

# PRODUÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS, RESÍDUOS GERADOS E A IMPORTÂNCIA DO DESCARTE CORRETO

Gabriel de Souza Silva<sup>1</sup>

Leandro Santana da Penha<sup>2</sup>

Wemerson Carvalho dos Santos<sup>3</sup>

## RESUMO

O estudo dos impactos ambientais na produção, na utilização e no pós-consumo das placas fotovoltaicas, assim como a preocupação com o aumento da demanda energética e, conseqüentemente, o crescimento do lixo descartado, além de todo o processo químico na elaboração dos painéis fotovoltaicos são os cerne que estimularam a elaboração deste trabalho. Para isso, o artigo foca basicamente em quatro pontos. Inicialmente, é feita uma análise da extração do quartzo e seus danos ambientais inerentes ao processo de mineração. Logo após, são apresentados um dos métodos de purificação do Silício de Grau Metalúrgico, SiGM, o processo Siemens e a produção dos elementos tóxicos. Em seguida, é abordada a utilização dos painéis fotovoltaicos, explicitando de forma breve as características dos sistemas FV isolados, híbridos e conectados à rede, dando ênfase à problemática da utilização das baterias de chumbo-ácido no armazenamento de energia. Então, considerando o avanço na utilização da energia solar, destaca-se o elevado quantitativo de material descartado pós-uso e a necessidade da preocupação no descarte correto, por se tratar de resíduos de elétrica e eletrônica, ou seja, possuírem na composição elementos químicos pesados, como o alumínio. Ademais, após os tópicos abordando tais problemáticas, são feitas sugestões de soluções, como a necessidade de regulamentação do descarte dos principais elementos utilizados em toda rota de utilização dos painéis, bem como seus componentes agregados, e a preferência por projetos de energia solar conectados à rede. Outrossim, embora se encontrem em forma experimental e com baixo valor comercial, sugere-se, ainda, a substituição das placas fotovoltaicas a base de silício para aquelas orgânicas e menos prejudiciais, ou, caso tal caminho não seja possível, preconiza-se o início da extração do silício das cascas de arroz, como meio alternativo. Deste trabalho, entende-se que, apesar da energia solar ser considerada uma energia verde e de baixo impacto ambiental, fazem-se necessários estudos em cima do efeito que a alta demanda por esse produto ocasiona, além de ressaltar a necessidade de pesquisas constantes no aprimoramento das tecnologias atuais.

**Palavras-chave:** *Fotovoltaico. Silício. Mineração. SiGM.*

<sup>1</sup> Rede de Ensino Doctum – Unidade Serra/ES – E-mail: gabrielsouzaa@hotmail.com - Graduando em Engenharia de Produção

<sup>2</sup> Rede de Ensino Doctum – Unidade Serra/ES – E-mail: leandrosantana.penha@gmail.com - Graduando em Engenharia de Produção

<sup>3</sup> Rede de Ensino Doctum – Unidade Serra/ES – E-mail: prof.wemerson@doctum.edu.br - Especialista

## ABSTRACT

The study of environmental impacts in the production, use and post-consumption of photovoltaic panels, as well as the concern with the increase in energy demand and, consequently, the growth of discarded waste, in addition to the entire chemical process in the preparation of voltage panels, are the stimulating core of this work's elaboration. Therefore, the article focuses on four basic points. First, an analysis is carried out on the quartz extraction and the environmental damage inherent to its mining process. After that, one of the methods of purification of Metallurgical Grade Silicon (SiGM), the Siemens process and the production of toxic elements are presented. Then, the photovoltaic panels usage is discussed, briefly explaining the characteristics of isolated, hybrid and grid-connected PV systems, emphasizing the problem of using lead-acid batteries in energy storage. So, considering the advance in the use of solar energy, the great amount of waste and the need for concern about correct disposal are highlighted, as they are electrical and electronic waste, meaning they are composed by heavy chemical elements in their composition, like aluminum. Furthermore, after the topics addressing such issues, suggested solutions are proposed, such as the need to regulate the disposal of the main elements used throughout the use of the panels, as well as their aggregated components, and the preference for solar energy projects connected to the power grid. Furthermore, although they are in experimental form and have low commercial value, it is also suggested to replace silicon-based photovoltaic panels for organic and less harmful ones, or, if such a path is not possible, it is recommended to start the extraction of silicon from rice husks, as an alternative means. From this work, it is understood that, despite solar energy being considered a green energy with low environmental impact, studies are needed on the effect that the high demand for this product causes, in addition to highlighting the need for constant research in the improvement of current technologies.

Keywords: Photovoltaic. Silicon. Mining. SiGM.

## 1 - Introdução

A demanda pelo aumento de produção energética é um fator mundial, seja pelo crescimento da população ou pela tentativa ininterrupta de um desenvolvimento socioeconômico. Em países mais desenvolvidos, há um imenso apelo a fim de mitigar os impactos obtidos a partir da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que surge da queima de combustíveis fósseis. Dito isso, o surgimento de novas tecnologias voltadas à produção de energia limpa e, sobretudo, renováveis, são uma necessidade urgente. Dentre as fontes de energia limpa, destacam-se a eólica, a de biomassa e a fotovoltaica.

Há, num panorama global, diversas fontes de energia, onde cada uma se adequa conforme as condições climáticas, geográficas e socioeconômicas de um país. O Brasil, por exemplo, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), apresenta uma grande vantagem na produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis. De acordo com a empresa, que hoje é considerada a maior pesquisadora de estudos energéticos do país, o Brasil produziu, em 2018, 83% de todo o seu consumo de energia elétrica a partir dessas fontes, contra 25% do panorama mundial. Entretanto, grande parte dessa energia vem das hidrelétricas, que, por mais que sejam consideradas fontes de energias renováveis, podem gerar significativos prejuízos em seu entorno, uma vez que necessita de uma grande área para instalação de suas usinas, causando, assim, problemas ambientais com a devastação da flora, e sociais, como acontece quando uma população é realocada para tal instalação.

Como forma de diminuir tais problemas, surgem, a todo instante, tentativas de substituir essa matriz elétrica por alguma em que os impactos sejam menores. Com isso, a energia fotovoltaica, que ainda apresenta uma tímida quantidade de geração de energia elétrica no território brasileiro, vem sendo vista como uma das promessas para tal substituição.

Há, no Brasil, uma grande vantagem com relação à implementação dessa fonte, onde a irradiação diária está entre 4,8 e 6,0 kWh/m<sup>2</sup>. Até 2016, entretanto, o país que mais utilizava a energia fotovoltaica, a Alemanha, não ultrapassa de 3,2 kWh/m<sup>2</sup> de irradiação diária, o que prova que o Brasil está muito aquém da sua real capacidade de produção (COMERC, 2016).

