

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL PARA USO COMO CÉLULA SOLAR

I. P. M. de Medeiros¹; F. A. O. Fontes²; S. M. Valcacer³; L. G. M. Souza²; C. A. Paskocimas⁴.

¹Mestrando em Engenharia Mecânica do PPgEM/UFRN;

²Professor do PPgEM da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;

³Doutorando em Ciência e Engenharia Materiais do PPgCEM/UFRN;

²Professor do PPgEM da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;

⁴Professor do PPgCEM da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Caixa Postal nº 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova

CEP 59078-970 - Natal/RN - Brasil.

E-mail: isaacmedeiros.rn@gmail.com

A busca pela preservação do meio ambiente tem colocado, cada vez mais, as energias limpas e alternativas em destaque. Uma das energias mais estudadas no Brasil é a solar, isso em virtude de uma localização geográfica privilegiada do país, alta incidência de raios solares aliado a uma geração de energia limpa e silenciosa. Uma das principais problemáticas da energia solar é a baixa captação, em média apenas 30% dos raios solares são transformados em energia solar o resto é perdido durante o processo. E um dos fatores que mais interferem nessa transformação de energia é o material usado para montar a célula solar e essa pesquisa tem como objetivo avaliar diferentes materiais para fazer a célula. Para tal, serão realizados os ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV), EDS e Difração Raio -X (DRX).

Palavra-chave: Energia Solar, Célula solar, DRX, MEV.

1. INTRODUÇÃO

A busca pela preservação do meio ambiente tem colocado, cada vez mais, as energias limpas e alternativas em destaque. As necessidades energéticas para a sociedade atual representa uma das mais importantes metas da atualidade, não somente pelas exigências da sociedade moderna e pelo nível desenvolvimento da tecnologia, que resultam num aumento constante da demanda energias limpas e alternativas, mas também pelo fato de que todos habitantes do planeta precisarem da energia elétrica para uma vida mais confortável.

A superfície da terra recebe em um dia mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano¹. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais eficientes formas de gerar potência elétrica.

A célula solar é um dispositivo que por meio do efeito fotovoltaico, converte diretamente energia solar em elétrica. No Brasil, algumas pesquisas desenvolvem células solares e surge a necessidade pela busca do conhecimento de materiais para uso como célula solar.

O mecanismo de superfícies contendo células fotovoltaicas baseia-se em duas principais propriedades: a atividade fotocatalítica que envolve uma reação com radical livre iniciada por luz UV e o segundo é referente ao tipo de material de que é produzido a célula solar.

Tendo em vista esse cenário a pesquisa realizada tem como objetivo conseguir demonstrar através de ensaios e caracterizações os tipos de materiais (monocristalinos (mono-Si) e/ou policristalinos (poly-Si)) que apresentam melhores resultados quanto à captação de energia solar e transformação em energia elétrica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CÉLULAS SOLARES

¹ O sol pode ser considerado como um reator a fusão nuclear operando a cerca de 100.000.000°C, a uma distância média da terra de cerca de 150.000.000 km.

A constante solar: No topo da atmosfera a radiação solar é reduzida a 1353 W/m²; esta constante é chamada constante solar (G extraterrestre ou G AMD). Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar sofre atenuação por absorção por O₃ (UV), H₂O (IR) e CO₂ (IR) e espalhamento pelo Ar, vapor d'água e poeira. Assim, a intensidade de radiação que chega a superfície da terra ao meio-dia é da ordem de 1000 W/m², também denominada 1 SOL.

O fluxo solar e a demanda energética da terra: O fluxo solar, energia radiação ou potência instantânea total que incide sobre a terra é da ordem de 1,75 x 10¹⁷ W (raio da terra = 6,4 x 10⁶ m; área de seção reta da terra = 1,3 x 10¹⁴ m²; G AMD = 1,353 W/m²). Por outro lado, a demanda energética mundial é da ordem de 3,4 x 10¹⁶ Wh/ano. Assim, podemos calcular o tempo necessário para que incida sobre a terra uma quantidade de energia solar equivalente à demanda energética mundial anual: $t = (3,4 \times 10^{16} \times 60) / 1,75 \times 10^{17} = \sim 12$ minutos.

