

# CURA POR FEIXE DE ELÉTRONS (EB)

*Paulo Roberto Rela*

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

## RESUMO

A tecnologia de cura por radiação UV/EB vem sendo cada vez mais utilizada em formulações empregadas em vários segmentos do mercado, incluindo artes gráficas, revestimentos industriais e adesivos. Nesta tecnologia, luz ultravioleta (UV) ou feixe de elétrons (*electron beam, EB*) de baixa energia são utilizados para curar ou “secar” sistemas líquidos isentos de solventes orgânicos, ou seja, sem a emissão de voláteis. Excelentes características como dureza e brilho podem ser conferidas ao produto com níveis baixos de exposição à radiação, permitindo ao processo elevada capacidade de produção. As vantagens ecológicas, a economia de energia, a qualidade superior do produto final e a aplicabilidade em substratos sensíveis ao processo térmico ampliam a utilização e a competitividade da cura por radiação quando comparadas aos processos convencionais.

A utilização do feixe de elétrons permite um volume de produção superior ao do processo de cura com luz ultravioleta e não enfrenta dificuldades relacionadas à cor e à espessura da camada do revestimento. Entretanto requer um custo de investimento de capital maior. Assim sendo, para se tornar economicamente competitivo, o processo de cura por feixe de elétrons é indicado para grandes volumes de produção.

## ABSTRACT

### CURING BY ELECTRON BEAM (EB)

UV/EB irradiation curing technology is a widely accepted in industry, for different segments of activities including graphic arts, industrial coatings and adhesives. In these technologies, ultraviolet or electron beam radiation are used to cure or “dry” liquid systems, like inks, paints and coatings, without VOCs emission. Excellent performance properties, like hardness, gloss can be achieved at relatively low dose levels of irradiation exposure, allowing high production throughput. The environmental advantages, the energy saving, the product quality improvement and the ability to be used on thermally sensitive substrates, enlarge the radiation curing process applications and competitiveness when compared to conventional curing processes. The use of electron beam offer higher throughput capacity than the UV process without restrictions on color and coating layer thickness. However, it requires a higher capital investment. Although require a higher capital investment and to become economically competitive must be attained to high volume production.

## INTRODUÇÃO

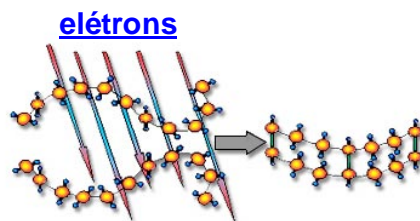
O processo de cura por radiação associa o uso de feixe de elétrons (EB-abreviação do inglês de “Electron Beam”), luz ultravioleta (UV) ou luz no espectro visível para polimerizar uma combinação de monômeros e oligômeros sobre um substrato. As fontes de energia para luz UV ou visível são tipicamente lâmpadas de média pressão de mercúrio, lâmpadas pulsadas de xenônio ou lasers. Os revestimentos curados com estas fontes de luzes são normalmente claros ou translúcidos, revestimentos de pequena espessura também são possíveis de serem curados. Os feixe de elétrons são gerados em equipamentos eletro-eletrônicos que geram e aceleram elétrons com uma energia suficiente para interagir em toda a extensão e profundidade da camada do revestimento, sendo capaz de curar camadas grossas de revestimentos pigmentados. Diferentemente dos fótons de luz que tendem a serem absorvidos na superfície do material utilizado no revestimento, os elétrons acelerados tem a

habilidade de penetrar através deste material, garantindo a interação ao longo de toda a espessura da camada do revestimento.

## PROCESSO DE CURA POR FEIXE DE ELÉTRONS

Os feixes de elétrons produzidos em aceleradores de elétrons, interagem com os produtos, transferindo suas energias através de colisões com os elétrons das órbitas dos átomos que constituem os produtos. Estas interações, ilustradas na Figura 1, provocam a excitação destes elétrons para um nível de energia superior ou arrancam completamente os elétrons de suas órbitas, com energia suficiente para colidir com elétrons orbitais de outros átomos. Este processo complexo provoca a produção de grande quantidade de átomos excitados ou de átomos ou grupo de átomos eletricamente carregados, conhecidos como íons. Os produtos da ionização: íons, elétrons secundários, átomos e moléculas excitados irão também perder ou transferir sua energia para os átomos a sua volta que constituem o produto de modo a re-estabelecer um equilíbrio.

