

# CARACTERIZAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO ENCAPSULANTE COPOLÍMERO DE EVA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EM ZONAS CLIMÁTICAS DE MINAS GERAIS POR FTIR-ATR

**Michele Cândida Carvalho de Oliveira** – michelecandida2004@yahoo.com.br

**Vanessa de Freitas Cunha Lins** – vlins@deq.ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Química

**Marcelo Machado Viana** – marcelopuc.viana@yahoo.com.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais/ Departamento de Física e Química do Instituto de Ciências Exatas e Informática – ICEI

**Antônia Sonia Alves Cardoso Diniz** – asacd@pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais/Grupo de Estudos em Energia, Instituto Politécnico da PUC/Minas

**Resumo.** Os sistemas de conversão de energia solar estão sujeitos a uma série de intempéries que podem afetar sua estabilidade, eficiência e vida útil. Dentre essas intempéries destaca-se a fotodegradação dos encapsulantes de células solares por exposição à radiação ultravioleta (UV) e temperatura, levando os módulos a uma redução na eficiência de conversão fotovoltaica. A energia presente nesse tipo de radiação promove a quebra das cadeias poliméricas gerando radicais livres e um posterior processo de auto-oxidação, o que leva à degradação do encapsulante. A delaminação, corrosão e descoloração são os modos predominantes de degradação do módulo fotovoltaico. Neste trabalho a técnica Espectroscopia na Região do Infravermelho por Reflectância Total Atenuada (FTIR-ATR), mostrou-se eficiente para a caracterização da fotodegradação das amostras de encapsulantes de módulos fotovoltaicos de três fabricantes diferentes.

**Palavras-chave:** Degradação Módulo Fotovoltaico, Fotodegradação, Encapsulante.

## 1. INTRODUÇÃO

As necessidades energéticas globais têm aumentado, significativamente, nas últimas décadas e este aumento pode chegar a mais de 50% até o ano de 2030. Isto se deve principalmente à rápida industrialização e à ascensão dos países em desenvolvimento (Sharma e Chandel, 2013).

Atualmente, as necessidades energéticas são supridas em sua maior parte por fontes de energia convencionais, como carvão, gás e petróleo, que são explorados de forma insustentável, o que pode levar a um esgotamento das reservas mundiais de combustíveis fósseis num futuro próximo. O consumo em larga escala de combustíveis fósseis também é prejudicial ao meio ambiente. Assim, há uma necessidade de mudança das fontes de energia convencionais para as renováveis que são, ao mesmo tempo, sustentáveis e favoráveis ao meio ambiente. No entanto, atualmente as fontes de energia renováveis correspondem a uma parcela muito pequena do mercado de energia em todo o mundo (Sharma e Chandel, 2013).

Dentre as fontes de energias renováveis, se destaca a energia solar. A conversão da luz solar em eletricidade, por meio dos módulos fotovoltaicos é uma alternativa promissora de energia renovável, uma vez que a energia solar é abundante e disponível gratuitamente em todo o globo terrestre.

O módulo é o mais importante e caro componente de qualquer sistema fotovoltaico. A confiabilidade e a vida útil do módulo dependem dos diferentes tipos de degradação que o afetam, e que vão reduzindo sua potência de saída ao longo do tempo (Assunção, 2014).

A eletricidade gerada usando a tecnologia fotovoltaica só pode ser viável economicamente se os módulos fotovoltaicos operarem de forma confiável por 25 a 30 anos, sob condições ambientais (Sharma e Chandel, 2013). Há um grande número de módulos fotovoltaicos instalados ao redor do mundo. Apesar disto, não se sabe o suficiente sobre a confiabilidade desses módulos (Charki *et al.*, 2013).