Dentre as várias vantagens que existem no processo de geração de energia fotovoltaica, destaca-se, com muita frequência, a informação de que é uma energia que ao longo de alguns anos torna-se menos custosa ao consumidor final, mesmo

quando instalado em residências. Além disso, destaca-se também o benefício quanto à proveniência dessa energia, pois entende-se que o seu processo de produção a torna uma energia limpa e renovável. Pelo fato de questões ambientais terem entrado como pauta em todo o mundo nos últimos anos, analisar o processo de produção torna-se necessário e é o cerne deste estudo, uma vez que o grave processo de degradação do planeta se encontra num patamar praticamente irreversível.

Dito isso, este trabalho tem enfoque no processo de produção das placas e painéis fotovoltaicos por meio de uma análise acerca dos danos causados por esse processo, desde sua produção até o descarte dos materiais utilizados em sua confecção e instalação. Tal estudo se justifica por conta das muitas publicações sobre as vantagens dessa matriz elétrica em oposição aos ínfimos estudos que permeiam suas desvantagens, que mesmo sendo menores se comparadas a outras matrizes, não deixam de ser significativas devido à extensão territorial do Brasil. Soma-se a essa justificativa as previsões otimistas que consideram a energia solar como a principal fonte de energia do mundo em até 2035 (FONTES, 2019).

Para isso, a pesquisa aborda a extração do quartzo, os métodos de purificação do Silício de Grau Metalúrgico, a utilização das baterias de chumbo-ácido e o quantitativo de materiais descartados. Após o entendimento desses dados e processos, traça-se propostas de intervenção relacionadas ao descarte e possíveis regulamentações necessárias para mitigação de danos. Embora seja possível estender o estudo para as outras fontes de geração, este trabalho propõe-se apenas no caminho dos danos ambientais causados pela produção, uso e descarte das placas solares.

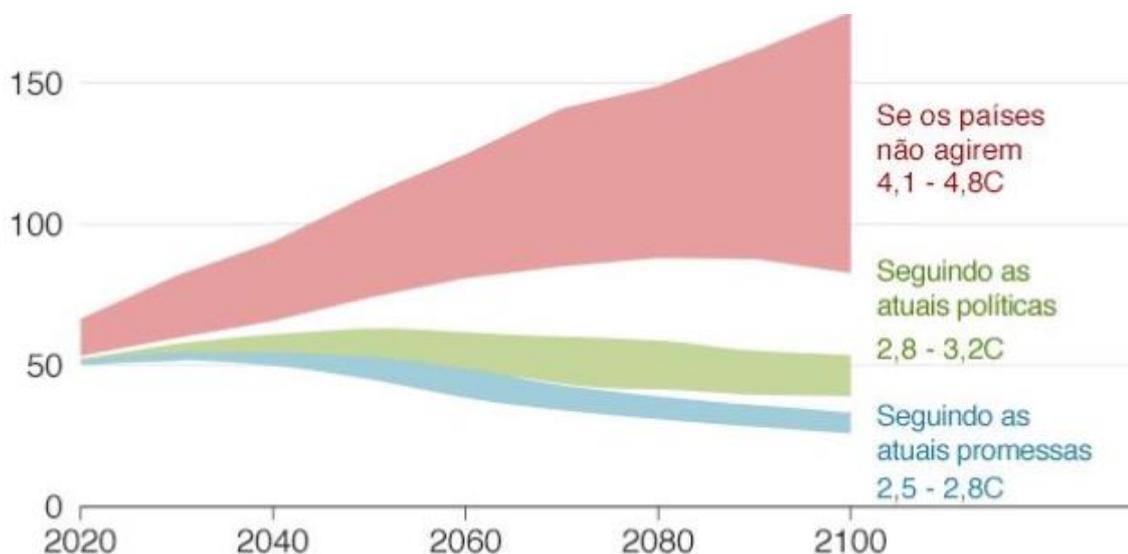
## **2 - Energia e meio ambiente**

Muito se fala sobre energia limpa e renovável há algumas décadas. O tema é importante e questões ambientais têm entrado em pauta com certa urgência devido ao grave processo de degradação do planeta, que se encontra num patamar praticamente irreversível.

A temperatura global encontra-se num nível alarmantemente alto por conta do efeito estufa. Especialistas afirmam que em poucos anos, se o cenário atual não for modificado radicalmente, o ecossistema entrará numa fase crítica, a partir da qual ele não poderá se recuperar, até finalmente acabar. O teto do aumento de temperatura permitido até o final do século é de apenas 1,8°C.

Contudo, para que isso seja alcançado, a emissão de dióxido de carbono deverá ser reduzida em 45% até 2030 (MCGRATH, 2019).

**Figura 1** – Curva do aumento de temperatura de acordo com as políticas públicas



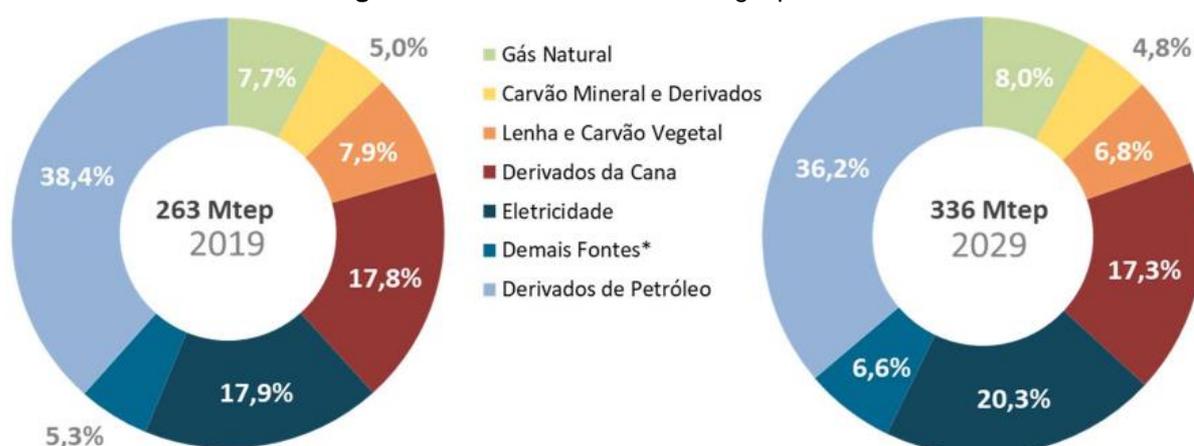
Fonte: STYLIANOU (2018)

Alguns tratados internacionais são firmados continuamente, mas pouco se é feito de forma prática e efetiva. O próprio famoso Tratado de Kyoto, de 1997, que rege sobre a intenção de diminuição da emissão de CO<sub>2</sub>, não foi eficaz. Em vez das emissões de gases do efeito estufa (GEE) diminuírem, o que foi computado, na verdade, foi um aumento de 16,2% nos intervalos de 2005 a 2012 (TUFFANI, 2015).

