitam menos terras que um sistema eólico. Por exemplo, uma instalação fotovoltaica de 10 kW requer cerca de 3,2 acres/MW enquanto que um sistema eólico com essa mesma potência requer 30 acres/MW.

Segundo estudos, é estimado que pode haver uma redução de 6,5% a 18,8% nas emissões de CO<sub>2</sub> somente nos Estados Unidos se 10% da eletricidade da rede for gerada através de sistemas fotovoltaicos. Além disso, Hosenuzzaman et al. (2015) também preveem que o uso de sistemas fotovoltaicos pode levar, até o ano de 2030, a uma redução das emissões de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> em cerca de 69 -100, 126.000 -184.000 e 68.000 - 99.000 milhões de toneladas, respectivamente. Prevê-se também que essas reduções de emissões levem a uma queda significativa de várias doenças perigosas, como ataques cardíacos e asma, que poderão diminuir entre 490 -720 e 320 - 470 de casos anualmente, respectivamente.

Apesar dessas vantagens, uma atenção especial deve ser dada quando da instalação de usinas de energia solar em florestas. Nessas regiões, as plantas devem ser cortadas a menos de um metro de altura ou completamente removidos durante a instalação para evitar efeitos de sombreamento nos painéis solares. Isso normalmente leva a uma menor taxa de sequestro de CO<sub>2</sub> pela vegetação, além do fato de que cerca de 50% a 75% da vegetação cortada é convertida em lenha e conseqüentemente aumenta as emissões de CO<sub>2</sub>. Assim, a redução global real das emissões de CO<sub>2</sub> é significativamente diminuída.

### **Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes**

São estruturas que flutuam em um corpo d'água e que sustentam os painéis e são interessantes para um menor uso das terras agrícolas úteis. Outras vantagens são o resfriamento contínuo da parte traseira dos painéis pela evaporação da água, aumentando sua eficiência energética e conseqüentemente sua geração de energia. Os painéis também contribuem para uma menor evaporação e perdas de água em lagos de água doce, usada para consumo.

### **Impactos durante a fabricação dos painéis**

Nesse processo, podem ser produzidos contaminantes perigosos e haver a poluição de recursos hídricos e a emissão de poluentes atmosféricos que são gerados principalmente durante a fabricação de aço e alumínio para construir suportes e armações, a produção de vidro e a redução de sílica em silício para células solares de silício. Além disso, o tipo e a magnitude das emissões estão intimamente ligados à natureza do combustível ou à mistura de combustíveis usada para alimentar a produção de módulos fotovoltaico