



## INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA MOSTRA ENERGIA BRASIL

**Benedito Antonio Luciano** – benedito@dee.ufcg.edu.br  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Centro de Ciências e Tecnologia - CCT,  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE  
Caixa Postal 10105  
58 109 970 – Campina Grande - PB

***Resumo:** Neste trabalho são apresentados, de forma sintética, os produtos e serviços exibidos na Mostra Energia Brasil como inovações tecnológicas voltadas especificamente para as micros, pequenas e médias empresas. Esses produtos e serviços foram divulgados em 10 Mostras, realizadas em diversas capitais de estados brasileiros, entre outubro de 2001 e dezembro de 2002. Adicionalmente, é apresentado, de forma mais detalhada, o desenvolvimento do produto transformador com núcleo de liga amorfa, resultante da parceria entre a Universidade Federal da Paraíba e a CEMEC, empresa brasileira fabricante de transformadores, localizada em Fortaleza.*

***Palavras-chave:** Inovações tecnológicas, Energia, Transformadores, Liga amorfa.*

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos duzentos anos, o crescimento populacional tem se dado de forma exponencial. Atualmente, de acordo com HAWKING (2001), a taxa anual de crescimento é de cerca de 1,9%, ou seja, a população mundial praticamente dobra a cada quarenta anos. Associada a esse crescimento demográfico está a demanda por energia, nas suas mais variadas formas. Segundo pesquisa realizada pela ALLIANCE TO SAVE ENERGY (2002), a expectativa é que nos próximos 20 anos a demanda por energia aumente em cerca de 60%, o que torna imprescindível o desenvolvimento de produtos e processos que utilizem, com parcimônia, os materiais e as energias da Natureza.

Em face desse cenário, e motivados pela crise no abastecimento de energia elétrica que atingiu o Brasil no início do ano de 2001, o MCT e a FINEP procederam a uma “chamada” para identificar produtos e serviços com tecnologia inovadora na área de energia. Ao todo, inscreveram-se 109 projetos, tendo sido selecionados 55 deles.

Esses produtos e serviços, voltados especificamente para as micros, pequenas e médias empresas, foram divulgados em 10 Mostras, realizadas em diversas capitais de estados brasileiros, de outubro de 2001 até dezembro de 2002. Dentre esses produtos foi apresentado um transformador monofásico com núcleo de liga amorfa de 15 kVA montado a partir da parceria entre a Universidade Federal da Paraíba - UFPB e a empresa CEMEC – Construções Eletromecânica S. A., localizada em Fortaleza – CE.

Neste trabalho são apresentados, de forma sintética, os referidos produtos e serviços exibidos na Mostra Energia Brasil de Produtos e Serviços Inovadores para as Micros, Pequenas e Médias Empresas e, de forma mais detalhada, o produto transformador com núcleo de liga amorfa.

## 2. PRODUTOS E SERVIÇOS EXPOSTOS NA MOSTRA ENERGIA BRASIL

A seguir, são apresentados os produtos e serviços expostos na Mostra Energia Brasil, seguidos dos respectivos responsáveis pelo desenvolvimento desses produtos ou serviços :

- Sistema de informação de energia e registro de pulso: *Analo Sistemas de Energia Ltda.*
- Transformador com núcleo de liga amorfa: *CEMEC - Construções Eletromecânicas S. A. e Universidade Federal da Paraíba*, conforme ilustrado na figura 1.



Figura 1 – Transformador monofásico com núcleo de liga amorfa.