Outro processo fracassado na tentativa de conter a emissão dos GEE foi a criação do mercado de carbono, criado na convenção quadro das Nações Unidas sobre mudança climática, durante a ECO-92 (MMA, 2020). Resumidamente, a entidade compra o direito de emitir gás carbônico. Em contraponto, quem recebe o dinheiro, compromete-se a investir em energias renováveis e na preservação das matas. Na prática, não é o que ocorre. A venda chega a acontecer, mas o desmatamento não parou. Pelo contrário, na última década, por exemplo, o desflorestamento da Amazônia bateu recorde (OLIVEIRA, 2020).

Além da preocupação ambiental, no âmbito energético, existe a necessidade da criação e pesquisa de meios alternativos de geração de energia. Ao observar a figura 2, nota-se uma grande dependência de derivados do petróleo, ou combustíveis fósseis, inclusive dentro da expectativa do governo federal, de dez anos.

**Figura 2 – Consumo final de energia por fonte**



Fonte: Dados do EPE (2020)

Existe uma grande problemática nesses meios, que é a emissão de gás carbônico proveniente dessas fontes de energia. Como deve-se notar, há uma previsão de crescimento da utilização desses métodos derivados do petróleo, possivelmente pois, apesar das novas tecnologias de geração de energia estarem cada vez mais em alta, o descobrimento do pré-sal, e a sua exploração, aumentou a quantidade de petróleo disponível, estando responsável por cerca de 70% de toda produção brasileira (ANP, 2020).

Se comparar a emissão de CO<sub>2</sub> disponibilizado só pela ANP, nota-se um aumento substancial na quantidade de GEE. É importante salientar que apesar da tabela apresentar apenas o termo CO<sub>2</sub>, ela engloba outros gases como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

**Tabela 1 – Inventário da emissão de gases do efeito estufa**

Ano	Emissões de CO <sub>2</sub> equivalente (toneladas)
2014	33.685,65
2015	83.143,88
2016	118.462,97
2017	178.346,40
2018	1.364.728,54
2019	1.370.834,97

Fonte: Dados do ANP (2020)

Obviamente, a preocupação com a criação de alternativas aos combustíveis fósseis deve-se, também, não só pela questão ambiental, mas por se tratar de uma fonte de energia não renovável. Além disso, sua ampla utilização apenas acelera o processo de esgotamento. Para dimensionar a

dependência desse recurso, cerca de 96% de todo transporte mundial é feito por meio dele (ANP, 2020), e, apesar de novos poços terem sido descobertos e da evolução na tecnologia que permite a exploração do pré-sal, o mundo já presenciou uma grande crise na década de 70, quando os Estados Unidos se viram totalmente dependes da importação, haja vista que suas reservas domésticas não eram suficientes para a alta demanda interna.

Foi nessa época, inclusive, quando o petróleo se tornou instrumento de barganha e razão pela qual ocorreu a intervenção bélica dos EUA no Golfo Pérsico. Por conta desses fatores, especialistas preveem que daqui a 40 anos (LOBÃO, 2020) ele se esgote ou se torne financeiramente inviável, justificando também a celeridade na busca de substitutos.

Diversas fontes de energias renováveis estão sendo aplicadas a fim de criar alternativas àquelas existentes, seja pela alta emissão de poluentes, seja pela probabilidade de escassez. Dentre as possibilidades, pode-se citar as mais comuns, como energia solar e eólica, ou aquelas menos exploradas, como geotérmica e maremotriz. Ainda é importante salientar que dentre aquelas consideradas “fontes de energia renováveis”, tem-se uma grande representante como principal meio de geração de energia no Brasil, a hidrelétrica, fato comprovado na tabela a seguir. Disparadamente, ela fica em primeiro lugar na produção de energia, sendo seguida pelo gás natural.

**Tabela 2 – Oferta Interna de Energia Elétrica**

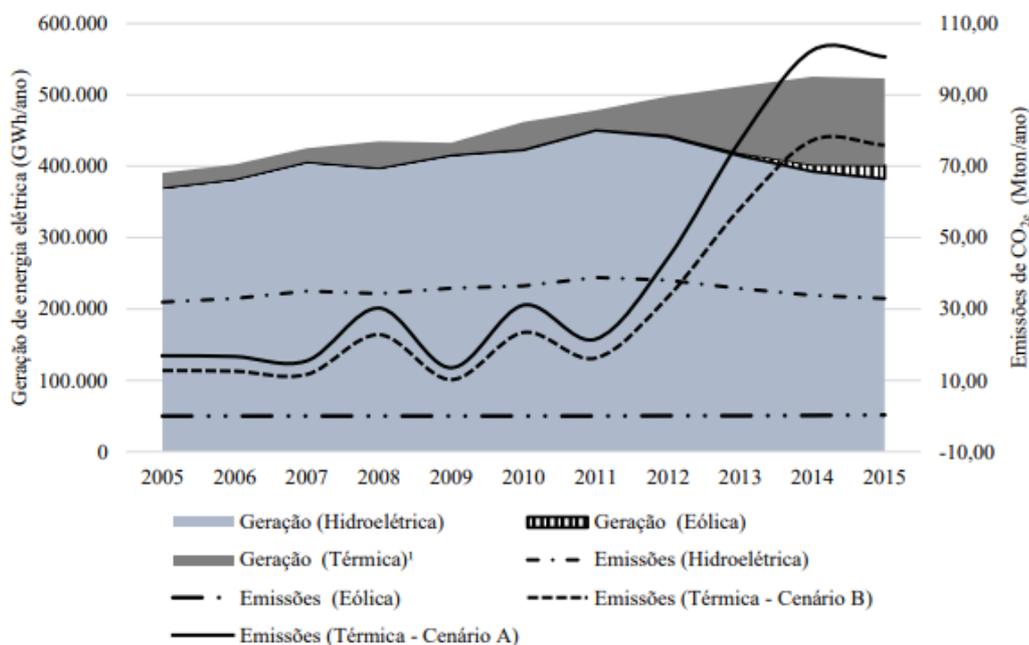
ESPECIFICAÇÃO	GWh		19/18 %	Estrutura (%)	
	2018	2019		2018	2019
HIDRÁULICA	388.971	397.877	2,3	61,1	61,1
BAGAÇO DE CANA	35.435	36.827	3,9	5,6	5,7
EÓLICA	48.475	55.986	15,5	7,6	8,6
SOLAR	3.461	6.655	92,2	0,54	1,02
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	18.947	18.094	-4,5	3,0	2,8
ÓLEO	9.293	6.926	-25,5	1,5	1,1
GÁS NATURAL	54.622	60.448	10,7	8,6	9,3
CARVÃO	14.204	15.327	7,9	2,2	2,4
NUCLEAR	15.674	16.129	2,9	2,5	2,5
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	12.314	12.060	-2,1	1,9	1,9
IMPORTAÇÃO	34.979	24.957	-28,7	5,5	3,8
<b>TOTAL (c)</b>	<b>636.375</b>	<b>651.285</b>	<b>2,3</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<i>Dos quais renováveis</i>	<b>530.269</b>	<b>540.395</b>	<b>1,9</b>	<b>83,3</b>	<b>83,0</b>

(a) Lixívia, biogás, casca de arroz, capim elefante, resíduos de madeira e gás de c. vegetal; (b) Gás de alto forno, gás de aciaria, gás de coqueria, gás de refinaria, gás de enxofre e alcatrão; (c) Inclui autoprodutor cativo, que não usa a rede básica.