Na literatura, diversos autores e seus colaboradores como: Assunção *et al.* (2014), Charki *et al.* (2013), Makrides *et al.* (2010), Ndiaye *et al.* (2013), e Sharma e Chandel (2013), dentre outros, mencionam a grande dificuldade de estudar as formas de degradação dos módulos fotovoltaicos em condições ambientes, ou seja, em condições reais. Isto porque o desempenho de um sistema fotovoltaico está diretamente ligado às condições ambientais e climáticas, como: irradiação solar, temperatura, umidade, penetração da água e intensidade da radiação ultravioleta (UV), enquanto fatores como falhas progressivas no mecanismo e degradação afetam o desempenho em longo prazo. Portanto, fazem-se necessários estudos sobre o tempo de vida e a confiabilidade de um sistema fotovoltaico. Sendo assim, a investigação deve ser mais focada na degradação dos módulos fotovoltaicos (Ndiaye *et al.*, 2013). Dentre estas degradações destaca-se a fotodegradação dos filmes poliméricos encapsulantes por exposição à radiação (UV), causando nos módulos uma redução da eficiência de conversão fotovoltaica (Carvalho, 2011).

O encapsulante é um material polimérico no qual será envolvida a célula fotovoltaica. É utilizado para proporcionar a adesão entre as células solares, proporcionando acoplamento óptico, proteção à célula fotovoltaica da

ação de agentes externos causadores de degradação. De todos os polímeros, o mais utilizado para uso fotovoltaico é o copolímero de etileno acetato de vinila (EVA). Ele tem demonstrado ser o que mais atende às propriedades necessárias de encapsulantes de módulos fotovoltaicos, dentre elas: baixo custo, boa adesão com diferentes materiais, baixo coeficiente de absorção de água e vapores úmidos, resistividade elétrica alta, baixa temperatura de reticulação e elevada transmissão óptica.

Os atuais encapsulantes do copolímero de EVA das células fotovoltaicas têm apresentado um amarelamento (*yellowing*) em função da fotodegradação sofrida, que é um processo que pode se iniciar poucos anos após a instalação do módulo fotovoltaico em campo. O fenômeno observado é a mudança da cor original do material (incolor), ocorrendo variação de cores do amarelo (*yellowing*) até o marrom (*browning*), passando na cor castanho-escuro (Ndiaye *et al.*, 2013). Os principais fatores relacionados à degradação do EVA são: a luz solar, em particular, a radiação UV, ciclos térmicos, presença de oxigênio, umidade e poluentes. Dos fatores citados, a radiação UV é a principal responsável pela degradação, que é capaz de quebrar as ligações poliméricas, reduzindo a incidência de luz nas células solares.

Com o objetivo de caracterizar e identificar os produtos das reações de fotodegradação que ocorrem no encapsulante o copolímero de (EVA) foi utilizada, neste trabalho, uma das principais técnicas de análise dessa fotodegradação a Espectroscopia na Região do Infravermelho por Reflectância Total Atenuada (FTIR- ATR).

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram coletadas amostras de encapsulantes do copolímero de etileno de acetato de vinila (EVA), de três módulos fotovoltaicos de silício policristalino que estavam em campo por cerca de 20 anos. O ensaio é destrutivo, ou seja, os módulos tiveram que ser quebrados para retirada do EVA para análise. Para preservar os fabricantes dos encapsulantes envolvidos neste trabalho, estas serão denominadas: Fabricante A, B e C. Uma amostra comercial do copolímero de etileno de acetato de vinila (EVA), usada em módulos fotovoltaicos, foi fornecida pelo PRL (*Photovoltaic Reliability Laboratory*), da *Arizona State University*. Tal amostra foi usada para efeito de comparação, sendo nomeada de EVA puro.

O módulo fotovoltaico do Fabricante C apresentava escurecimento (amarelamento) do encapsulante. Os outros módulos aparentemente não estavam degradados.

Os espectros de infravermelho com transformada de Fourier por Reflectância Total Atenuada (*FTIR-ATR*) foram obtidos no equipamento da marca: Bruker, modelo: Alpha e método Diamond com uma faixa de varredura de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Através dessa técnica, a fotodegradação do EVA pode ser estudada pela obtenção do índice carbonílico (*IC*) através da comparação entre as razões das intensidades das bandas de absorção associadas a modos vibracionais de grupos funcionais, com a banda de referência em 2850  $\text{cm}^{-1}$  (Jin *et al.*, 2010). Essa banda de referência é característica da deformação do modo vibracional do tipo *rocking* em plano do metileno ( $-\text{CH}_2-$ ) que é tida como um padrão interno em relação às outras bandas para compensar as diferenças de sinais. Essa banda é utilizada para normalizar as diferenças de sinais que ocorrem devido a fatores de superfície, como o ângulo de contato com o feixe de luz incidente no FTIR e as variações na espessura das amostras (Jin *et al.*, 2010; CARVALHO, 2011).

