



Levantamento de potenciais aspectos e impactos ambientais na fabricação de células de silício para a produção de módulos fotovoltaicos

Leá Beatriz Dai Prá¹, João Batista Dias², Amanda Gonçalves Kieling³

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos (biadaipra@yahoo.com.br)

² Universidade do Vale do Rio dos Sinos (joaobd@unisinos.br)

³ Universidade do Vale do Rio dos Sinos (amandag@unisinos.br)

Resumo

O uso de energias renováveis está se tornando cada vez mais frequente. Por serem consideradas limpas, estas energias estão diretamente ligadas à sustentabilidade. Dentre os vários tipos de energias, encontra-se a solar fotovoltaica, que é a energia originada a partir da captação da radiação solar, por módulos fotovoltaicos, para geração de energia elétrica. Levando em conta sua utilização, em nossas residências ou em usinas de geração de energia, ela é realmente limpa, porém, até chegar a esta etapa, existem os processos de fabricação, que geram diferentes impactos, causando problemas ao meio ambiente. No processo de fabricação, as células de silício incorporadas nos módulos fotovoltaicos são as maiores geradoras de impactos.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Fabricação de células de silício. Impactos ambientais.

Área Temática: Impactos ambientais

Survey of potential environmental aspects and impacts in manufacturing of silicon cells for the production of photovoltaic modules

Abstract

The use of renewable energy is becoming increasingly common. Because they are considered clean, these energies are directly related to sustainability. Among the various types of energy, there is the solar photovoltaic, which is the energy originated from the capture of solar radiation by photovoltaic modules for electricity generation. Taking into account its use in our houses or in power plants to generate energy, it is clean; however, until it gets to this step, there are manufacturing processes that generates different impacts, causing problems to the environment. In the manufacturing process, the silicon cells incorporated in photovoltaic modules are the biggest generating of impact.

Key words: Photovoltaic solar energy. Manufacturing of silicon cells. Environmental impacts.

Theme Area: Environmental impacts



1 Introdução

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da radiação solar em eletricidade (efeito fotovoltaico). O efeito fotovoltaico é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de parte do espectro da radiação solar. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão. (GUIMARÃES et al. 2004).

De acordo com Mori, Santos e Sobral (2007), a transformação da radiação solar em eletricidade, é feita por células fotovoltaicas, ou células solares, que podem ser entendidas como dispositivos semicondutores que produzem uma corrente elétrica quando expostos à tal radiação.

Os semicondutores mais comuns são os formados por elementos do grupo IV da tabela periódica, em especial o silício (Si) e o germânio (Ge), submetidos à dopagem (troca de alguns átomos da estrutura cristalina por átomos de outros elementos). Se a dopagem for feita com átomos pentavalentes, o cristal resultante é do tipo N. Se feita com átomos trivalentes, o cristal é do tipo P. Quando um cristal N é unido a um cristal P forma-se uma junção P-N e surge um campo elétrico na região da junção. (MORI; SANTOS; SOBRAL, 2007).

Quando a célula é exposta à radiação solar, segundo Mori, Santos e Sobral (2007), parte dos elétrons do material irradiado absorve fótons e, graças à essa absorção produz energia, e se afastam dos átomos. Os elétrons livres se deslocam pelo semicondutor até serem puxados pelo campo elétrico existente na área da junção e, através da ligação externa, são levados para fora da célula, ficando disponíveis para uso (energia elétrica).

Segundo Rosa (2008), de acordo com o tipo de materiais semicondutores que formam as células fotovoltaicas, elas se classificam em diversos grupos. Os tipos mais comuns de células são as formadas de silício monocristalino (m-Si) e multicristalino (c-Si).

A eficiência de uma célula de m-Si, na conversão de radiação solar em eletricidade é superior a 12%. (ALMEIDA; FERREIRA, 2010).

Por possuírem eficiência superior a 12%, as células de m-Si são as mais aconselhadas para a produção de eletricidade. (ROSA, 2007).

O procedimento clássico de fabricação das células m-Si utiliza um método conhecido por Método Czochralski (Cz), que obtém o silício a partir do beneficiamento da sílica (ROSA, 2008).

Segundo Mori, Santos e Sobral (2007), o Método Cz consiste em introduzir uma semente cristalina em silício fundido, baixando então lentamente a temperatura para que se dê a cristalização. Após a obtenção do monocristal, esse passa por processos mecânicos de usinagem, corte, desbaste, arredondamento das bordas, limpeza e polimento, obtendo-se, finalmente, as lâminas de silício monocristalino, chamadas de "wafers".

De acordo com Rüther (2004), o consumo de energia neste processo é extremamente intenso e o chamado *energy pay-back time* (tempo necessário para que o módulo gere energia equivalente à utilizada em sua fabricação) é superior a dois anos, dependendo dos níveis de radiação solar do local onde os módulos forem instalados. E, segundo o autor, etapas complementares ao crescimento do monocristal possuem perdas consideráveis de material, da ordem de 50% do tarugo original.