- Termômetro ativo: *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF/MCT.*
- Turbina de pequena potência e motor brasileiro: *Centro Técnico Aeroespacial – CTA e Instituto de Aeronáutica e Espaço – IEA.*
- Conversor eólico: *Colégio Evangélico Panambi.*
- Aquecedor solar: *Controlware Automação Ltda.*
- Sistema para construção de bombas e compressores: *Dalvic Comércio e Indústria Ltda.*
- Aproveitamento da característica multicomcombustível do processo de combustão em leito fluidizado para a produção de energia elétrica em pequenas centrais térmicas – PCTs: *Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul e Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.*
- Aplicação do processo de combustão em leito fluidizado para o aumento da eficiência e redução das emissões de material particulado na utilização de bagaço e palha de cana consumidos na geração de energia em usinas de álcool e açúcar. *Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul e Centro de Tecnologia da Copersucar-CTC.*
- Turbina de vento de eixo horizontal: *Hyperlogic Automação de Sistemas.*
- Economia de energia em acionamentos eletrônicos. *Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL.*
- Projeto GES – Energia Alternativa Renovável: *JACR do Brasil Pesquisa e Ideografia S/A Ltda.*
- Mini-usina à biomassa: *J. M. Marcondes Mello Engenharia Ltda.*
- Aquecedor solar de uso popular: *Kobtron Energia Solar Ltda – ME.*
- Sistemas de gerenciamento, proteção, medição, eficientização e automação de sistemas eletroeletrônicos: *LACTEC – Instituto para o desenvolvimento.*
- Energyloop – medidor de potência real e energia elétrica: *Loop tecnologia em Movimento.*
- Geração de energia por gaseificação e destilação da madeira: *Rondobelém Madeiras Ltda.*
- Sistema de controle, tarifa, demanda e automação – SCTDA: *SISTRON – Sistemas de Energia S/A.*
- Aquecedor solar de baixo custo – ASBC: *Sunpower Engenharia Ltda e Centro Incubador de Empresas Tecnológicas da Universidade de São Paulo – CIETEC/USP.*
- Misturador de água para banho: *Tuma Minas Instalações Térmicas Ltda.*
- Turbo Sanches TS-65: *Turbodinâmica – Empresa Brasileira de Turbomáquinas.*
- Sistema para gestão de energia: *Universidade de São Paulo – GEPEA-EPUSP/USP.*
- Células solares sensibilizadas por corantes – Dye-Cells: *Universidade de São Paulo – Instituto de Química.*
- Catodos – A busca da eficientização energética de processo eletrointensivos: *Universidade Federal de Alagoas e TRIKEM-OPP-Odebrech.*
- Sistemas não invasivo para monitoração do uso de eletrodomésticos: *Universidade Federal de Juiz de Fora e Centro Regional de Inovação e Transferência de Tecnologia – CRITT.*
- Racionalização de energia para habitações, aproveitamento energético de resíduos sólidos e biodiesel: *Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPETEC/Instituto Virtual de Mudanças Globais.*
- Coletor solar de baixo custo: *Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Faculdade de Arquitetura.*
- Aproveitamento energético dos resíduos gerados nas indústrias de curtimento de couro. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisa Hidráulicas.*

- Serviço de assistência técnica para maximizar eficiência no uso da lenha: *Unidade de Apoio do Programa Nacional de Florestas no Nordeste – PNF – Ministério do Meio Ambiente.*
- Lâmpada eletrônica com LEDs: *Vidrocorte Indústria e Comércio Ltda.*

Conforme pode-se observar, tratam-se de produtos e serviços oriundos de todas as regiões do país, envolvendo universidades, centros de pesquisa e empresas que atuam no setor energético brasileiro. Esses produtos e serviços foram apresentados em 10 mostras, no âmbito de eventos técnicos e científicos realizados nas seguintes cidades: Porto Alegre, Florianópolis, São Paulo, Rio de Janeiro, Cuiabá, Salvador e Fortaleza.

Numa avaliação sintética, pode-se afirmar que a Mostra Energia Brasil se constituiu numa excelente oportunidade de negócios e para divulgação das potencialidades de interações bem sucedidas entre o saber acadêmico (universidades e institutos de pesquisas) e o setor industrial (empresas).

### 3. TRANSFORMADOR COM NÚCLEO DE LIGA AMORFA

Quando um transformador está ligado, ocorrem perdas de energia no material ferromagnético do núcleo, que se manifestam sob a forma de calor e de ruído audível. Estas perdas estão intimamente ligadas à eficiência energética deste equipamento e buscar uma maneira de como reduzi-las passa a ser uma tarefa de engenheiros eletricitistas e pesquisadores da área de materiais.

Em face dessa realidade física, e diante da necessidade cada vez mais crescente de se economizar energia (conservação de energia) e preservar o meio ambiente, é que os transformadores com núcleo de metal amorfo vêm substituindo, em escala crescente, os transformadores tradicionais com núcleo de ferro-silício.

O metal amorfo é uma liga metálica que apresenta uma estrutura atômica desordenada, em oposição à estrutura atômica rigidamente ordenada das ligas de ferro-silício utilizadas nos tradicionais transformadores de distribuição de energia elétrica urbanas e rural.

Atualmente, as perdas nos núcleos dos transformadores com núcleos de ferro-silício convencionais são equivalentes a 5,8 bilhões de kWh/ano de energia; 662 bilhões de watts da capacidade de geração de energia; e, numa projeção até o ano 2017, a substituição dos transformadores de distribuição com núcleo de ferro-silício por transformadores com núcleos de material amorfo poderia representar uma economia média de 543 milhões de R\$ por ano (HONEYWELL, 2000).