As células solares são dispositivos fotovoltaicos que transformam a luz solar² em energia elétrica. Esses dispositivos consistem em uma junção semicondutora *p-n* (positivo-negativo), que ao sofrer a incidência da luz, em seu interior estabelecem a energia potencial capaz de separar elétrons e buracos gerados pela absorção da luz que produz uma corrente elétrica.

Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons, na faixa do visível e com energia suficiente, excitar os elétrons à banda de condução. Através da junção *p-n*, Figura 01, se dá uma difusão de elétrons do lado *n* para *p*; esse deslocamento estabelece uma redução de elétrons do lado *n*, tornando-o positivo, e um acúmulo de elétrons do lado *p*, tornando negativo. Assim, o campo elétrico na junção estabelece uma barreira de energia potencial capaz de impedir a passagem de elétrons livres atingindo a situação de equilíbrio dinâmico, como já foi descrito anteriormente na secção de Junção *p-n*. [3].

Na incidência de luz, a corrente constituída por elétrons ou buracos será acrescentada de uma corrente gerada pela luz, devido ao grande número de pares elétrons-buraco gerados, que são arrastados pelo campo elétrico da junção, no mesmo sentido. [3].

A tecnologia fotovoltaica utiliza células com camadas de material semicondutor tetravalente (em geral, o silício), uma com *dopagem* de átomos trivalentes (em geral, o boro) dita camada tipo *p*, outra com dopagem de átomos pentavalentes (em geral, o fósforo) dita camada tipo *n*, formando uma junção *pn*, onde o movimento de cargas forma um campo elétrico.

2 O efeito fotoelétrico foi descoberto por Hertz em 1887 e Em 1905, Einstein interpretou os resultados experimentais do efeito fotoelétrico através de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética, considerando tal efeito como um processo de colisão entre um elétron e um fóton. Por outro lado, nos primeiros anos da década de 1920, Compton observou o espalhamento de raios x por elétrons livres e também interpretou os resultados experimentais considerando o processo como uma colisão entre um fóton e um elétron. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/gef/Moderna/moderna04.pdf>>.