Como resultado deste complexo processo de transferência de energia, alguns destes elétrons são capturados por íons positivos aumentando o estado de excitação levando a sua dissociação com a mudança para outro tipo de produto. Os materiais de revestimentos utilizados no processo de cura por EB fazem uso da capacidade de polimerização dos monômeros e oligômeros acrílicos, onde a dupla ligação dos acrílicos se abrem durante a interação com os elétrons (início) formando radicais livres que atuam sobre outros monômeros formando uma cadeia (propagação) com características de polímero de elevado peso molecular. A Figura 1 apresenta ilustração do processo.



**Figura 1** – Ilustração do processo de polimerização por EB

Neste processo pode ser notado que polimerização induzida pelo feixe de elétrons não requer solventes ou outros produtos com o propósito de atuarem como iniciadores. Entretanto radicais de oxigênio presentes que podem atuar como seqüestradores (“scavengers”) devem ser eliminados da vizinhança das moléculas para prevenir que removam os radicais alquil que são cruciais para a rápida iniciação do processo de polimerização<sup>(1)</sup>. Caso contrário, o processo para indução da polimerização seria mais demorado requerendo maior quantidade de radiação, reduzindo a velocidade de processamento e em alguns casos esta quantidade de radiação poderia causar efeito deletério em alguns dos constituintes da tinta, principalmente os pigmentos. A purga de gás inerte como o nitrogênio, formando uma atmosfera controlada, é eficiente na eliminação deste problema.

Por trabalhar com radiação ionizante, o processo EB pode causar um certo ceticismo para o público em geral de que o material exposto a radiação pode-se tornar radioativo, porém neste caso, a faixa de energia utilizada de 80 keV a 300 keV, não é suficiente para induzir radiação aos produtos.

## PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO PROCESSO

A cura por EB é definida em função do nível do tratamento/ benefício desejado que depende da quantidade de energia a ser depositada ou transferida ao produto ou a dose de irradiação absorvida pelo produto, que é definida como a quantidade de energia depositada em uma determinada massa de produto. A unidade de dose absorvida no sistema internacional é o Gray que corresponde a energia de um Joule transferida pela radiação incidente (elétrons) em uma massa de um quilograma do produto:  $Gy = \text{Joule/kg}$ .

Uma vez que o material utilizado no processo de cura por EB não utiliza fotoiniciadores é necessário que a interação do feixe de elétrons ocorra em todo o volume da camada de revestimento e durante o processamento deve-se garantir que a energia dos elétrons incidentes tenha um poder de penetração superior a espessura da camada de revestimento. Para um material de revestimento com densidade próxima de 1g/cc a energia de aceleração do feixe de elétrons e o correspondente poder de penetração é apresentado na Tabela A

**Tabela A:** Poder de penetração do feixe de elétrons em função da energia de aceleração

Voltagem de aceleração (kV)	Penetração (microns)
150	100
175	150
200	250
300	500

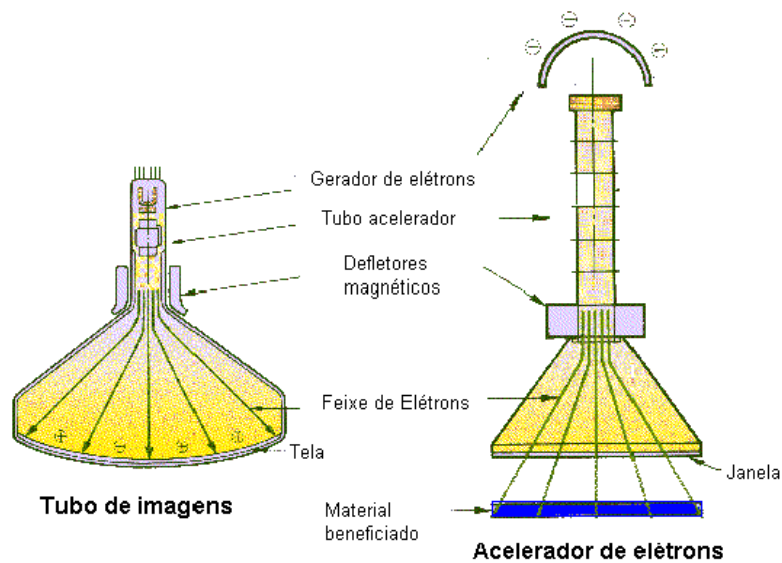
A quantidade de radiação (dose) a ser absorvida pelo material de revestimento para ocasionar a cura, está relacionada com a sua aplicação e as velocidades de processamento com a potência do acelerador de elétrons. A Tabela B apresenta valores usuais para diferentes tipos de aplicação e as velocidade que podem ser processadas.

