
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – ANÁLISE DE SISTEMA AMBIENTAL

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY - ENVIRONMENTAL SYSTEM ANALYSIS

Ariane Martins Caponi Lima³

Professor(a) do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG. Email: arianecaponilima@gmail.com

Resumo: O desenvolvimento de uma sociedade é ligado com a capacidade de aproveitar energia. A busca frenética por novas tecnologias de energia elétrica prevê com um objetivo de abastecer as demandas exigidas pela sociedade. A energia solar fotovoltaica é um sistema de captação de energia elétrica que é caracterizado em um meio sustentável. Porém a cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica, para o silício agregam inúmeros impactos ambientais, principalmente a saúde dos trabalhadores, que se originam desde a mineração até o produto final. Com o avanço da tecnologia, deve realizar-se uma análise dos impactos ambientais e socioeconômicos dos trabalhadores e comunidades locais. Sendo concretizado em um diagnóstico ambiental por meio de fatores ambientais físico, biótico e socioeconômico. Mas o gás carbônico emitido nesses processos é insignificante com a quantidade de carbono atmosférico, em comparação com a gerada pela combustão de combustíveis fósseis.

Palavras-chaves: Energia Solar. Meio Ambiente. Silício.

Abstract: The development of a society is linked with the ability to harness energy. The frantic search for new technologies of electric energy foresees with an objective to supply the demands demanded by the society. Photovoltaic solar energy is an electrical energy capture system that is characterized in a sustainable environment. However, the production chain of photovoltaic solar energy for silicon adds numerous environmental impacts, especially the health of workers, which originate from mining to the final product. As technology advances, an analysis of the environmental and socio-economic impacts of workers and local communities must be carried out. Being concretized in an environmental diagnosis through physical, biotic and socioeconomic environmental factors. But the carbon dioxide emitted in these processes is negligible with the amount of atmospheric carbon, compared to that generated by the combustion of fossil fuels.

INTRODUÇÃO

A perspectiva do crescimento populacional mundial tem como consequência o aumento da demanda energética. Sob esse panorama, a produção de energia através do uso de fontes não renováveis torna-se inviável, pois elas são responsáveis, em grande parte, dos danos diretos ao meio ambiente e para a sociedade, em si.

A energia solar é uma fonte natural e renovável, vinda diretamente do sol e a grande maioria das fontes de energia é proveniente indiretamente do sol. A energia solar fotovoltaica está atualmente difundida no mundo e é considerada uma energia limpa, porém se analisar os processos desde a aquisição da matéria-prima a fabricação, observa-se uma grande quantidade de impactos ambientais. Principalmente para os trabalhadores.

O objetivo deste estudo é realizar uma análise ambiental e socioeconômica da produção de uma célula solar de silício, que é um componente de um painel fotovoltaico.

SISTEMA ENERGÉTICO E SUSTENTABILIDADE

De acordo com a *InterAcademy Council* (2010), o desenvolvimento de uma sociedade é intrinsecamente ligado com a capacidade de aproveitar energia. Desde a descoberta do fogo, o plantio e domesticação de animais

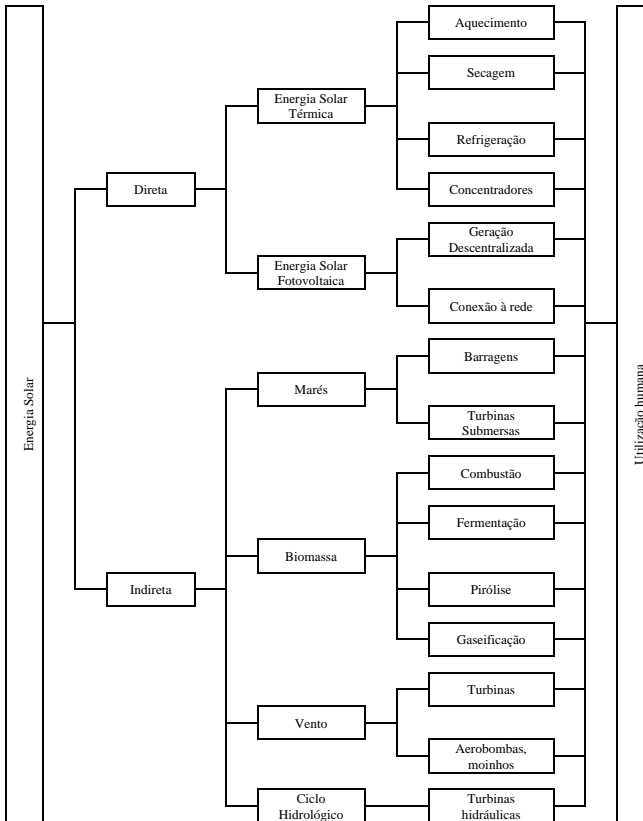
formam fatores que caracterizam uma transição nômade para sedentária. Tais aspectos possibilitou o desenvolvimento de inúmeras tecnologias que proporcionou uma sociedade estável.