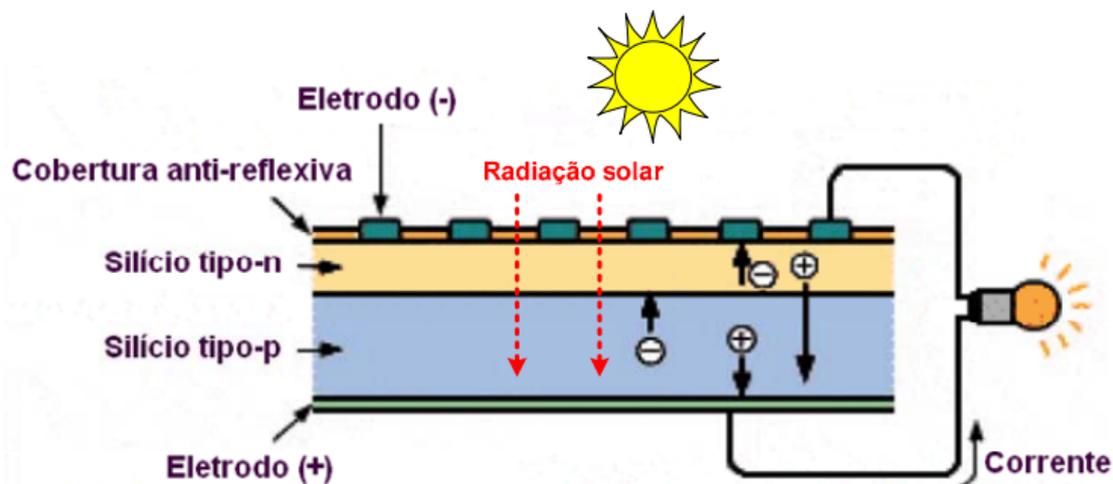


Figura 01: Estrutura da célula solar de silício em corte

Fonte: EPIA, 2008

Quando a luz do sol incide sobre uma célula semicondutora pn , os fótons da luz absorvida desalojam elétrons dos átomos da célula. Estes elétrons livres movem-se através da estrutura cristalina do material, criando pares elétron-lacuna. Este movimento de elétrons e lacunas forma a corrente elétrica, no processo físico chamado efeito fotovoltaico, com intensidade proporcional à intensidade de luz (CRESESSEB, 1990).

2.2. CARACTERÍSTICAS DAS CÉLULAS SOLARES MONOCRISTALINAS E POLICRISTALINAS

O silício é o material mais utilizado na fabricação de células solares, não somente pelo fato de ser o material mais abundante na Terra, mas pela larga experiência alcançada pela indústria de microeletrônica, por seu baixo índice de contaminação e por sua alta durabilidade (CECCHINI, 2003).

Segundo Tolmasquim (2003) as células de silício monocristalino, Figura 02, são produzidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino em fornos especiais. São obtidas por corte de barras em forma de pastilhas finas (300 μm de espessura). Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é da ordem de 15%.

As células fotovoltaicas a base de silício monocristalino têm a desvantagem de apresentarem alto custo de produção, devido às quantidades de materiais utilizados e a energia envolvida na sua fabricação (CRESESSEB/CEPEL, 2008).

As células de silício policristalino são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de porções de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes,

o silício resfria lentamente e solidifica-se. A Figura 3 ilustra a estrutura de uma célula fotovoltaica de silício policristalino [06].

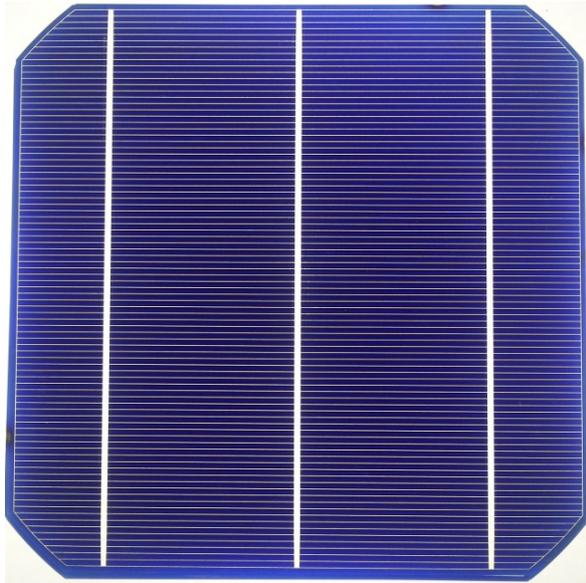


Figura 02: Célula de silício monocristalino (mono-Si)

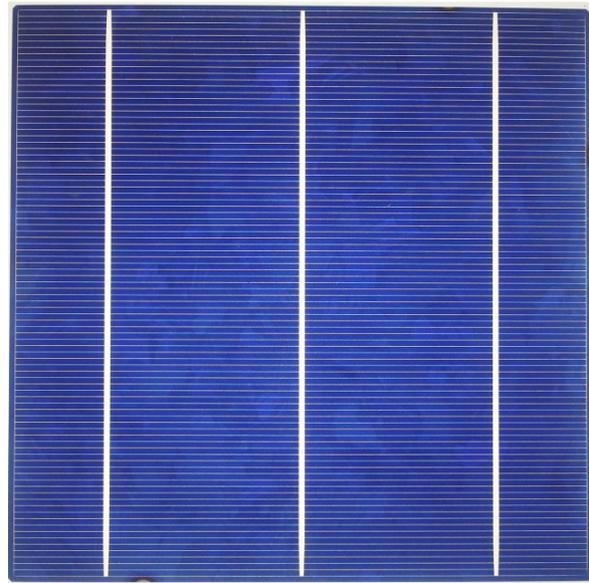


Figura 03: Célula de silício policristalino (poly-Si)

A eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é de aproximadamente 13% em uma célula de silício policristalina. A quantidade de material utilizado é praticamente a mesma utilizada na produção de células monocristalinas, porém, a energia necessária para produzi-las é significativamente reduzida.