O índice dado pelas Eq. (1) e Eq. (2), foi determinado a partir das razões entre o valor de absorbância (*A*) do modo vibracional de estiramento do grupo carbonil cetona em 1715  $\text{cm}^{-1}$  e da lactona em 1735  $\text{cm}^{-1}$  (Jones *et al.*, 1959) e o modo vibracional simétrico de estiramento do metileno ( $-\text{CH}_2-$ ) em 2850  $\text{cm}^{-1}$ .

$$IC = \frac{A_{1715}(\text{carbonil cetona})}{A_{2850}(\text{metileno})} \quad (1)$$

$$IC = \frac{A_{1735}(\text{lactona})}{A_{2850}(\text{metileno})} \quad (2)$$

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O copolímero de EVA, representado na Fig. 1, pode apresentar em sua estrutura blocos de vinte ou mais etilenos e diversas unidades do acetato de vinila (VA) podem ser formadas. Sendo assim, conforme Carvalho (2011), os mecanismos da degradação podem envolver as mesmas seqüências para o polietileno e o poliacetato de vinila.

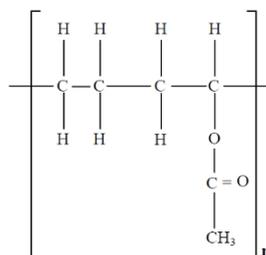


Figura 1– Unidade estrutural de repetição do copolímero EVA.

A radiação (UV) provoca reações de quebra de cadeia polimérica do encapsulante copolímero de EVA conduzindo à formação dos cromóforos, que podem aumentar drasticamente a absorção na escala espectral na faixa do ultravioleta ou visível ou em ambos, proporcionado ainda mais o aumento da fotodegradação. O início de reações de degradação pode ocorrer por diferentes maneiras. Uma dessas maneiras é através da quebra aleatória da extremidade da cadeia, dando forma a radicais livres. Uma série de reações de propagação então acontece, onde ligações olefinicas são geradas. Em presença de oxigênio a degradação foto-oxidativa é o processo de degradação mais presente, no qual o mecanismo envolve ciclos de auto-oxidação. A etapa da iniciação ocorre a partir da reação com  $O_2$  na presença de  $H_2O$  para formar radicais e hidroperóxidos, ou formar  $RO_2^*$  (onde R é a cadeia carbônica) em etapas da propagação por reações com os radicais. Uma reação de adição do  $RO_2^*$  com uma ligação olefinica pode produzir um radical que conduza a reações de quebra de cadeia e formação de ligações cruzadas. As etapas de terminação da cadeia envolvem a eliminação de radicais livres para formar produtos. À exceção das reações de ligações cruzadas, os produtos apresentam massa molecular menor do que o da cadeia original, com ou sem o  $O_2$  em sua composição (Cristofoli, 2012; Carvalho, 2011; Jin *et al.*, 2010; Santos, 2008; Dalmolin, 2007; Fehine *et al.*, 2004).

Os radicais peróxidos ( $ROO^*$ ) reagem novamente com o polímero gerando hidroperóxidos ( $ROOH$ ) e outro radical alquil ( $R^*$ ). Os hidroperóxidos são compostos instáveis e se decompõe facilmente, dando sequência às reações de oxidação. Na Fig. 2 tem-se uma reação de hidroperóxido para o EVA em uma baixa concentração de água, levando à formação de cetona (Jin *et al.*, 2010).

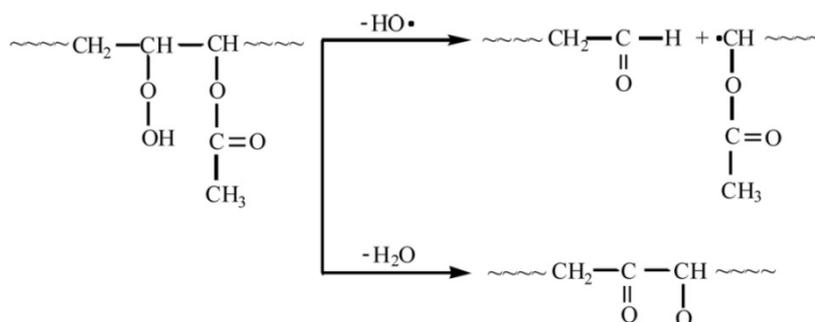


Figura 2– Reação de Hidroperóxido.  
Fonte: Jin *et al* (2010).