**Fonte:** MENDES et al (2016)

Embora essas citadas sejam menos poluentes que aquelas que utilizam combustíveis fósseis, ou que as termelétricas, principal fonte geradora de energia do mundo, elas não são imunes ou consideradas de zero impacto ambiental.

**Figura 3 – Emissão de GEE devido a análise de ACV**



Fonte: LOURENÇO (2016)

A figura 01 ratifica a afirmação anterior sobre a emissão de gases do efeito estufa até mesmo nas gerações de energia renovável. Um adendo importante a se fazer é que a análise do gráfico fornecida é feita a partir do estudo do ACV, análise do ciclo de vida. Este método de inspeção baseia-se no estudo do conjunto de etapas dentro da cadeia produtiva e suas consequências relacionados aos recursos, danos ecológicos e à vida humana (OLIVEIRA, 2017). Ou seja, mesmo que durante o processo de geração de energia não haja emissão de gás carbônico, ou outro gás do efeito estufa, a liberação desses durante a sua elaboração deve ser computada.

As hidrelétricas, disparadamente a maior matriz energética brasileira, apesar de utilizarem um recurso renovável como principal matriz geradora de energia, possui diversos pontos negativos no que tange às alterações ecológicas do local, como o desvio do curso natural da água para a nova estrutura, alterando e impedindo diversas vezes o caminho do processo de reprodução de algumas espécies de peixes (CEMIG, 2016). Outrossim, é

considerável destacar que ainda existe o impacto social e cultural no deslocamento de uma população inteira devido às grandes áreas alagadas, como no caso de Itueta, cidade de Minas Gerais. Para construção de uma UHE, a cidade foi inteiramente deslocada para outro local e, como consequência desse fato, diversos moradores região apresentaram problemas psicológicos devido a memória afetiva que possuíam (GUIMARÃES, 2014). Soma-se aos dados relatados que nesse tipo de geração de energia, ainda durante o processo de implantação dessa, dentro dos efeitos da inundação, que toda a matéria orgânica que ficará submersa entrará em decomposição e, ocasionado por processos químicos naturais, passará a emitir metano (CH<sub>4</sub>). Esse gás na classificação do GEE e, apesar de se decompor 10 vezes mais rapidamente que o gás carbônico, ele é absorve 25 vezes mais calor.

Além das UHEs, pode-se citar também, a fim de contextualizar os dados da tabela 2, os problemas da geração eólica. Falando na dimensão do impacto ambiental, é uma das fontes que apresentam baixa representatividade. Porém, deve-se ser cauteloso nessa análise, pois essa não é utilizada de forma tão massiva quanto algumas outras fontes, por necessitar de grandes investimentos e gerar de forma intermitente. Embora ainda baixos, existem alguns problemas relatados na utilização e instalação. Inicialmente, se for implantado de forma massiva, a quantidade de material utilizado e seu despojamento deverá ser uma preocupação. Também, uma característica em particular, que é a alta taxa de mortalidade de pássaros, devido ao processo de cintilamento das pás em conjunto com a grande estrutura

Resumidamente, é pouco provável que exista alguma fonte de geração de energia sem nenhum impacto ambiental. Seja pela estrutura, ou por resíduos gerados. Tudo se baseia no princípio básico da termodinâmica que rege da produção de energia e sua conservação: nada se cria, tudo se transforma.

### **3 - A mineração da matéria prima**

O Silício, depois do oxigênio, é o elemento mais abundante do planeta, sendo a crosta terrestre formada por 28% por ele. Além disso, a combinação dos dois elementos gera um grupo chamado de silicatos e estes representam quase 95% da crosta. Apesar da grande quantidade, para fins tecnológicos, dentre elementos desse grupo, apenas o quartzo apresenta viabilidade técnica e econômica para a obtenção de silício (OLIVEIRA et al, 2017).

A extração desse mineral é feita por garimpagem, manual ou mecânica. Da forma mais simples, ou seja, por meio do garimpo, a mão-de-obra consiste basicamente na humana. Por meio de picaretas e escavadeiras manuais, são feitas escavações irregulares, de forma predatória e irregular. A grande dificuldade nesse caso, é que a localização e a fiscalização desses meios de mineração tornam-se difícil, pois normalmente estão em pontos isolados e em pequenas áreas. De qualquer forma, isso não diminui a importância na degradação do ambiente (DANTAS et al, 2020). Com o adendo e não menos importante que esse método de exploração possui um viés também social, pois muitas vezes os trabalhadores que exploram esses campos estão suscetíveis às péssimas qualidades de trabalho, raramente existe o uso de equipamentos de proteção individuais (EPIs), ou seja, estão sob risco de desmoronamento (PYL, 2011), por conta de uma extração não estudada, além de vulneráveis às doenças respiratórias, como a silicose, patologia pulmonar incurável, ocasionada pela liberação de gases tóxicos durante o processo de exploração. Não obstante, soma-se a isso o fato de que a utilização de mão de obra análoga à escravidão não é um hábito incomum. Prova disso é que em 2011, em Diamantina, em Minas Gerais, foram descobertas diversas pessoas trabalhando em sob tais condições em uma jazida de quartzo (PYL, 2011).

No caso da garimpagem mecânica, apesar da probabilidade de ser um processo legal, juridicamente falando, o estrago é exponencialmente maior, pois normalmente são utilizados explosivos e retroescavadeiras. Acelerando o processo de degradação. DANTAS et al cita a redução da biodiversidade e dos habitats naturais da fauna e flora local, em virtude da retirada da vegetação, poluição devido aos gases e poeiras, além de resíduos de minerais, como parte das consequências da exploração.

A imagem a seguir explicita os efeitos causados pela mineração de forma simplificada.

**Tabela 3 – Ações e consequências da mineração de quartzo**

Ações/Efeitos	Aspectos/Meios		
	Físico	Biótico	Antrópico
Desmatamento	x	X	X
Erosão	X	X	X
Perfuração de rochas	X		X
Carregamento dos furos			X
Detonação de explosivos	X	X	X
Desbastação e transporte de minerais			X
Emissão de poluentes	X	X	X
Geração de poeira	X	X	X
Deposição de resíduos sólidos	X	X	
Ultra lançamento	X	X	X
Vibração	X	X	X

Fonte: DANTAS et al 2015

Ainda nas etapas iniciais da exploração, assim que o quartzo é retirado, a limpeza do mesmo é feita com ácido clorídrico, comumente chamado de ácido muriático. Ou seja, mais um processo químico é acrescentado na rota da obtenção do silício.