2.3. VIDROS FOTOVOLTAICOS

O vidro é formado por pequenas lâminas de células fotovoltaicas com silício um material semicondutor. O vidro também permite a absorção da radiação solar e converte toda a energia em eletricidade. Em muitos países a escassez de energia elétrica é cada vez mais preocupante, e estes vidros são utilizados em muitos projetos para diminuir este problema. Normalmente potência de saída de 80% da potência nominal mesmo após 20 ou 25 anos de utilização.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1. MEV

A análise da microestrutura presente nas células mono e policristalinas foi realizada pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), tomando-se como partida essa análise podemos perceber e discutir além da microestrutura outros parâmetros como: tamanho de grão, defeitos e continuidade da microestrutura. Um equipamento acoplado ao Microscópio permite a realização da análise de EDS onde pode-se

investigar pontualmente ou por área a composição química da superfície do material estudo.

Para a realização do ensaio fez-se apenas retirada de uma pequena amostra de uma célula, não foi preciso fazer a preparação metalográfica, pois trata-se de uma superfície plana.

3.2. DRX

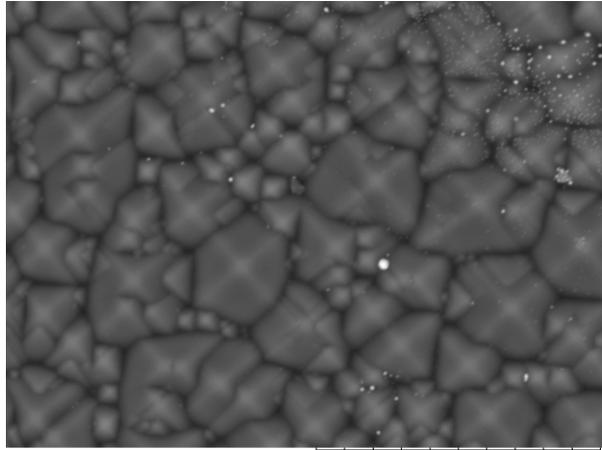
A análise de fases constituintes presentes nas células mono e policristalinas foi realizada pela técnica de difração de raios-x (DRX), tomando-se como partida a análise podemos perceber e discutir as fases que estão presentes nos materiais. Por se tratar de uma método investigativo que não é superficial, como é o caso do EDS, podemos também fazer uma análise comparativa entre as técnicas.

4. RESULTADO

4.1. MEV

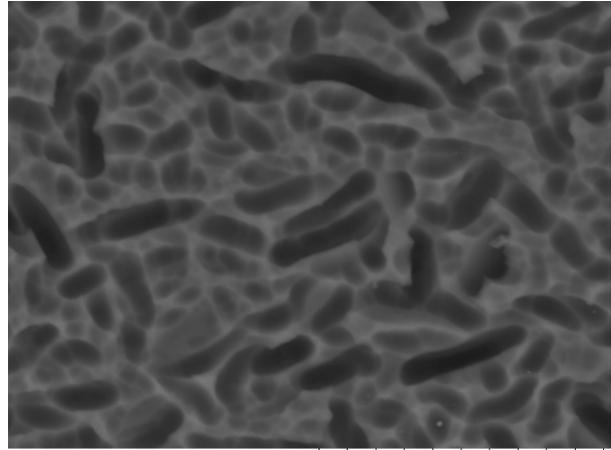
Com as imagens da análise de MEV pode-se perceber claramente a diferença no arranjo dos grãos, sendo o monocristalino uma estrutura com um certo grau de ordenação e com grãos de basicamente dois tamanhos, um maior na ordem de 4 μm e os menores inferiores a 1 μm como percebe-se na Figura 04. Já a Figura 05 que representa na célula de silício policristalina visualiza-se um total grau de desordem, que a literatura atribui ao resfriamento excessivamente rápido, o formato dos grãos são longilínios e seu tamanho é basicamente uniforme.