Os Estados Unidos contam atualmente com mais de 750 mil transformadores com núcleos de material amorfo instalados em seu sistema de distribuição de energia elétrica. No Japão este número ultrapassa 120 mil unidades, enquanto na Europa e na Ásia o emprego destes equipamentos também tem sido crescente (ALLIEDSIGNAL, s.d).

No Brasil, o trabalho pioneiro neste tipo de aplicação tecnológica teve início na UFPB, a partir de 1991, com o projeto de doutorado desenvolvido por LUCIANO (1995), que resultou na realização de um protótipo de transformador monofásico de 1 kVA, 220V/ 110V, 60 Hz, com núcleo de liga amorfa  $Fe_{78}B_{13}Si_9$ .

A partir dos resultados dos ensaios experimentais realizados com esse protótipo, em comparação com um outro transformador comercial de igual capacidade nominal, pôde-se verificar uma redução de mais de 80% para as perdas em vazio e uma redução de 41% na corrente de excitação, resultados estes publicados por LUCIANO e KIMINAMI (1997) e LUCIANO *et al* (1999).

A idéia da aplicação de metal amorfo em núcleos de transformadores para sistemas de distribuição foi apresentada pelo autor deste trabalho à diretoria técnica da CEMEC - (*Construções Eletromecânicas*). A proposta foi aceita pela CEMEC que, inicialmente,

montou um lote de nove transformadores monofásicos com potência nominal de 15 kVA, 13,8kV/220V, 60 Hz, a serem instalados experimentalmente nos sistemas de distribuição de empresas concessionárias de energia elétrica do Nordeste brasileiro, a exemplo de um protótipo instalado pela Companhia Energética da Borborema (CELB), na zona rural do município de Massaranduba, na Paraíba. O resultado dessa interação entre universidade (UEPB) e empresas (CEMEC e CELB) foi relatado por LUCIANO e ROCHA (1999) e LUCIANO e NOGUEIRA (2000).

A opção pela instalação do transformador na zona rural se deu em função do baixo fator de carga nessa região, onde as perdas no núcleo são preponderantes sobre as perdas no cobre, por longos períodos.

A partir dos resultados satisfatórios obtidos com o protótipo de 15 kVA, instalado na zona rural do município de Massaranduba - PB, a CELB decidiu realizar um segundo estudo experimental e para tanto adquiriu junto a CEMEC vinte transformadores monofásicos com núcleo de liga amorfa para a instalação num de seus ramais de distribuição localizado na zona rural da cidade de Queimadas-PB.

Outros estudos sobre a viabilidade de utilização de transformadores de distribuição com núcleo de liga amorfa no Brasil foram realizados por BINI *et al* (2001) e SILVA *et al* (2001).

Uma análise sobre a viabilidade técnica/econômica da utilização de transformadores com núcleo amorfo em redes rurais de distribuição de energia, classe 15 kV, foi apresentado por CAVALCANTI e LUCIANO (2001) e LUCIANO *et al* (2002).

A relação custo-benefício associada à introdução de uma nova tecnologia pode ser avaliada de duas formas. A primeira diz respeito à economia direta pela disponibilidade incremental de potência útil, em face aos transformadores com núcleos de material cristalinos (FeSi de grãos orientados). A segunda envolve uma equação convencional utilizada nos processos de capitalização de perdas.

Evidente que o retorno do investimento vai depender de pelo menos dois fatores: potência nominal do transformador e preço do kWh vigente.

#### 4. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

O estudo da viabilidade técnica e econômica (EVTE) de produtos e serviços inovadores relacionados à energia passa por abordagens metodológicas que envolvem: a caracterização do projeto, a análise da atratividade e das incertezas. Em geral, este último tipo de análise difere do tratamento objetivo dos dois primeiros por envolver externalidades, como os benefícios ambientais e os desdobramentos sociais, por exemplo.

De forma simplificada, neste trabalho são apresentados dois modos distintos de se avaliar a relação custo-benefício introduzida pela nova tecnologia. O primeiro, no caso específico de transformadores com núcleo de material amorfo, considera-se a economia direta pela disponibilidade adicional do diferencial de potência em relação a um transformador convencional, durante o horário de ponta na curva de carga, somada à economia de investimento em geração de energia elétrica durante a vida útil do equipamento (30 anos, em média). O segundo, considera-se a equação convencional utilizada nos processos de capitalização de perdas, conforme a fórmula apresentada por PRUES (1998):

$$C_T = P_a + A \times P_n + B \times P_c, \quad (1)$$

na qual:

$C_T$  = Custo total capitalizado.