Mesmo após esse procedimento, é de mister importância compreender que este mineral precisa passar por vários processos para a retirada das impurezas e transformá-lo viável para aplicação no campo da elétrica/eletrônica. O produto requerido é chamado de silício de grau metalúrgico, ou SiGM, e sua purificação é necessária pois nas fases iniciais ele apresenta diversas impurezas que prejudicam sua eficiência. A tabela abaixo apresenta as concentrações dessas no SiGM.

**Tabela 4 – Impurezas no SiGM**

Elemento	Baixo	Alto
Oxigênio	100	5000
Ferro	300	25000
Alumínio	300	5000
Cálcio	20	2000
Carbono	50	1500
Magnésio	5	200
Titânio	100	1000
Manganês	10	300
Vanádio	1	300
Boro	5	70
Fósforo	5	100
Cobre	5	100
Crômio	5	150
Níquel	10	100
Zircônio	5	300
Molibdênio	1	10

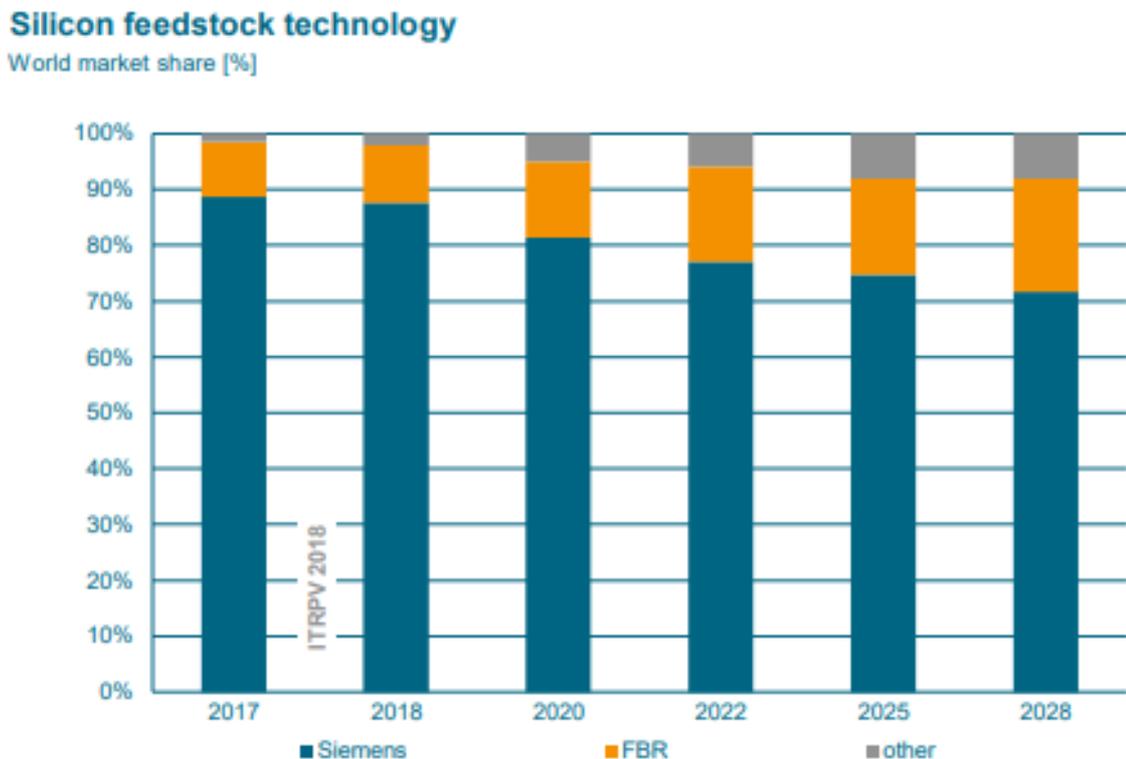
Fonte: OLIVEIRA et al, 2018

Na tabela, percebe-se a existência de diversos elementos em grandes quantidades, como o ferro, oxigênio e alumínio. Poderia citar a influência de cada um deles, mas se faz necessário para dimensão do grau de pureza saber somente que o grau de concentração do alumínio aceitável para a APLICAÇÃO em semicondutores deve ser abaixo de 0,01ppm (OLIVEIRA et al, 2018).

#### 4 - Purificação do quartzo

Para o alcance da pureza almejada existem processos padrões, como por exemplo Union Carbide, Processo Ethyl, e o processo Siemens (LUQUE, 2002), sendo o último mais utilizado atualmente, sendo aplicado em mais de 75% dos casos (LÜDKE, 2018). No gráfico a seguir dá para perceber que apesar de apresentar queda na utilização, o processo Siemens continua sendo o mais utilizado. Resumidamente, as etapas são gaseificação do SiGM, destilação, e deposição de silício extremamente puro.

**Figura 4 – Utilização do processo Siemens em relação a outros**

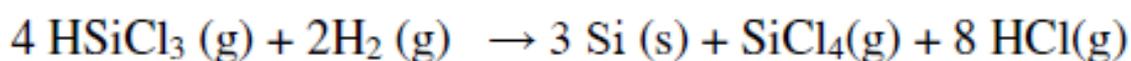


Fonte: Luque (2002)

Apesar desse processo produzir um SiGM como altíssimo teor de pureza, as desvantagens são muitas, principalmente na questão ambiental, o

que vai de contraponto com o argumento de que a energia solar não impacta na natureza.

O processo, de forma simples, funciona por meio de reações químicas. A forma pura retirada do silício de grau metalúrgico é chamada de polisilício, ou de SiGS (silício de grau solar). Para se obtê-lo, combina-se ácido hidrocloreídrico com o SiGM. A partir daí, com a adição de hidrogênio, no processo, resulta-se em silício tetraclorossilano. A questão é que esse componente é extremamente tóxico. A última reação do processo é dada pela equação abaixo (LÜDKE, 2018).



Equação 1 – Processo de purificação do SiGM

Pela reação, observa-se que a cada unidade de silício obtém-se de 3 a 4 unidades de silício tetraclorossilano. Isso é grave, pois pouco se aproveita do SiGM, além da mazela de gerar essas duas substâncias tão prejudiciais (além do SiCl<sub>4</sub>, a reação também produz o elemento tóxico e corrosivo ácido hidrocloreídrico).