Comparando-se as duas fotos nota-se a diferença do arranjo nos materiais que irá certamente influenciar na sua capacidade de geração de energia a cristalização o vidro monocristalino se dá de forma gradativa e isso acontece de forma diferente no policristalino. Esse, por sua vez, um processamento mais rápido e uma cristalização que não dá tempo para que uma melhor acomodação dos grãos aconteça. Isso influencia na capacidade do material conduzi energia, uma vez que, quanto maior a desorganização interna dos grãos ou das partículas maior será a perda de energia interna.



DEMat-UFRN 2014/04/03 08:40 H D5.6 x4.0k 20 um

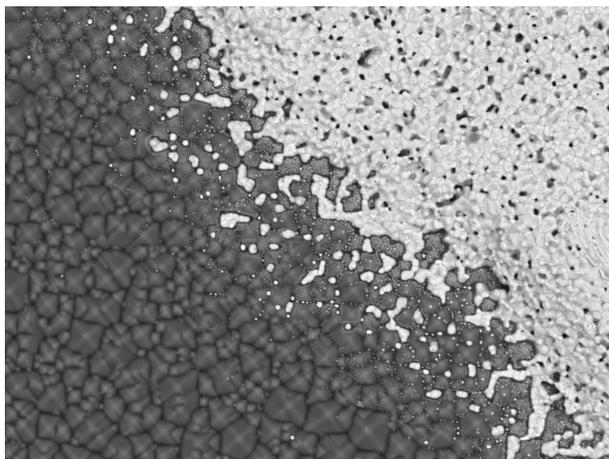
Figura 04: MEV da Célula de silício monocristalino 4000x



DEMat-UFRN 2014/04/03 08:58 H D5.5 x4.0k 20 um

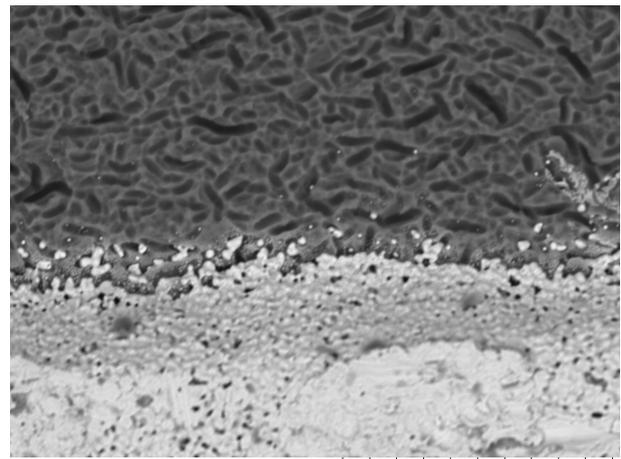
Figura 05: MEV da Célula de silício policristalino 4000x

Quanto a análise de EDS feita durante o MEV, optou-se pelo mapeamento de área visando obter um dado com maior veracidade. Tanto na amostra mono quanto na policristalina apresentaram a mesma composição química superficial. Na parte mais escura, que o vidro, as duas amostras apresentaram teor de silício (Si) superior a 80% e elementos em menor quantidade. Já na parte mais clara, que trata-se do fio condutor, o elemento que apareceu em maior quantidade foi a prata (Ag), com percentual superior a 90% em ambas as amostras. Na amostra policristalina ainda apareceu o elemento alumínio (Al) em um percentual de 5%.