O mecanismo de degradação do EVA foi analisado através das bandas correspondentes aos grupos químicos presentes e também através do índice de grupos carbonílicos ( $IC$ ). O  $IC$  foi determinado para se obter uma comparação quantitativa dos grupos funcionais do copolímero EVA: puro e aqueles presentes nas amostras nos módulos fotovoltaicos dos Fabricantes: A, B e C.

A Tab. 1 apresenta os valores obtidos do índice de grupos carbonílicos: carbonil cetona e lactona, de acordo com o fabricante de cada um dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 1– Valores médios de  $IC$  para amostras do copolímero de EVA.

COPOLÍMERO EVA	$A_{1735}/A_{2850}$	$A_{1715}/A_{2850}$
<b>PURO</b>	0,0124	0,0125
<b>Fabricante A</b>	0,0112	0,0107
<b>Fabricante B</b>	0,0147	0,0148
<b>Fabricante C</b>	0,0143	0,0149

Os maiores índices carbonílicos ( $IC$ ) estão presentes nos encapsulantes presentes nos módulos dos Fabricantes B e C, e o resultado está de acordo com o aspecto degradado apresentado por este módulo fotovoltaico. O amarelamento do copolímero de EVA ocorre devido à sua degradação (Ndiaye *et al.*, 2013).

O encapsulante presente no módulo do Fabricante B e C apresentou um valor maior do índice de carbonila que o EVA puro, indicando que houve uma maior degradação.

O encapsulante presente no módulo do Fabricante A apresentou um valor para *IC* menor que o EVA puro, o que pode ser atribuído à presença dos absorvedores de luz (Carvalho, 2007).

Nos espectros de Infravermelho por FTIR-ATR, Fig. 3, as bandas de absorção características dos grupos de EVA foram as mesmas percebidas por Carvalho (2011), Liu e colaboradores (2011) e também Jin e seus colaboradores (2010). A banda em  $1737\text{ cm}^{-1}$  é atribuída à vibração de estiramento do grupo carbonila éster, as bandas em  $1242\text{ cm}^{-1}$  e em  $1021\text{ cm}^{-1}$  são devidas à vibração de estiramento assimétrico de C–O–C (Carvalho, 2011). Outras bandas de absorção, tal como  $1465\text{ cm}^{-1}$  (quebra da vibração de  $-\text{CH}_2-$ ),  $1371\text{ cm}^{-1}$  (C–H dobra simétrica da vibração de  $-\text{CH}_3$ ), e  $722\text{ cm}^{-1}$  característico do modo *rocking* interno da vibração de  $-\text{CH}_2-$  (Shi *et al*, 2009) também apareceram demonstrando a quebra de segmentos da cadeia de poliacetato de vinila.

A Fig. 3 apresenta os espectros de infravermelho FTIR ATR obtidos para as amostras de EVA.