A principal energia na Terra é a solar, que vem diretamente do sol. Deste se origina outras fontes de energia, possibilitando uma maior diversidade na matriz energética até a utilização humana, como exemplificado na figura 1.

A energia sempre foi um dos pilares para o desenvolvimento de uma sociedade. Nos séculos decorridos desde então, sua busca pelo bem-estar material tem sido em grande parte ligada ao aproveitamento das várias formas de energia – no carvão, no petróleo, na eletricidade. Atualmente, o homem desenvolve meios cada vez mais complexos e eficientes para controlar a energia (SEABORG, 1969).

Se o domínio da energia proporciona avanço de civilização, também pode levar a extinção da humanidade, ou seja, com o aumento do consumo do combustível para energia, o homem está forçando em excesso as fontes de combustível das quais tanto depende atualmente – carvão, petróleo, madeira. A busca frenética por novas tecnologias de energia elétrica prevê com um objetivo de abastecer as demandas exigidas pela sociedade.

Figura 1: Esquema da utilização da Energia Solar.



Fonte: PRÓPRIO, 2017.

A energia solar é uma fonte natural e renovável, vinda diretamente do sol e a grande maioria das fontes de energia é proveniente indiretamente do sol. Destaca se como vantagens:

- Uma fonte imensa e inesgotável de energia;
- Energia limpa, pois gera pouco impacto ambiental;
- Fácil uso em locais de difícil acesso.

A energia solar fotovoltaica é um sistema de captação de energia elétrica que é caracterizado em um meio sustentável, pois não gera emissões durante seu funcionamento. Porém é importante salientar os efeitos na sua fabricação que impactam no meio ambiente.

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

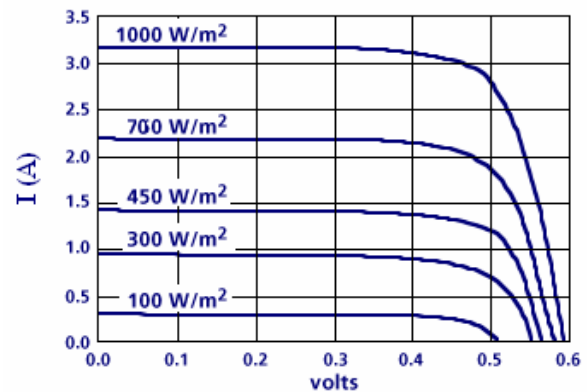
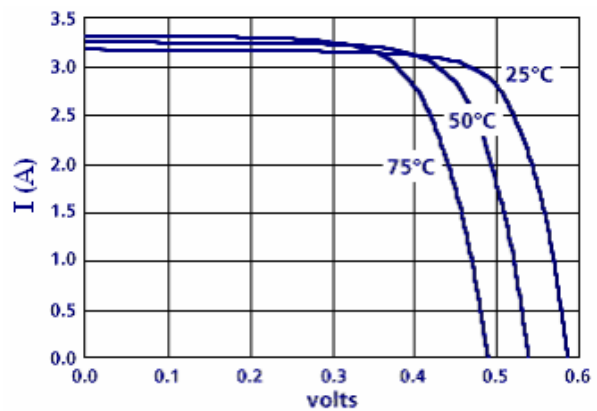
A energia solar é captada e convertida para energia elétrica pelas células fotovoltaicas. As células fotovoltaicas são compostas por materiais semicondutores modificados que criam um campo elétrico. A potência

gerada por um painel fotovoltaico está relacionada com a quantidade de radiação incidente e a temperatura:

- A potência de saída decresce com o aumento da temperatura.
- A potência de saída aumenta com o aumento da radiação incidente.

É representado na figura 2 a Influência da temperatura e da radiação incidente em relação da corrente e voltagem.

Figura 1: Influência da temperatura e da radiação incidente



Fonte: CASTRO, 2002.

A eficiência de cada célula fotovoltaica depende do tipo de tecnologia utilizada. As tecnologias empregadas são: Silício monocristalino, Silício policristalino, Silício amorfo, Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS), Telureto de Cádmio (CdTe) e Semicondutores Orgânicos (ASSUNÇÃO, 2010), observa se na figura 3 as eficiências típicas dos módulos fotovoltaicos comerciais.