DEMat-UFRN 2014/04/03 08:41 H D5.5 x1.5k 50 um

Figura 06: MEV da Célula de silício monocristalino 1500x



DEMat-UFRN 2014/04/03 08:50 H D5.5 x1.5k 50 um

Figura 07: MEV da Célula de silício policristalino 1500x

4.2. DRX

A análise de difratometria de raio-x apresentou as fases existentes em cada material e é interessante observar que as técnicas de DRX e MEV se completam sendo possível afirmar com mais propriedade a composição majoritária do material.

Com a análise de fases da célula monocristalina, representada na Figura 8, percebe-se uma predominância do elemento prata e com picos menos intensos o óxido de silício. Deve-se citar que a análise em questão não é pontual e sim em linha, e isso explica os picos mais altos para o elemento prata. Já a Figura 9 que representa a análise na célula policristalina apresentou picos de maior intensidade do elemento SiO (Óxido de Silício) e em menor intensidade do elemento Ag (Prata).

Outra observação que pode ser feita quando comparamos os dois gráficos de difratometria é o quanto o processamento pode interferir nas propriedades finais do produto. A célula monocristalina que é resfriada mais lentamente do que a célula policristalina tem tempo para que haja sua cristalização. Na do tipo policristalina fica claro o seu perfil amorfo com a desorganização dos picos existentes.