O sistema fotovoltaico não emite poluentes durante sua operação e é muito promissor como uma alternativa energética sustentável, entretanto gera impactos ambientais a serem considerados. O impacto ambiental mais significante do sistema fotovoltaico para a produção de energia elétrica é provocado durante a fabricação de seus materiais e construção, e também relacionado à questões de área de implantação. (INATOMI & UDAETA, 2011)

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2013), na tecnologia de conversão fotovoltaica existem impactos ambientais importantes em duas fases: na fase da produção dos



módulos, que é uma tecnologia intensiva em energia; e no fim da vida útil, após aproximadamente 30 anos de geração, no momento do descomissionamento da planta, quando parte é reciclada e o restante disposto em algum aterro.

Os impactos ambientais gerados pela obtenção de energia interferem enormemente no desenvolvimento sustentável, e o entendimento deles se faz primordial para a análise de implementação de projetos e planejamentos energéticos. (INATOMI & UDAETA, 2011).

Conforme cita a ABNT NBR ISO 14001:2004, aspecto ambiental é “um elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente”, e impacto ambiental é “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização”.

Dada a grande geração de impactos que ocorre devido à fabricação dos módulos fotovoltaicos, é muito importante que se faça um levantamento dos aspectos e impactos ambientais decorrentes da mesma. Esta etapa é fundamental para se obter uma avaliação destes impactos, ressaltando os mais significativos podendo, assim, incorporar técnicas de produção mais limpa ao processo.

Neste sentido, este artigo objetiva fazer o levantamento dos potenciais aspectos e impactos ambientais em um dos procedimentos que envolve a produção de módulos fotovoltaicos, a fabricação de células de silício, analisando as diferentes etapas do processo, desde a extração do minério até o produto final, a célula propriamente dita.

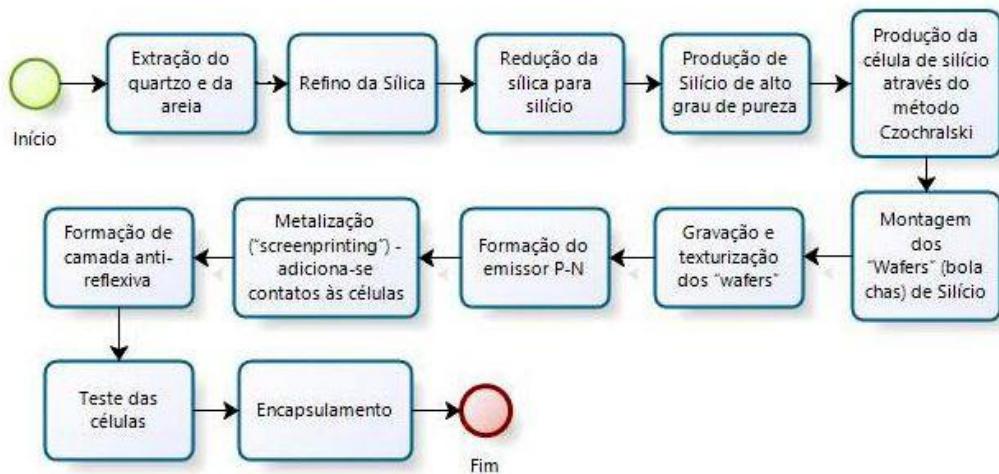
2 Metodologia

A metodologia consiste no levantamento dos potenciais aspectos e impactos ambientais relacionados aos processos de fabricação de módulos fotovoltaicos, mais especificamente, neste estudo, a célula solar. A fundamentação apresentada baseia-se em normas técnicas, artigos e cartilhas específicas sobre este assunto.

3 Resultados

Para auxiliar o entendimento dos resultados, foi construído o fluxograma abaixo (Figura 1), que mostra as etapas do processo de fabricação de células de silício monocristalino, o qual foi utilizado para a elaboração do quadro de aspectos e impactos potenciais.

Figura 1 – Fluxograma das etapas do processo de fabricação de células de silício





4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Como resultado principal, foi elaborado o quadro de potenciais aspectos e impactos ambientais (Quadro 1), mostrando separadamente as etapas do processo e relacionando as causas e efeitos de cada fase.

Quadro 1 – Potenciais aspectos e impactos ambientais do processo de fabricação de células de silício