$P_a$  = Preço de aquisição do transformador.

$A$  = Fator de perdas no núcleo.

$P_n$  = Perdas no núcleo.

$B$  = Fator de perdas no cobre.

$P_c$  = Perdas no cobre.

Na equação 1 não foram considerados os custos de manutenção posto que uma vez instalados, os transformadores com núcleo de liga amorfa se comportam de maneira semelhante aos transformadores convencionais com núcleo de FeSi de grão orientado.

Tomando como base os valores máximos das perdas no núcleo e das perdas no cobre, um quadro demonstrativo da comparação econômica entre transformadores monofásicos de distribuição de 15 kVA, 7967V/220V, 60 Hz é apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Dados comparativos entre transformadores monofásicos de 15 kVA com núcleo de liga amorfa versus núcleo de FeSi de grão orientado (GO).

Dados comparativos	Núcleo de liga amorfa (Fe <sub>78</sub> B <sub>13</sub> Si <sub>9</sub> )	Núcleo FeSi GO
Perdas no núcleo (W)	14	84
Fator de perdas no núcleo (R\$/kW)	5.458,07	5.458,07
Perdas no cobre (W)	242	266
Fator de perdas no cobre (R\$/kW)	560,06	560,06
Preço de aquisição (R\$)	1.873,14	599,39
Custo das perdas no núcleo (R\$)	76,41	458,48
Custo das perdas no cobre (R\$)	135,53	148,97
Custo total (R\$)	2085,08	1206,84
Número de anos para recuperar o custo adicional do capital	8,3	-

Examinando-se os dados comparativos apresentados na Tabela 1, percebe-se que o custo total do transformador com núcleo de FeSi é mais baixo. Entretanto, como o custo anual das perdas no transformador com núcleo de material amorfo é menor, e a vida útil desse equipamento é de 30 anos, a mesma dos transformadores com núcleo de Fe-Si, o alto custo do capital inicial é compensado, favorecendo o retorno do investimento em 8,3 anos.

Portanto, o emprego de transformadores com núcleo de liga amorfa é tecnicamente e economicamente viável, com retorno de investimento a médio prazo.

## 5. CONCLUSÕES

A Mostra Energia Brasil de Produtos e Serviços Inovadores para as Micros, Pequenas e Médias Empresas propiciou excelentes oportunidades para os que participaram como expositores e para o público que compareceu. Para os expositores, além da visibilidade das inovações tecnológicas propostas, houve oportunidades de negócios e intercâmbio científico e tecnológico. Para o público em geral, a Mostra ofereceu a possibilidade de contato direto com os pesquisadores responsáveis pelo desenvolvimento dos produtos e serviços apresentados nos *stands*.

Particularmente, no que diz respeito ao produto transformador com núcleo de liga amorfa, pode-se afirmar que as empresas distribuidoras de energia elétrica no Brasil ainda não se decidiram pelo uso extensivo desse tipo de inovação tecnológica em seus sistemas de distribuição, apesar de reconhecerem o potencial de redução de perdas proporcionado pelas ligas amorfas. Dois poderiam ser os motivos desta postura conservadora: o preço inicial de aquisição e o fato de o material do núcleo ser produzido no exterior (USA). Ora, se são esses

os principais motivos, o que dizer da política que incentiva os consumidores a instalarem lâmpadas fluorescentes compactas, que são, em média, vinte vezes mais caras que as lâmpadas incandescentes convencionais? E o que dizer dos impactos ambientais introduzidos por essas lâmpadas fluorescentes compactas, quando do descarte, e do impacto na qualidade de energia, mediante a introdução de harmônicos e baixos fatores de potência?

Portanto, vale a pena insistir com a proposta de substituição de transformadores tradicionais por transformadores com núcleos de ligas amorfas, em larga escala, por trazer como benefícios:

- Redução da necessidade de construção de novas usinas geradoras de eletricidade e, por conseqüência, menor impacto ambiental;
- Menor consumo e emissão de poluentes devido à queima de óleo;
- Redução significativa das emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), poluentes responsáveis pela chuva ácida e pelo efeito estufa.