Figura 2: - Eficiência típica dos módulos fotovoltaicos comerciais

Tecnologia	Eficiência	Área/kW _p
Silício Cristalino		
Monocristalino	13 a 19%	~7m ²
Policristalino	11 a 15%	~8m ²
Filmes Finos		
Silício amorfo (a-Si)	4 a 8%	~15m ²
Telureto de Cádmio (Cd-Te)	10 a 11%	~10m ²
Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio (CIGS)	7 a 12%	~10m ²
Concentrador Fotovoltaico	~25%	

Fonte: EPIA, 2011 apud REIS, 2015.

Dentre as diversas tecnologias, os módulos de silício são os mais utilizados no mundo. A figura 4 está caracterizado a cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica, para o silício.

Figura 3: Cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica.



Fonte: ASSUNÇÃO, 2010.

O minério extraído são jazidas de quartzo que é transformado em silício grau metalúrgico, o grau de pureza desse material deve ser elevado. Esse processo de purificação transforma-o em silício grau solar, utilizado como matéria prima para a indústria fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica pode ser considerada uma fonte limpa, porém esses processos da mineração até o produto final agregam inúmeros impactos ambientais e a saúde dos trabalhadores.

ANÁLISE AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE UMA CÉLULA SOLAR

Com o avanço da tecnologia, deve se analisar os impactos ambientais e socioeconômicos dos trabalhadores e comunidades locais, principalmente em indústrias que utilizam como matéria-prima o silício.

A produção do silício começa com a extração de sílica (SiO₂), encontrada no ambiente como areia ou quartzo em areia de poços, praias, dunas, fundo dos

oceanos e rios. É responsável pela erosão do solo; a duna removida deixa o solo vulneral a inundações; a poluição da água e assoreamentos nos rios é ocasionada principalmente por lama e produtos químicos; o tráfico de veículos, explosões das rochas e máquinas/equipamentos origina as emissões de gases, poeiras, vibrações e ruídos. Além de ser uma das responsáveis pela degradação da fauna, flora e o perfil do relevo.

A sílica é refinada a altas temperaturas para remover o O₂ e produzir silício grau metalúrgico, que é aproximadamente 99,6 por cento puro. A principal emissão é o pó de sílica e também no processo de refinação são liberados gases tóxicos (SiO, NO_x, SO_x e CO₂) e geradores de efeito estufa (REIS, 2015).

O pó de sílica é responsável por desenvolver doenças crônicas e pode ocasionar até câncer, segundo Ministério da Saúde em 2007, estima-se que mais de três milhões de trabalhadores estejam expostos a sílica no Brasil.

Para a fabricação de uma célula fotovoltaica o Silício deve ser mais puro (de 99.99999 a 99.9999999 por cento). É obtido através de processos químicos ao ácido clorídrico e ao cobre para produzir o gás triclorosilano (HSiCl₃). Depois é destilado e aquecido para produzir o gás silano (SiH₄). O gás de silano é extremamente explosivo apresentando um perigo para os trabalhadores. A produção de silano e triclorosilano resulta em tetracloreto de silício (SiCl₄), uma substância tóxica, que reage com a água, causa queimaduras na pele, prejudica o sistema respiratório e causa irritação dos olhos (MULVANEY, 2009).

O gás de silano é aquecido para fazer silício fundido, usado para crescer cristais de silício monocristalino em um reator a alta temperatura e alta pressão, para produzir silício policristalino é arrefecido em lingotes, ou usado como entrada para silício amorfo

Outro impacto ambiental é o gás de hexafluoreto de enxofre (SF₆), responsável pelo efeito estufa, além de provocar emissões de dióxido de enxofre (SO₂), que ocasiona a chuva ácida. O gás é usado para limpar os reatores utilizados na produção de silício (REIS, 2015).

Existe também os impactos na poluição de água, que se origina pelo uso do resfriamento de gases e do material, além da manipulação e limpeza no processo e serviços complementares.

Na montagem dos módulos e painéis tem se um grande acúmulo de resíduos de pó de silício. Além do consumo de água para a lavagem e retirada do pó. A etapa de lavagem química libera grandes quantidades de hidróxido de sódio, que são perigosos para os olhos, pulmões e pele. Na interligação dos circuitos eletrônicos e da fiação é frequentemente utilizado o chumbo (REIS, 2015).

Os impactos de instalação e operação são mínimos, para o uso em plantas fotovoltaicas há a terraplanagem, retirada da cobertura vegetal e o consumo de água para limpeza dos painéis, além de prejudicar a fauna no local.