**Tabela B :** Doses de radiação para diferentes aplicações de cura de revestimento por EB

Dose(kGy)	Velocidade (m/min)	Aplicação
20-30	0-600	silicone
25-35	0-600	impressão
55-65	0-600	adesivos

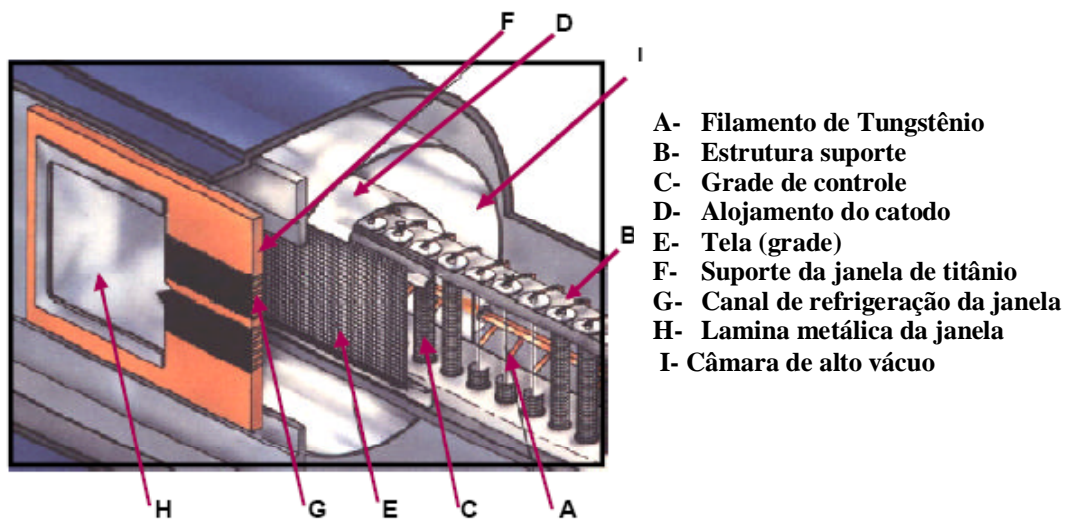
## ACELERADORES DE ELÉTRONS

Os elétrons agrupados em feixes, são produzidos em equipamentos que se assemelham a um tubo de televisão onde os elétrons são gerados por efeito termoelétrico e acelerados no vácuo em um campo elétrico de alta intensidade até atingir o alvo/produto. A televisão tem a intensidade do campo elétrico da ordem de 25.000 volts e nos aceleradores industriais o campo elétrico pode chegar até 10.000.000 volts. Os valores elevados do campo elétrico dos aceleradores, responsáveis pela energia adquirida pelos elétrons faz com que atravessem uma janela metálica com espessura da ordem de 50 microns e interajam com o material a ser processado. A Figura 2 ilustra o princípio de funcionamento de um acelerador de elétrons.