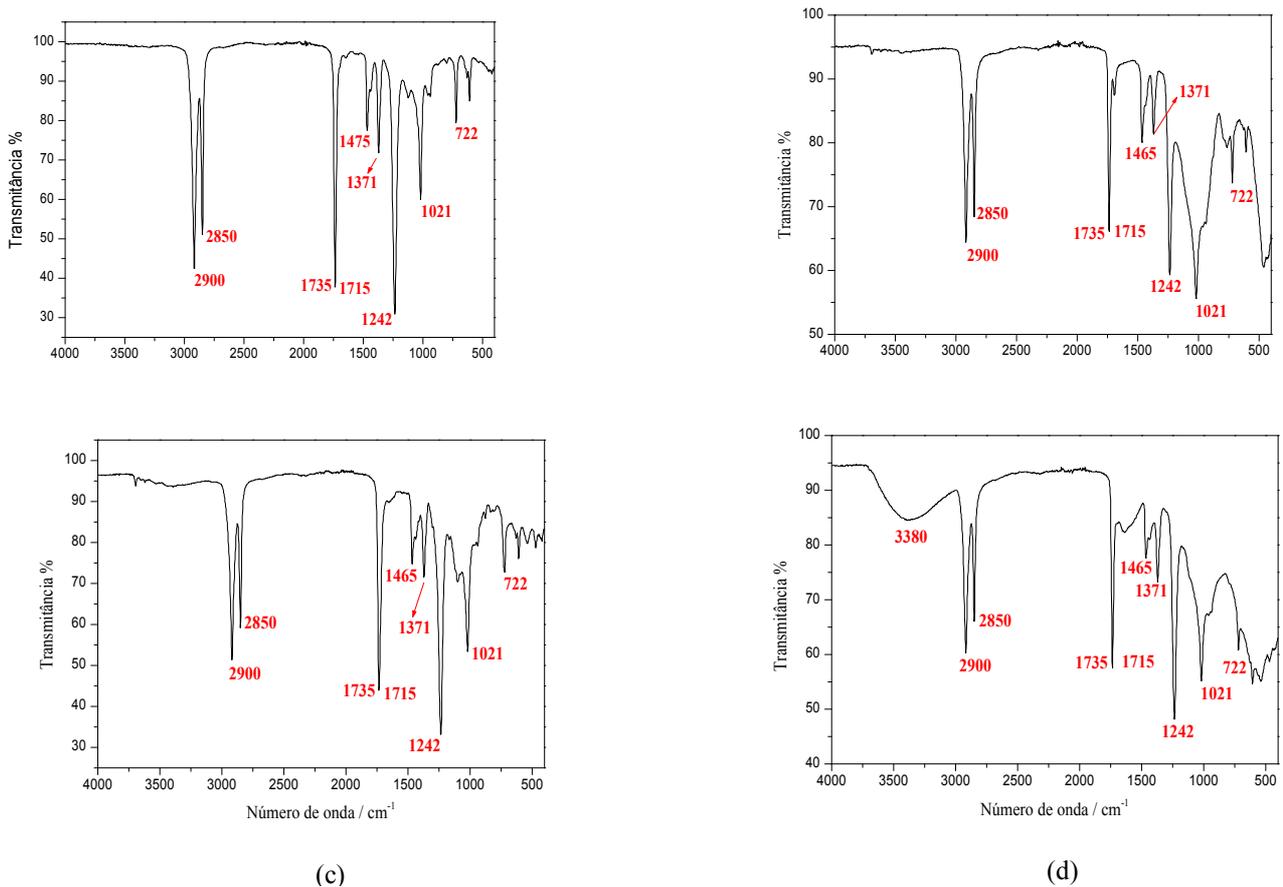


Figura 3– Espectros FTIR ATR do encapsulante Copolímero de EVA:(a) PURO; (b) Fabricante A; (c) Fabricante B e (d) Fabricante C.

É importante destacar que parte das diferenças observadas nos espectros FTIR pode estar associada também, ao fato de o EVA dos módulos dos diferentes fabricantes já ter originalmente diferenças em sua composição, de forma que, mesmo que os módulos fossem novos (sem degradação), uma diferença já apareceria. Tal diferença pode estar relacionada aos absorvedores de luz (Carvalho, 2007).

A reação de degradação do copolímero EVA do tipo Norrish I produz o acetaldeído e outros gases como, por exemplo, CO (monóxido de carbono), CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e CH<sub>4</sub> (Metano), Fig. 4 e Fig. 5.

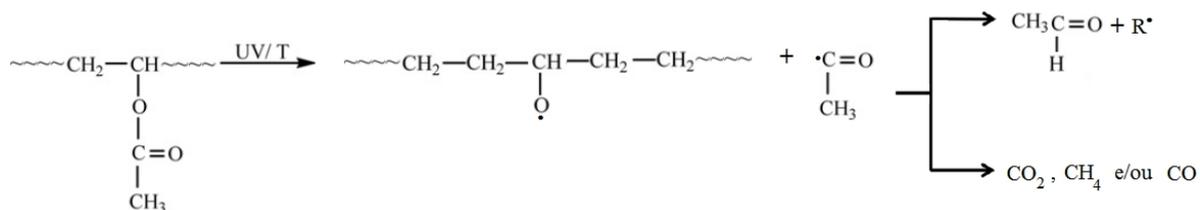


Figura 4– Reação Norrish I do EVA.  
Fonte: Adaptado-Carvalho (2011).