Quadro 1: Diagnóstico ambiental para o silício

	Físico	Biótico	Socioeconômico
Extração do silício	Poluição da água, erosão do solo, solo vulnerável a inundação, emissões de gases e poeiras.	Degradação da fauna, flora e o perfil do relevo.	Mão-de-obra qualificada, influencia no custo de vida, deslocamento populacional, aumento do comércio local, ruídos e vibrações (através de ferramentas e equipamentos), gás de silano (extremamente explosivo para os trabalhadores), produtos químicos corrosivos que afetam a saúde.
Metalurgia do silício	Pó de sílica e liberação de gases tóxicos.	-	
Purificação do silício	Resíduos de tetracloreto de silício, emissão de hexafluoreto de enxofre, dióxido de enxofre e poluição de água.	-	
Montagem dos módulos e painéis	Resíduos de pó de silício e chumbo nas fiações.	-	
Instalação e operação	Em plantas fotovoltaicas: terraplanagem, retirada da cobertura vegetal e consumo de água.	Em plantas fotovoltaicas: fauna e flora	

Fonte: PRÓPRIO, 2017.

Os planos de recuperação e reciclagem de materiais no final da vida do produto devem ser uma

prática padrão para qualquer produto identificado como fonte de energia "renovável", sendo responsável seus fabricantes.

No quadro 1 é apresentado um diagnóstico ambiental visando uma análise de fatores que englobam os impactos ambientais ocasionados pelo ciclo de vida dos materiais de sua fabricação, da instalação e da operação de um sistema fotovoltaico por meio de fatores ambientais, físico, biótico e socioeconômico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A energia solar fotovoltaica é uma opção de fonte renovável de energia. Ela é oriunda diretamente do sol e possui uma irradiação solar total de 1373W/m². Sendo considerada uma energia limpa e renovável. A placa solar fotovoltaica é responsável pela captação da irradiação e conversão em energia elétrica.

Assim, os principais impactos ambientais associados a uma placa solar fotovoltaica advêm das etapas de extração do quartzo ou areia, a metalurgia e a purificação do silício, a montagem dos módulos e painéis, a instalação/operação e a reciclagem do produto final.

Conduto, o gás carbônico que é o principal causador do efeito estufa e advêm principalmente através dos processos de mineração e produção do silício na indústria, é uma fonte insignificante de carbono atmosférico, em comparação com a quantidade gerada pela combustão de combustíveis fósseis. Aqueles que trabalham na mineração e na indústria metalúrgica corre o risco de silicose, uma doença pulmonar causada pela inalação prolongada de sílica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. INTERACADEMY COUNCIL. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho** / Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo; tradução, Maria Cristina Vidal Borba, Neide Ferreira Gaspar. – [São Paulo]: FAPESP; [Amsterdam]: InterAcademy Council; [Rio de

- Janeiro]: Academia Brasileira de Ciências. 300 p.: il; 24 cm. 2010.
2. SEABORG, Glen T. **A energia**. In: Coleção Life. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1969. 200 p.
 3. REIS, Dartisson de Castro. **Análise crítica do processo de licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas**. 1015. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – Minas Gerais. 2015. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1138M.PDF>>. Acesso em: 10 junho 2017.
 4. Castro R. M. G., 2002. **Introdução a Energia Fotovoltaica**. Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico.
 5. ASSUNÇÃO, Fernando Cosme Rizzo. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). 2010. Disponível em: <[http://www.redemulhersustentabilidade.org.br/Acervo/2_2010_energia_fotovoltaica_2%20\(1\).pdf](http://www.redemulhersustentabilidade.org.br/Acervo/2_2010_energia_fotovoltaica_2%20(1).pdf)>. Acesso em: 01 junho 2017.
 6. BAHARWANI, Vishakha, et al. **Life Cycle Analysis of Solar PV System: A Review**. International Journal of Environmental Research and Development. Volume 4, Number 2 (2014), pp. 183-190.
 7. FUKUROZAKI, S. H.; et al. **Energy Payback Time and CO₂ Emissions of 1.2 kWp Photovoltaic Roof-Top System in Brazil**. International Journal of Smart Grid and Clean Energy. 2012.
 8. MINISTERIO DA SAUDE. **O Mapa da Exposição à Sílica no Brasil**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/mapa_exposicao_silica_brasil.pdf>. Acesso em 15 junho 2017.
 9. MULVANEY, D., et al. **Toward a Just and Sustainable Solar Energy Industry**. United States: Silicon Valley Toxics Coalition. 2009. 45 p