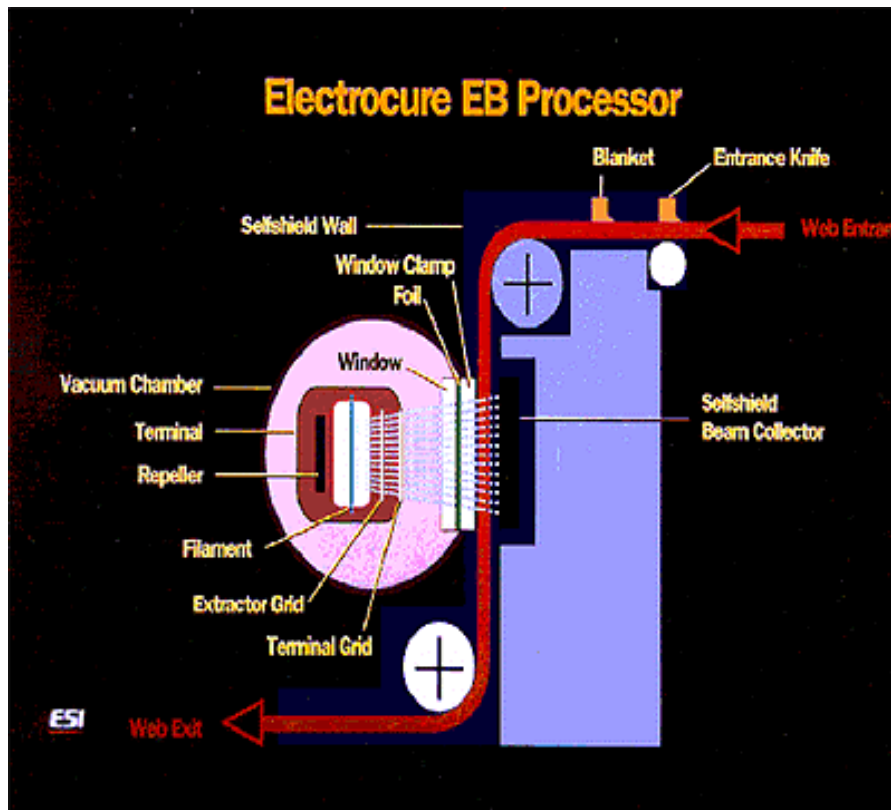


**Figura 2** : Ilustração do princípio de funcionamento de acelerador de elétrons

Para aplicação em processos de cura são utilizados aceleradores com energia de aceleração na faixa de 80 a 300kV .Para esta aplicação a configuração mais econômica e de melhor geometria é a do acelerador de elétrons tipo cortina auto-blindado, mostrado na Figura 3. Este acelerador é constituído de vários tubos aceleradores montados em série, permitindo processar produtos com largura de até 3metros. O arranjo do acelerador acoplado com o sistema de bobinas de transporte é apresentado na Figura 4.



**Figura 3-** Vista transversal do tubo de um acelerador de elétrons tipo cortina (ilustração da empresa Broadbeam Equipment-USA).



**Figura 4** : Sistema de cura por EB ( Ilustração da empresa Energy Science Inc. –USA)

Com relação ao aspecto de segurança, nos últimos anos foram promulgadas leis e regulamentos que regem com bastante rigor as operações dos aceleradores de elétrons. Estes tipos de instalações devem ser aprovadas pelas autoridades governamentais antes da sua construção, estão sujeitas a inspeções periódicas, auditorias e outros controles para garantir sua operação segura e apropriada. No Brasil deve ser licenciada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN.

Os controles e os sistemas de segurança dos aceleradores de elétrons, principalmente os industriais, são focalizados nos operadores da máquina, de modo a evitar que abram a câmara de irradiação quando os aceleradores estiverem com a alta tensão ligada. Do lado externo, a blindagem da câmara de irradiação é eficiente não aumentando o nível natural de radiação.

### **COMPETITIVIDADE DO PROCESSO DE CURA POR EB**

Os processos de cura por radiação UV e EB são normalmente comparados pelas indústrias como tecnologias concorrentes, porém quando se observa que o EB: promove a reticulação melhorando a resistência mecânica e química, não deixa fragmentos de fotoiniciadores, não tem limitação quanto a espessura da camada do revestimento, tem velocidade superior de cura e não é sensível a cor do revestimento, verifica-se que é uma tecnologia alternativa a ser utilizada havendo necessidade de produtos com qualidade superior<sup>(2)</sup>. Apesar do custo do investimento inicial do EB ser superior ao do processo por UV, para grandes volumes de produção este processo é competitivo devido a economia de energia, velocidade e capacidade de produção e economia na formulação do material de revestimento.

Vantagens a serem consideradas na seleção da cura por EB<sup>(3)</sup>

- Velocidade elevada de produção (incremento na produtividade e redução de custos)
- Melhora nas propriedades do produto final
- Em conformidade com a preservação do meio ambiente ( menos resíduos e ausência de VOCs)
- Tecnologia disponível
- Espaço reduzido
- Menor gasto de energia

Limitações a serem consideradas na seleção da cura por EB:

- Custo elevado do investimento inicial (variando de U\$300,000 a U\$600,000 conforme a sua energia e capacidade de processamento)
- Resistência do usuário ( receio por mudança)
- Falta de conhecimento da técnica.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1- J.F. Wishart; D.G. Nocera (eds.). Photochemistry and Radiation Chemistry, American Chemical Society, Washington, DC, 1998.

2- C.S.B. Ruiz, L.D.B. Machado; Accelerated weathering of UV/EB curable clearcoats ; Nuclear Instruments and Methods in Physics Res. B236(2005) 599-605

3- G. Cohen – North America Market Update-International Market Overview Session- Radtech; May 2002 ,