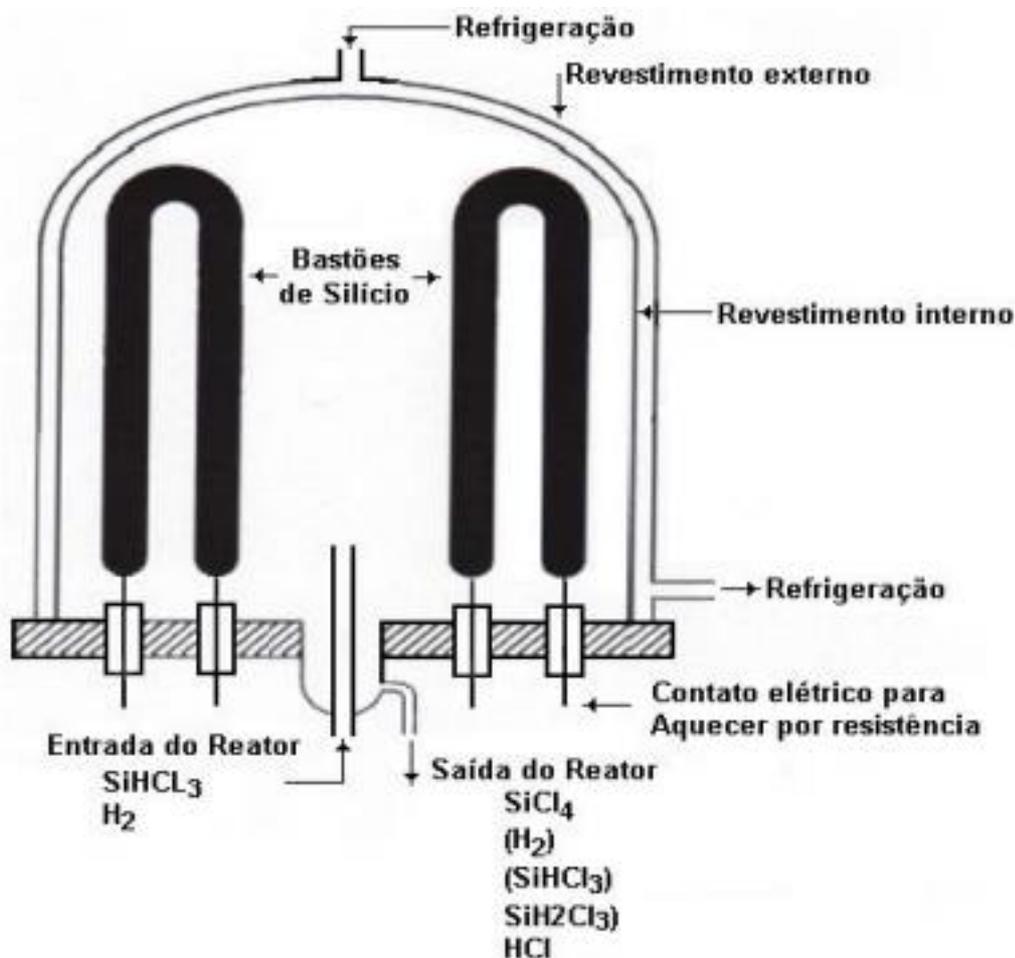
Não são raros casos de fábricas despejarem de forma irregular seus excedentes de produção, no âmbito da energia solar também não é diferente. Casos de poluição no descarte criminoso desse elemento são diversas vezes relatados. Um dos casos relatados em 2011, informou que uma empresa do ramo de fabricação de painéis, Jinko Solar Holding Co, estava despejando SiCl<sub>4</sub> nos rios da região (MULVANEY, 2014). Não muito tempo antes, em 2008, o jornal Washington Post produziu uma grande reportagem sobre a empresa Luoyang Zhonggui High-Technology Co., que também descarrega de forma criminosa, no Yellow River, o mesmo componente, matando peixes e porcos (CHA, 2008).

Conhecido pela fórmula SiCl<sub>4</sub>, o composto branco, como as pessoas da região chamavam o resultado da purificação do silício de grau metalúrgico, quando derramado no solo, faz com que com esse se torne ácido, resultando um solo infértil, onde nada mais brota. Já o HCl, em forma de gás, aos seres humanos ele causa ardência nos olhos e nos pulmões, além de dificuldade para respirar. Isso ocorre pela reação da umidade do ar que resulta no ácido clorídrico, sendo este venenoso.

O problema químico, de produção de substâncias tóxicas, não é o único problema do processo Siemens, a quantidade de energia necessária também é um fator. Para a dissociação térmica, o contato elétrico é aquecido em até 1100°C, onde

há a decomposição do silício. A prevenção de que haja resíduos depositados nas paredes, são necessárias altas temperaturas e refrigeração, respectivamente. O esquemático abaixo apresenta o modelo do reator.

Figura 5 – Reator da purificação



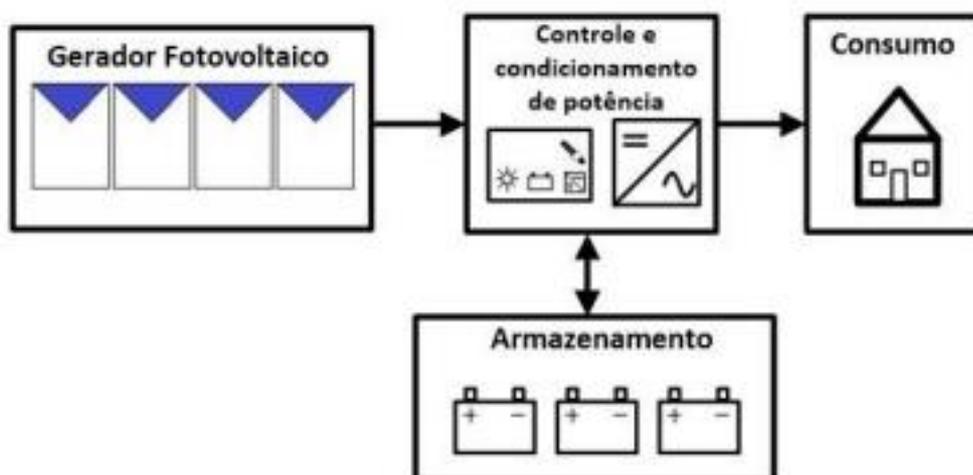
Fonte: LÜDKE (2018)

## 5 - Utilização de baterias em sistemas isolados e híbrido

Após pronta, as placas fotovoltaicas são colocadas para funcionamento. Um sistema fotovoltaico (FV) é normalmente composto dos módulos FV, suporte, cabeamento, inversores, controladores de carga e podem ter ou não, bateria. Nos casos em que o sistema é somente conectado à rede, não faz sentido ter armazenamento de carga. Porém, uma das grandes vantagens da energia solar é exatamente a possibilidade de geração de energia onde não há a possibilidade de acesso, ou, simplesmente, a independência da concessionária. Por isso, em muitos casos, o sistema é isolado, quando não há conexão com a rede de energia elétrica, ou híbrido, ou seja, pode tanto

consumir energia da rede, quando não. Nos dois últimos casos, a bateria é essencial.

**Figura 6** – Esquemático simplificado de sistema FV isolado



**Fonte:** PINHO, GALDINO (2014)

Como mostra a figura acima, há a parte de geração de energia que passa pro controlador de carga e para o inversor. Quando não há carga na residência para o consumo, ou quando ele é inferior à geração, a energia gerada é leva às baterias para que sejam utilizados quando não há sol.