A fotodegradação do EVA inicia-se a partir da formação de ácido acético e ligações duplas na cadeia principal. Dentre os principais produtos de reações de degradação encontram-se as lactonas, formadas por *back-biting* intramolecular pelo grupo de etanoato além de metano, cetonas e acetaldeído (Jin *et al*, 2010; Kempe *et al*, 2007; Carvalho, 2011). Além disso, grupos de carbonila  $\alpha$ ,  $\beta$ -insaturados, hidroperóxidos e anidridos são formados durante o processo de oxidação (Carvalho, 2011).

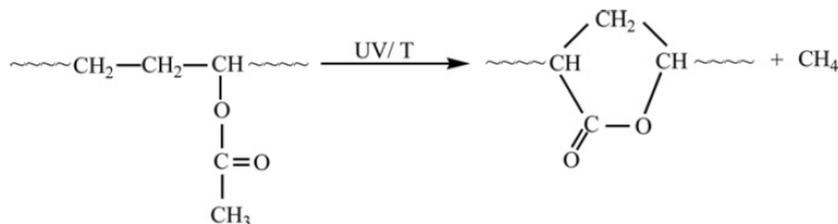


Figura 5– Reação de Degradação do EVA com a formação da Lactona e Metano. Fonte: JIN *et al* (2010).

Nas Fig. 6 e Fig. 7 estão representadas as equações das reações de Norrish II e Norrish III. A reação do tipo Norrish II para produz o ácido acético e polienos, Fig. 6.

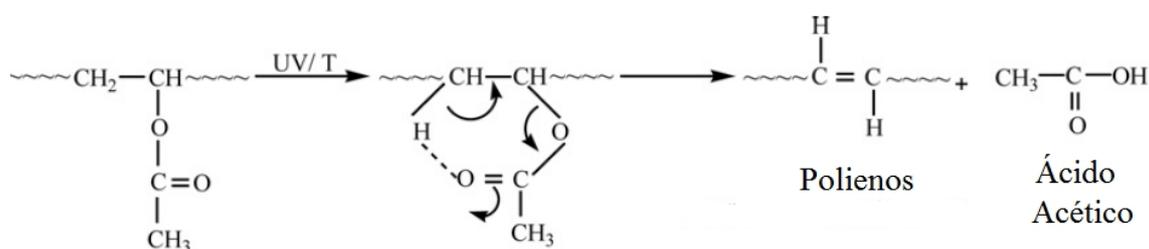


Figura 6– Reação Norrish II do EVA – desacetilação. Fonte: Jin *et al* (2010).

Segundo Kempe e seus colaboradores (2007), sob exposição à água e/ou radiação UV, o EVA decompõe produzindo polienos e ácido acético, na reação de Norrish II, que irá diminuir o pH e, geralmente, aumenta as taxas de degradação da superfície. O ácido acético pode conduzir à corrosão partes metálicas (contatos metálicos frontal e traseiro das células e barras de conexão entre as células) no interior do módulo fotovoltaico e perder a adesão com subsequente delaminação da multicamada de encapsulamento. A delaminação consiste na perda de aderência ou separação entre as diferentes camadas do módulo fotovoltaico e, neste caso, sugere que ocorra entre o EVA e a célula. Isto pode causar problemas como aumento da reflexão, maior penetração de água, perda da potência de saída e riscos elétricos nos módulos e na instalação como um todo (Assunção, 2014).

Entre as bandas 3300 a 2500  $\text{cm}^{-1}$ , região de estiramento axial, bandas fortes nesta região é característica de hidroxila presente em ácidos carboxílicos. Já as bandas fracas na região de 3300 a 2500  $\text{cm}^{-1}$  podem indicar o estiramento axial da ligação  $\text{---CH}$  do grupo formila de aldeídos. As bandas fortes em torno de 2900  $\text{cm}^{-1}$ , presente em todos os espectros, são decorrentes da presença do estiramento C–H. O ácido acético e aldeído são os dois produtos principais que podem provocar o amarelamento do encapsulante, tendendo a tons amarelo-escuros e amarronzados (Carvalho, 2011). O módulo fotovoltaico do Fabricante C apresentou banda característica de hidroxila do grupo carboxílico, evidenciando a presença do ácido acético, o que justifica a ocorrência do amarelamento.