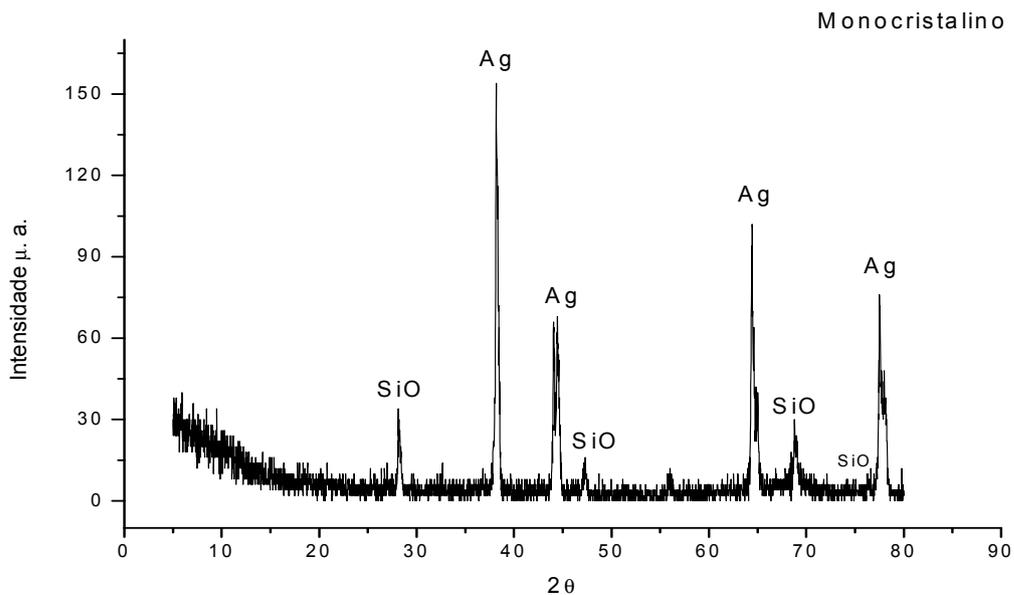


Figura 08: DRX da Célula Monocristana

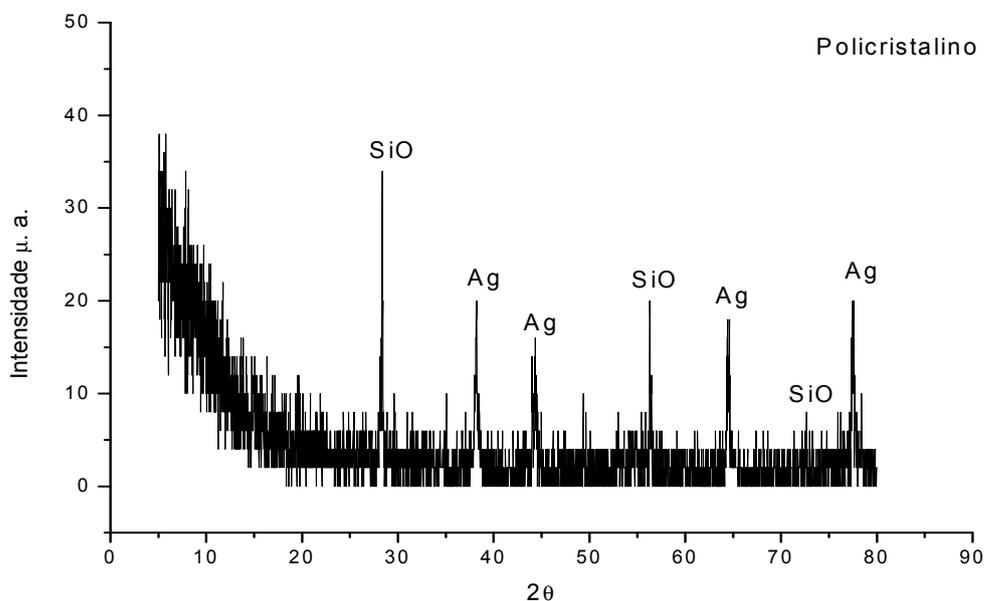


Figura 09: DRX da Célula Policristalina

5. CONCLUSÕES

Com a revisão e as análises realizadas percebe-se que a célula monocristalina apresenta um melhor resultado para transformação de energia solar em energia elétrica quando comparada a célula policristalina devido ao sua matéria-prima, processamento e arranjo interno. Porém, apresenta custos finais superiores a da célula do tipo policristalina.

6. REFERÊNCIAS

- [1]. Ruther, Ricardo, **Edifícios solares fotovoltaicos**, Editora: USFC, Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114p. Disponível em: <<http://www.fotovoltaica.ufsc.br/conteudo/paginas/6/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 20 de março de 2014.
- [2]. T. F. Paes; **Sistemas de Caracterização de Elementos Sensores para Radiômetros Fotovoltaicos**; Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE/LAS, Fevereiro/2012. Disponível em: <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.06.12.50?mirror=sid.inpe.br/mtc->

- m19@80/2009/08.21.17.02.53&metadatarpository=sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.06.12.50.30>. Acesso em: 20 de março de 2014.
- [3]. Ricardo Augusto Santos de Abreu, **Caracterização Elétrica de Células Solares de Tripla Junção – GaInP/GaAs/Ge**, Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp106266.pdf>>. Acesso em: 21 de março de 2014.
- [4]. Meirelles, Bernardo Radefeld. **Fabricação de celulares solares**, Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/vie/F809/F809_sem1_2002/991446-relatoriofianal.pdf>. Acesso em: 24 de março de 2014.
- [5]. **Desempenho de Painéis Solares Mono e Poli cristalinos em um Sistema de Bombeamento de Água**. Disponível em: <http://projetos.unioeste.br/pos/media/Dissertacao_Rosana_K_Niedzialkoski.pdf> Acesso em: 25 de março de 2014.
- [6]. Alves, Alceu Ferreira. **Desenvolvimento de um Sistema de Posicionamento Automático para Painéis Fotovoltaicos**. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0343.pdf>>. Acesso em: 29 de março de 2014.
- [7]. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel)/Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 1999. 204 p. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2014.

ABSTRACT

The quest for the preservation of the environment has placed increasingly clean energy alternatives and highlighted. One of the most studied energy in Brazil is the sun, that by virtue of a privileged geographical location of the country, a high incidence of sunlight coupled with a clean energy generation and silent. One of the main problems of solar energy is the low uptake on average only 30% of the sun's rays are converted into solar energy and the rest lost during the process. And one of the factors that affect this energy transformation is the material used to build the solar cell and this research is to evaluate

different materials to make the cell. To this end, the tests of scanning X-ray Diffraction (XRD) electron microscopy (SEM) and EDS will be realized.

Keywords: Solar Energy, Solar cell, XRD, SEM