### ***Agradecimentos***

À FINEP/MCT, à Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, ao professor Dr. Raimundo C. S. Freire (UFCG) e ao acadêmico Pablo Bezerra Luciano (UEPB), pelo apoio e valiosas contribuições.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALLIANCE TO SAVE ENERGY. **Executive summary: watergy**. USA, 2002.
- ALLIEDSIGNAL ADVANCED MATERIALS. **Environmental conservation through efficient electric distribution transformers**. USA, s.d.
- BINI, M. A.; MORAES, M. M.; CAMPOS, L. B.; SILOS, A. C. ; SALOTTI F. A.; LUCIANO, B. A. Estudo de aplicação experimental e viabilidade de utilização de transformadores de distribuição com núcleo amorfo. In: I CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA - I CITENEL, 2001, Brasília. **Anais**. Brasília: ANEEL, 2001, p. 33-37.
- CAVALCANTI, L. F.; LUCIANO, B. A. Análise da viabilidade técnica/econômica da utilização de transformadores com núcleo amorfo em redes rurais de distribuição de energia, classe 15 kV. In: I CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA - I CITENEL, 2001, Brasília. **Anais**. Brasília: ANEEL, 2001. p. 214-218.
- HAWKING, S. **O universo numa casca de noz**. São Paulo: Mandarim, 2001.
- HONEYWELL. **Amorphous metal transformers: demonstrated energy efficiency for Brazil**. In: SEMINAR ON AMORPHOUS METAL DISTRIBUTION TRANSFORMERS, Reference materials, Honeywell, São Paulo, October 26, 2000.
- LUCIANO, B. A. **Estudo de aplicações da liga Fe<sub>78</sub>B<sub>13</sub>Si<sub>9</sub> amorfa em núcleos de transformadores de baixa potência**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Coordenação de Pós-Graduação, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande - PB.
- LUCIANO, B. A.; MORAES, M. E.; KIMINAMI, C. S. Single Phase 1-kVA Amorphous Core Transformers: Design, Experimental Tests, and Performance After Annealing. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 35, n.4, p. 2152-2154, July 1999.
- LUCIANO, B. A.; NOGUEIRA, G. M. F. Interação Universidade (UFPB)-Empresa (CELB) mediante estágios curriculares. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2000, Ouro Preto. **CD ROM**.
- LUCIANO, B. A.; ROCHA, P. M C. Transformadores com núcleo de material amorfo: uma experiência conjunta Universidade-Empresas. In: III CONGRESSO LATINO AMERICANO



DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1998, São Paulo. **Anais**. São Paulo: USP, 1998, p. 349-355.

LUCIANO, B. A.; ROCHA, P. M. C. Experiência de campo com transformadores com núcleo de material amorfo. **Eletricidade Moderna**, São Paulo, v. XXVII, n. 302, p. 96-105, 1999.

LUCIANO, B.A.; KIMINAMI, C. S. An amorphous core transformer: design and experimental performance. **Materials Science & Engineering A**, v.226-228, p. 1079-1082, 1997.

LUCIANO, B. A., NÓBREGA, R. S.; CAVALCANTI, L. F.; SANTOS, M. B. G. Transformadores com núcleo de liga amorfa: uma experiência piloto no sistema de distribuição rural da CELB. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DISTRIBUICION ELECTRICA - CIDEL ARGENTINA, 2002, Buenos Aires. **CD ROM**.

PRUES, C. Low core loss transformers for industrial energy saving, **IEEE Power Review**, vol. 18, n. 7, p. 12-14, July 1998.

SILVA S. R.; VASCONCELOS F. H.; RAGONE J. C.; PINTO M. F. Caracterização de transformadores com núcleo de metal amorfo para aplicação em redes monofásicas de distribuição de energia elétrica. In: I CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA - I CITENEL, 2001, Brasília. **Anais**. Brasília: ANEEL, 2001, p. 235-239.

## TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN THE ENERGY BRAZIL EXHIBITION

**Abstract:** *In this work the products and services shown in Energy Brazil Exhibition as technological innovations directed specifically toward very small and average companies are briefly presented. These products and services had been divulged in 10 Exhibitions, carried through in diverse capitals of Brazilian states, between October 2001 and December 2002. Additionally, it is presented, in more detailed form, the development of amorphous core transformers, resultant of the partnership between the Federal University of Paraíba and CEMEC, a Brazilian manufacturer of transformers, located in Fortaleza.*

**Key-words:** *Technological innovations, Energy, Transformers, Amorphous alloy.*