Aspectos Potenciais	Etapas do processo	Impactos Potenciais
Modificação do meio natural; Rebaixamento de corpos hídricos; Emissão de material particulado; Geração de poluentes (transporte do minério e da areia)	Mineração do quartzo e extração da areia	Degradação do meio natural, alteração da qualidade do ar; Contribuição para o efeito estufa
Emissão de pó de sílica	Refino da Sílica	Alteração da qualidade do ar respirável
Redução da sílica para silício	Obtenção do silício (mg-Si)	Alteração da qualidade do ar por emissões de CO ₂ , H ₂ O, SiO ₂ e NOx
Produção de silício de alto grau de pureza	Obtenção do silício de grau solar (sog-Si)	Alteração da qualidade do ar por emissões de CaCl ₂ e SiO ₂
Geração de resíduo sólido (rebarbas)	Produção da célula de silício; Montagem dos wafers de silício	Superlotação de aterros industriais; Contaminação dos solos e águas subterrâneas;
Geração de efluentes (líquido p/ corte dos wafers)	Montagem dos wafers de silício	Contaminação dos corpos hídricos
Geração de efluente contaminado com H ₂ , H ₂ O, NaSO ₄ , NaSiO ₄	Gravação e texturização dos wafers	Contaminação dos corpos hídricos
Emissões de NaH ₂ PO ₄ , NaOCl, SiO ₂ , NaF, CaF ₂ e CO ₂	Formação do emissor P-N	Alteração da qualidade do ar; Contribuição para o efeito estufa
Geração de emissões de COV's, N ₂ O, CH ₄ e CO ₂	Metalização ("screenprinting")	Alteração da qualidade do ar; Contribuição para o efeito estufa
Geração de resíduos sólidos (descarte de células defeituosas)	Teste das células	Superlotação de aterros industriais; Contaminação dos solos e águas subterrâneas;
Geração de resíduos sólidos	Encapsulamento	Superlotação de aterros industriais; Contaminação dos solos e águas subterrâneas;

Analizando o Quadro 1, nota-se a repetição de alguns potenciais impactos ambientais.



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

A alteração da qualidade do ar mostra-se frequente em várias etapas, devido à obtenção do silício monocristalino (m-Si) necessitar de diversas fases para sua aquisição. Também nota-se os mesmos impactos derivados das etapas de formação do emissor P-N e de metalização, características da fabricação de diferentes tipos de semicondutores.

A contaminação de recursos hídricos origina-se nas etapas de corte dos “wafers” de silício e de utilização de produtos específicos para gravação e texturização dos mesmos que, consequentemente, geram efluentes líquidos.

Por fim, a superlotação de aterros industriais, e consequente contaminação de solo e águas subterrâneas, mostra-se frequente em todas as etapas que possuem geração de resíduos sólidos, oriundos do descarte de material utilizado para a fabricação das células.

A frequência de ocorrência desses impactos está diretamente relacionada aos aspectos encontrados, devido às etapas de produção das células. O processo de obtenção das células de silício monocristalino, utilizadas para a fabricação de módulos fotovoltaicos, é um procedimento complexo que, por necessitar de grandes quantidades de produtos químicos para alcançar a pureza necessária das células, gera muitos impactos. Porém, estas consequências podem ser revertidas se aplicado, por exemplo, um estudo de produção mais limpa ao processo. Para tal estudo, este levantamento inicial, de potenciais aspectos e impactos ambientais, é indispensável.

4 Conclusão

A pesquisa bibliográfica possibilitou a construção do fluxograma de etapas do processo de fabricação das células de silício monocristalino e, a partir do mesmo, foi possível fazer o levantamento dos potenciais aspectos e impactos ambientais relacionados a cada etapa da produção das células.

Independente do uso da energia solar fotovoltaica ser limpo, a produção de células e consequentemente dos módulos gera diversos problemas ambientais. No entanto, a sua utilização é extremamente importante para o desenvolvimento sustentável. Devido a este fato, é de grande valia que sejam feitos estudos nesta área para que sejam propostas melhorias e realizados investimentos no desenvolvimento destas tecnologias.

O levantamento de potenciais aspectos e impactos ambientais é um estudo qualitativo, de suma importância, e servirá como base para um posterior estudo quantitativo, que estará fundamentado em técnicas e métodos já existentes. Esta pesquisa está em sua fase inicial. Futuros estudos, que poderão ser feitos através de técnicas como Análise de Ciclo de Vida (ACV), estão previstos e este diagnóstico preliminar servirá como apoio para os resultados que se espera alcançar. Posteriormente, serão realizados maiores estudos, relacionados aos outros componentes do módulo, visando a conclusão desta pesquisa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**: Sistemas da gestão ambiental - requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALMEIDA, F. S.; FERREIRA, T. S. Estudo sobre a produção, utilização e uso dos painéis solares como fonte de energia renovável. Estudo sobre a produção, utilização e uso dos painéis solares como fonte de energia renovável. **Bolsista de Valor**: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. v. 1, p. 257-261, 2010.



4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Energia Solar:** Energia Fotovoltaica. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>>. Acesso em: 11 out. 2013.

GUIMARÃES, A. P. C. et al (El. e Ed.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL, CRESESB, Rio de Janeiro, 2004, 207p.

INATOMI, T. H. I.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos.** Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, (2011),14p.

MORI, V.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S. **Metalurgia do silício:** processos de obtenção e impactos ambientais. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Rio de Janeiro, 2007, 23p.

ROSA, C. A. **Estudo do balanço energético e do passivo ambiental resultante da fabricação do módulo fotovoltaico.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008, 248p.

ROSA, C. A.; TIAGO FILHO, G. L. **Série Energias Renováveis:** Solar. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão de Itajubá – FAPEPE, Itajubá, 2007, 24p.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos:** O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis, 2004, 118p.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS pelo financiamento de apoio a esta pesquisa.