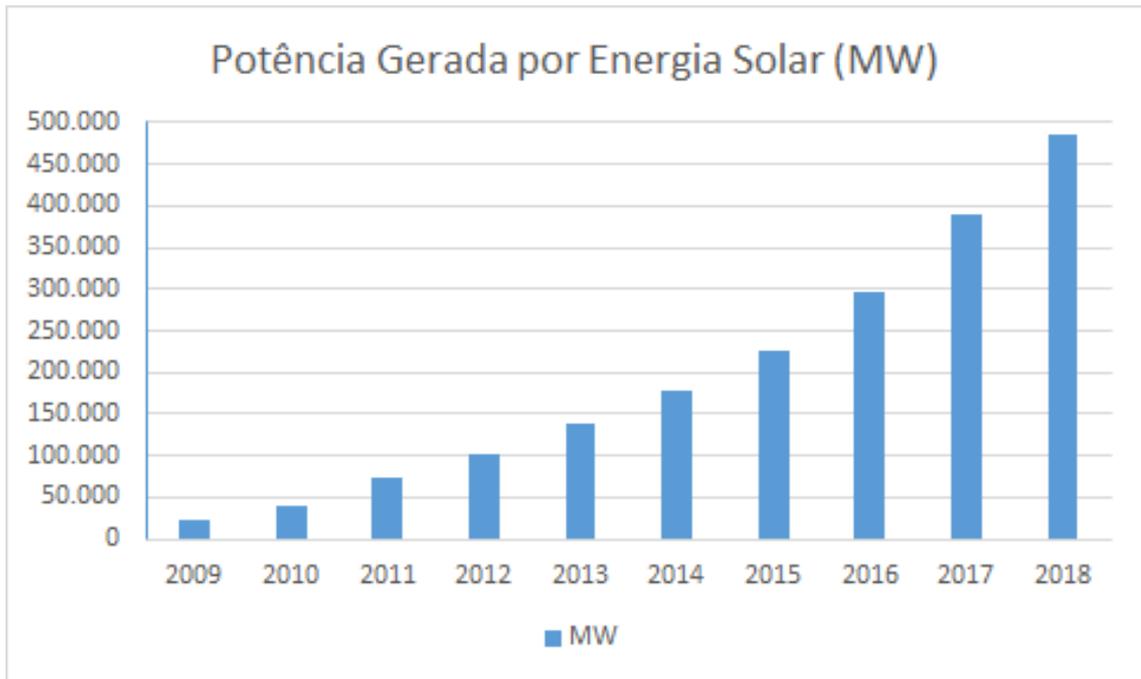
A grande questão ambiental nesse caso é a utilização e o descarte das baterias. Embora a vida útil de um painel solar gire em torno de 25 anos, considerando uma eficiência aceitável, as baterias não duram tanto tempo. As mais comuns e utilizadas, são as de chumbo-ácidas, que duram em média 2,5 anos a temperatura ambiente (CRUZ, 2012). Ou seja, durante toda a vida útil do painel FV, todo sistema de armazenamento deverá ser substituído dez vezes.

O problema, é claro, está no mau descarte das baterias, seja em lixões comuns, não preparados para receber tais elementos químicos, ou o despejo aterra de forma irregular, que ocasiona a contaminação do solo e dos lençóis freáticos por chumbo (CRUZ, 2012)

## **6 - Impacto do pós-consumo das placas fotovoltaicas**

É evidente o aumento da utilização da energia solar como fonte alternativa de energia, como já explicitado nesse texto. Atualmente, a fim de exemplificar, em 10 anos, a produção mundial de energia solar saiu de 23.371 MW para 485.826MW, um aumento de aproximadamente 2078%. O gráfico abaixo demonstra bem o comportamento exponencial desse crescimento.

**Figura 7** – Crescimento da geração de energia solar por ano



Fonte: (IRENA, 2019)

Paralelamente ao crescimento da utilização da energia solar, cresce também a quantidade de material descartado. Apesar da vida útil do painel ser considerada extensa, em média de 20 a 25 anos (PINHO, GALDINO, 2014), ela ainda é inferior se considerarmos um ciclo de vida de 200 anos de uma hidrelétrica. Justamente por isso, faz-se necessário considerar a quantidade de material descartado e seu reaproveitamento.

No tópico anterior foram discutidos a extração do quartzo, principal mineral de onde extrai-se o silício e seu refinamento. Nesse, entretanto, é importante entender a constituição do painel fotovoltaico como um todo e assim entender seus pontos negativos ao meio ambiente. É importante ressaltar que a lista abaixo de material constituinte considera apenas painéis solares utilizando silício policristalino e monocristalino, esses que representam 93% da participação no mercado (OLIVEIRA, 2017).

**Tabela 5** – Composição de metais dos painéis FV

<b>Materiais</b>	<b>Silício Monocristalino / Policristalino</b>
Vidro	74,16%
Polímero	11,31%
Alumínio	10,30%
Silício	3,35%
Cobre	0,57%
Prata	0,01%
Estanho	0,12%
Zinco	0,12%
Chumbo	0,06%
Telúrio	-
Cadmio	-

Fonte: OLIVEIRA (2017)

É amplamente difundido o entendimento de que o vidro, apesar de ter um processo de decomposição longuíssimo, é facilmente reaproveitado na reciclagem, se descartado corretamente. Entretanto, da tabela nota-se a presença de chumbo, elemento prejudicial ao meio ambiente e aos seres humanos.

Denis Bergamo et al estima que até 2050 um total de 84 toneladas de chumbo sejam descartadas. A contaminação por metais cumulativos, como chumbo e alumínio, são os minerais de maior preocupação em relação a poluição e seus efeitos sob os humanos problemas como câncer, efeito neurológicos, toxicidade renal, entre outros (CRUZ, 2012);

## **7 - Métodos alternativos para diminuição de danos**

Das situações apresentadas nesse artigo existem alternativas ou tratamentos a serem tomados a fim de minimizar os danos ambientais. O primeiro deles, é na exploração de silício feito por minas de mineração.

Uma maneira ainda não viável economicamente, mas que tem sido objeto de estudos é a retirada de silício das cascas de arroz. Por ano, o Brasil produz cerca de 12,7 milhões de toneladas de arroz. Isso significa que, em média, cerca de 57 mil toneladas de sílica poderiam estar disponíveis anualmente (FERNANDES, 2014).

Ainda dentro do processo de refinamento, a limpeza do quartzo e a purificação dele, como já citado anteriormente, utiliza silício tetraclorossilano. Elemento altamente tóxico.

Visando a diminuição do descarte, algumas empresas procuram reciclar esse ácido. Apesar de ser mais fácil obter o polisilício a partir composto, um empecilho ainda para que as empresas passem a reaproveitá-lo, é o alto investimento inicial, já

que se faz necessário grande quantidade de energia. A preocupação em relação a esse fato na China é tamanha que em 2011 foram feitos padrões que exigiram que cerca de 98,5% sejam reaproveitados (MULVANEY, 2014).