A reação de Norrish III leva a formação de Cetona e Aldeído Fig. 7. A banda em 1715  $\text{cm}^{-1}$  é característica do modo vibracional de estiramento do C=O, derivada da rápida reação de criação de estruturas cetônicas através de reações de fotólise do tipo Norrish III.

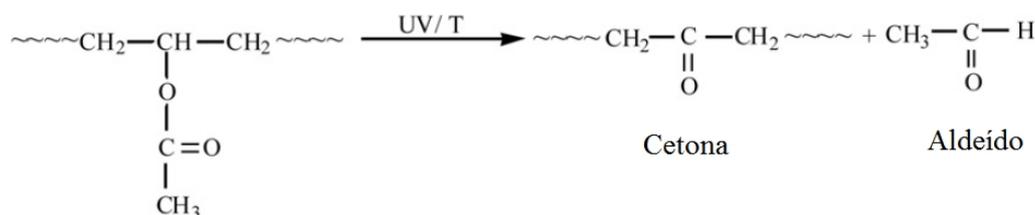


Figura 7– Reação Norrish III do EVA – Formação de Cetona e Aldeído. Fonte: Jin *et al* (2010).

Os produtos gerados na degradação térmica e radiação UV são semelhantes, no entanto, há diferença na quantidade de ácidos gerados, que é maior no processo de foto-oxidação.

Segundo Carvalho (2011), a maior preocupação que se deve ter ao utilizar o copolímero EVA como encapsulante é a formação de ácido acético, lactonas e cetonas durante a foto-oxidação. Sendo assim, é de fundamental importância promover mecanismos de estabilização do EVA, enquanto encapsulante de módulos fotovoltaicos.

#### 4. CONCLUSÕES

A técnica de *FTIR-ATR* demonstrou ser um instrumento eficaz na determinação do grau de fotodegradação do encapsulante copolímero de EVA e sua relação com o amarelamento dos filmes expostos à radiação ultravioleta e ao intemperismo. Esta técnica permitiu caracterizar a degradação através da identificação dos grupos funcionais, tais como, carbonilas, carboxilas e dentre outros, que são produtos de reações características do processo de degradação por radiação (UV). Os valores encontrados pelo IC confirmaram a degradação sofrida pelo EVA.

É interessante observar que produtos da fotodegradação do EVA, causados pela radiação (UV) como por exemplo, o ácido acético, além de contribuir para sua descoloração, pode contribuir para a corrosão dos módulos fotovoltaicos, devido a uma diminuição de pH. Isto conduz a corrosão das partes metálicas das conexões elétricas internas do módulo fotovoltaico, podendo provocar uma outra forma de degradação que é a delaminação.