Uma alternativa que vem sendo trabalhada a esse composto, é a substituição da utilização dos elementos a base de cloro para aqueles de etanol (MULVANEY, 2014).

No que tange ao uso e ao pós-consumo, para reduzir os impactos ambientais pela produção massiva de placas solares, inicialmente é imprescindível a aplicação de políticas públicas dos governos dos países, de forma a orientar o descarte adequado, tanto das baterias, quanto dos painéis. Sobre as placas solares, a exemplo disso, um regulamento extremamente prático da Califórnia, no ano de 2015, passou a classificar os resíduos solares como universais (OLIVEIRA, 2017). Tal classificação impede que os dejetos sejam classificados como domésticos, ou colocados em resíduos não-perigosos. Só este fato impede que materiais pesados das placas contaminem outros produtos, além de não entrarem em contato com o solo.

Em relação às baterias, já existe uma regulamentação que rege sobre o descarte das baterias de chumbo ácida. Segundo o CONAMA, toda bateria utilizada deverá ser devolvida ao fabricante, importador ou distribuidor, e no caso daquelas de chumbo, há a possibilidade de devolução aqueles recicladores devidamente licenciados. Caso isso não seja feito, assim como o transporte devidamente sinalizado, por pessoas também licenciadas, o usuário poderá ser autuado por crime ambiental.

Além disso, outro meio de diminuir a quantidade de baterias e, conseqüentemente, o risco de poluição ambiental, é evitar utilizar sistemas isolados sempre que possível. Atualmente já existem incentivos fiscais e programas de compensação para aqueles que produzirem energia a partir de autogeração e quiserem utilizar os créditos e abaterem o valor de outras residências.

Falando ainda dos componentes do sistema fotovoltaico, a renovação dos painéis solares também é uma saída para essa problemática. O processo consiste basicamente na retirada do plástico, separação do vidro e dos metais e após uma série de processos químicos, as células são limpas e passam a atender os requisitos de qualidade (DIAS, 2015). Esse processo já tem sido

feito, inclusive, em 2018 inaugurou a primeira empresa de reciclagem de painéis, na França (ECOSOLARER, 2019). A Alemanha também tem planos de reciclar cerca de 50 mil painéis por ano.

Há grande interesse em estudar possibilidades mais baratas do desmonte dos painéis para reuso, pois na composição há prata. E em muitos casos isso pode abater do custo e ser extremamente rentável.

Uma outra forma de diminuir todo quantitativo de material a ser descartado é, obviamente, diminuindo a espessura das placas fotovoltaicas. Para isso, o mercado tem ampliado bastante o uso de módulos fotovoltaicos de filmes finos. Além desses, ainda existem outros tipos de placas que fazem o processo de captação da irradiação solar e a transformam em energia solar: as células orgânicas e as baseadas em corantes. O primeiro caso utiliza um fio condutor, material orgânico e um contato metálico traseiro. O material semiconductor orgânico ainda pode ser depositado sobre um filme de politereftalato de etileno (PINHO, GALDINO, 2014). Material muito utilizado em garrafas PET e de ampla utilização na reciclagem. Já no segundo caso, utiliza, de forma resumida, o efeito fotoelétrico e a produção de íons livres no corante. Infelizmente não há produção em larga escala em nenhum dos dois casos devido a sua baixa eficiência.

## **8 - Considerações finais**

Inicialmente, é importante ressaltar que esse trabalho não se propôs a desmerecer a tecnologia de energia solar, pois é muito clara a importância e o papel dessa fonte renovável no processo de diminuição do efeito estufa, pois, se comparada com as fontes mais utilizadas, como combustíveis fósseis e termelétricas, as placas solares desempenham papel fundamental como fonte alternativa de energia.

Além disso, percebeu-se que é surpreendente o aumento exponencial na utilização dessa fonte de energia. Inclusive, o sistema elétrico de todo o mundo – e não apenas do Brasil – tem se moldado em consequência dela. Hoje fala-se em geração distribuída, por exemplo, que reduz substancialmente os gastos na transmissão de energia, porém, é assustador o aumento da produção de placas solares e, com isso, o aumento da quantidade de lixo despejado.

Conclui-se, então, que apesar dos pontos positivos provenientes da utilização das placas solares, é imprescindível que estudos sejam feitos a fim de aprimorar cada vez mais essa tecnologia, pois o uso dessa fonte é, sem dúvidas, um dos que causam

menores impactos ambientais, se comparado às outras fontes energéticas. Todavia, com o aumento significativo de tal fonte, deve-se atentar às possibilidades menos degradantes, desde a produção dos materiais até o seu descarte.

## Referências

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível. *Inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) referente aos Contratos de Partilha de Produção*, 30 de julho de 2020. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/inventario-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-gee-referente-aos-contratos-de-partilha-de-producao>>. Acesso em 17/09/2020.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível. *Pré-sal já responde por quase 70% da produção nacional*, 05 de junho de 2020. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/noticias/5779-pre-sal-ja-responde-por-quase-70-da-producao-nacional>>. Acesso em 17/09/2020.

CEMIG. Avaliação de risco de mortes de peixes em usinas hidrelétricas. Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <[https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2019/06/Serie-Peixe-Vivo-vol5-PEIXES\\_E\\_HIDRELETRICAS-e-book.pdf](https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2019/06/Serie-Peixe-Vivo-vol5-PEIXES_E_HIDRELETRICAS-e-book.pdf)>. Acesso em 22/05/2021.

CHA, Ariana E. *Solar Energy Firms Leave Waste Behind in China*. Washington Post, 09/03/2008. Disponível em: <<https://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/03/08/AR2008030802595.html>>. Acesso em 20/09/2020.

CRUZ, Nathalia R. *Exposição ambiental ao chumbo: um problema de áreas contaminadas próximas a fábricas de bateria*. Bauru, 2012.

DANTAS, Heline F. S. A. et al. *Análise da exploração mineral e seus impactos, visando a recuperação de áreas degradadas: estudo de caso no município de Pedra Lavrada - PB*. Jataí, GO, 25/07/2021.

DIAS, Pablo. R. *Caracterização e reciclagem de materiais de módulos fotovoltaicos*. Porto Alegre, 31 de agosto de 2015.

ECOSOLARER. *A primeira usina de reciclagem de painéis solares da Europa começa a funcionar na França*. Ecosolar, 28/03/2017. Disponível em: <<https://www.ecosolarer.com.br/2018/07/a-primeira-usina-de-reciclagem-de.html>>. Acesso em 20/07/2021.

EPE, Empresa de pesquisa energética. *Balanço energético nacional*. 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>>. Acesso em 12/09/2021.

EPE, Empresa de pesquisa energética. *Plano decenal de expansão de energia 2029*, 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-422/PDE%202029.pdf>>. Acesso em 12/07/2021.

FERNANDES, L. *Método de extração de sílica da casca de arroz*. São Carlos, SP, 2014.