Logo, é fundamental o desenvolvimento de novos encapsulantes e/ou estabilizantes para atuarem de maneira eficiente contra a degradação causada pela radiação UV, objetivando o aumento da durabilidade dos módulos fotovoltaicos. É importante destacar que os estabilizantes para o EVA são considerados segredo industrial pelos fabricantes e não são publicados.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à CAPES pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- ASSUNÇÃO, Hélio Delgado. **Degradação De Módulos Fotovoltaicos de Silício Cristalino Instalados no DEE – UFC**. 2014. Monografia de Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Ceará - Centro De Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica. Fortaleza, 2014.
- CARVALHO, Igor Alessandro Silva. **Estabilização contra fotodegradação do co-polímero EVA por adição de nanopartículas de  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ /quartzo irradiado com raios gama para uso fotovoltaico**. 2011. Tese de Doutorado em Engenharia de Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Rede Temática em Engenharia de Materiais (REDEMAT) UFOP – CETEC – UEMG. 2011.
- CARVALHO, Igor Alessandro Silva. **Preparação e estudo da fotodegradação de compósitos de matriz polimérica para encapsulamento de módulo fotovoltaico**. 2007. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Rede Temática em Engenharia de Materiais (REDEMAT) UFOP – CETEC – UEMG. 2007.
- CHARKI, A.; LARONDE, R.; BIGAUD, D. Accelerated degradation testing of a photovoltaic module. **Journal of Photonics for Energy**, v.3, n. 1, 2013.
- CRISTOFOLI, K. **Preparação e Caracterização de Filmes de PEBD Aditivados com Fotoestabilizantes para a Proteção de Espuma Rose**. 2012. Dissertação para obtenção de título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais. Programa de Pós-Graduação em Materiais. Universidade de Caxias do Sul (UCS). Caxias do Sul, 2012.
- DALMOLIN, E. **Avaliação da Degradação de Polietilenos contendo Aditivo Pró-Degradante**. 2007. Dissertação para obtenção de título de Mestre em Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM – UFRGS. Porto Alegre, 2007.
- FECHINE G. J. M.; RABELLO M. S.; SOUTO MAYOR R. M.; CATALANI L. H. Surface characterization of photodegraded poly(ethylene terephthalate). The effect of ultraviolet absorbers, **Polymer**, n. 45, p. 2303-2308. 2004.
- JIN J., CHEN S., ZHANG J. UV aging behaviour of ethylene-vinyl acetate copolymers (EVA) with different vinyl acetate contents. **Polymer Degradation and Stability**, v. 95, p. 725–732, 2010.
- JONES, R. N., ANGELL C. L.; ITO, T.; SMITH, R. J. D. The Carbonyl Stretching bands in the Infrared Spectra of Unsaturated Lactones. **Canadian Journal of Chemistry**. v. 37, p. 2007–2022, 1959.
- KEMPE, M. D.; JORGENSEN, G. J.; TERWILLIGER, K. M. ; MCMAHON, T. J.; KENNEDY, C.E. ; BOREK, T. T. Acetic acid production and glass transition concerns with ethylene-vinyl acetate used in photovoltaic devices. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 91, p. 315–329, 2007.
- LIU, Z.; JIN, J.; CHEN, SHUANGJUN, C.; ZHANG, J. Effect of crystal form and particle size of titanium dioxide on

- the photodegradation behavior of ethylene-vinyl acetate copolymer/low density polyethylene composite. **Polymer Degradation and Stability**, n.96, p. 43-50, 2010
- MAKRIDES, G.; ZINSSER, B.; NORTON, M.; G.E. GEORGHIOU, M.; SCHUBERT, J.H. Werner Potential of photovoltaic systems in countries with high solar irradiation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 754–762, 2010.
- NDIAYE, A; CHARKI, A; KOBİ, A; KÉBÉ, C. M. F ; NDIAYE P. A; SAMBOU, V. Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review. **Solar Energy**, v. 96, p.140–151, 2013.
- SANTOS, L.C. **Fotodegradação de Polímeros Solúveis em Água e Moléculas Modelo via Processos Oxidativos Avançados**. Tese para a obtenção do título de Doutora em Ciências. Universidade de São Paulo. Instituto de Química de São Carlos. 2008.
- SHARMA, V. ; CHANDEL S.S. Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p.753–767, 2013.
- SHI, X. M.; ZHANG, J.; LI, D. R.; CHEN, S. J. Effect of damp-heat aging on the structures and properties of ethylene-vinyl acetate copolymers with different vinyl acetate contents. **Journal of Applied Polymer Science**, n.12, p. 2358-2365, 2009.

#### CHARACTERIZATION OF ENCAPSULANT EVA COPOLYMER DEGRADATION OF PV MODULES INSTALLED IN CLIMATIC ZONES OF MINAS GERAIS BY FTIR-ATR

**Abstract.** *The solar energy conversion systems are subject to a number of weather conditions that may affect its stability, efficiency and service life. One of these storms is the photodegradation of Encapsulants of solar cells by exposure to ultraviolet (UV) radiation and temperature, leading to a reduction in modules in the photovoltaic conversion efficiency. The energy present in this type of radiation promotes the breakdown of polymeric chains by generating free radicals and a later auto-oxidation process, which leads to the degradation of the encapsulant. The delamination, corrosion and discoloration are the predominant modes of degradation of the photovoltaic module. In this work the technique of Infrared Spectroscopy by Attenuated Total Reflectance (ATR-FTIR), proved efficient for the characterization of photodegradation of photovoltaic Encapsulants samples from three different manufacturers.*

**Key words:** *Photovoltaic Module Degradation, Photodegradation, Encapsulant.*