



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GET/15
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - XIV

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA
EDUCAÇÃO - GET**

**POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA PELA ADOÇÃO DA LÂMPADA LED NA ILUMINAÇÃO
RESIDENCIAL, SUBSIDIANDO A CONCESSÃO DO SELO PROCEL DE ECONOMIA DE ENERGIA PARA
LÂMPADAS LED**

Daniel Delgado Bouts(*) George C. dos Santo Moisés A. dos Santos Marcelo J. Santos William M. Farias

ELETROBRAS

ELETROBRAS

ELETROBRAS

ELETROBRAS

ELETROBRAS

RESUMO

Nos últimos anos, com avanço da tecnologia dos diodos emissores de luz (LED) aplicados à iluminação, novos produtos estão entrando no mercado preconizando grandes avanços, principalmente com relação à eficiência e a durabilidade dos equipamentos, resultando em uma considerável economia no uso de energia elétrica e nos custos de manutenção.

Este trabalho tem como objetivo estimar o potencial de economia de energia pela adoção da lâmpada LED na iluminação residencial, tendo como base metodológica a estimativa realizada por (BASTOS, 2011) do potencial de conservação de energia elétrica como consequência da política energética de banir gradativamente as lâmpadas incandescentes do mercado, regulamentada através da Portaria Interministerial nº 1.007 de 2010.

Atento a essa tendência, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel iniciou, no final de 2014, a concessão do Selo Procel para lâmpadas LED de forma a garantir os padrões mínimos de confiabilidade, durabilidade e desempenho desses equipamentos. Estudos desta natureza são fundamentais para subsidiar o programa de concessão do Selo Procel, que poderá desta forma priorizar suas ações em função da sua relevância na redução do consumo de energia e dos impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE

Lâmpada LED, Selo Procel, Iluminação, Impacto, residencial.

1.0 - INTRODUÇÃO

De acordo com os dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2014), o setor residencial correspondeu a aproximadamente 24% do consumo total de energia do país em 2013. No contexto atual de incertezas no fornecimento e aumento no preço da energia, vem crescendo o interesse por novas tecnologias e medidas que promovam a eficiência energética, como exemplo, a desmobilização gradual das lâmpadas incandescentes do mercado, sendo substituídas por tecnologias mais eficientes e duráveis, como as lâmpadas fluorescentes compactas, e mais recentemente, as lâmpadas LED.

Os diodos emissores de luz (LED) representam uma tecnologia antiga que nos últimos 10 anos passou por melhorias contínuas que resultaram na sua utilização em uma vasta gama de produtos para iluminação, incluindo semáforos, projetores, luminárias para iluminação pública, entre outros. Em 2006, o pesquisador Shuji Nakamura recebeu o Prêmio de Tecnologia do Milênio pelo desenvolvimento de LEDs de alta luminosidade azuis e brancos utilizados na iluminação. Em 2014, novamente Nakamura e mais dois outros japoneses, Isamu Akasaki e Hiroshi Amano, foram agraciados com prêmio Nobel de física, reconhecendo o LED produzido a partir de substratos de nitreto de gálio puro (GaN on GaN™) como um avanço na iluminação, permitindo fontes de luz branca brilhante.

A participação da tecnologia LED no mercado de iluminação vem se mostrando crescente e irreversível, tendo em vista os benefícios energéticos, ambientais e financeiros que essa nova tecnologia pode oferecer. Segundo estimativas da Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux)¹, o consumo de LED no Brasil vai crescer enormemente nos próximos anos, sendo que em 2014, já representava 10% do número total de itens de iluminação importados.

No final de 2014, o Procel iniciou a concessão do Selo Procel para lâmpadas LED de forma a garantir os padrões mínimos de confiabilidade, durabilidade e desempenho desses equipamentos. Para receber o Selo Procel, as lâmpadas LED devem ser ensaiadas para verificação do desempenho energético, vida mediana e segurança elétrica. Até fevereiro de 2015, o programa já contava com 14 produtos contemplados com o Selo.

Este estudo tem o intuito de estimar o potencial técnico de redução do consumo residencial de eletricidade com a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED equivalentes. Em função da saída progressiva das lâmpadas incandescentes do mercado por meio da entrada em vigor da Portaria Interministerial nº 1.007 de 2010, considerou-se como premissa básica que o mercado já haveria migrado totalmente para as lâmpadas fluorescentes compactas. Este estudo servirá de subsídios para o programa do Selo Procel para lâmpadas LED.

2.0 - CONCESSÃO DO SELO PROCEL PARA LÂMPADAS LED

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel, instituído em 1985, é o programa do governo brasileiro, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobras, destinado a promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. O Programa atua por meio da implementação de projetos de interesse da nação lançando mão de importantes parceiros, como é o caso das universidades, laboratórios, fabricantes e suas associações de classe.

Dentre esses projetos destaca-se o Selo Procel que completou em dezembro de 2013, 20 anos de existência, um marco importante para o Procel. O Selo permite ao consumidor identificar os produtos mais eficientes à disposição no mercado e induzir o desenvolvimento tecnológico de equipamentos elétricos. O Selo assumiu um papel de destaque em prol da eficiência energética do Brasil.

Entre 1999, ano que se iniciou a concessão do Selo Procel para lâmpadas fluorescentes compactas (LFC), e o ano de 2011, a evolução média da eficiência energética dos modelos de LFCs com o Selo Procel foi de 24%, o que demonstra a efetividade do programa em estimular o aumento da eficiência das LFCs (DAVID, 2013).

No final do ano de 2014, em continuidade aos trabalhos desenvolvidos para redução do consumo de energia e a promoção de novas tecnologias no País, foi iniciada a concessão do Selo Procel para lâmpadas LED (Figura 1). Esse novo produto é fruto de um processo amplamente discutido em diversas reuniões que contaram com a participação dos principais agentes do setor, dentre eles laboratórios de ensaios, especialistas, fabricantes e importadores e o Inmetro. Com a inclusão das lâmpadas LED, o Selo Procel já alcançou a marca de 39 categorias de equipamentos. Apenas no ano 2014, o uso de equipamentos com o Selo possibilitou uma economia de energia de mais de 10,3 TWh, o que correspondem a cerca de 2% de todo o consumo nacional naquele ano.



FIGURA1 – Selo Procel

¹ Reportagem Valor Econômico disponível em:< <http://www.abilux.com.br/portal/destaquesInt.aspx?id=19>>

2.1 Critérios para concessão do selo procel para lâmpadas led

Os critérios para concessão do Selo Procel para lâmpadas LED estão divididos basicamente em critérios de segurança elétrica e desempenho. A maior parte dos critérios relativos a segurança elétrica também fazem parte do programa de LFCs, enquanto que os critérios de desempenho e vida mediana foram adaptados dos critérios do Selo Energy Star da agência americana de proteção ambiental (EPA).

Assim como no programa do Selo Procel, o selo Energy Star (Figura 2), é um selo de endosso, voluntário, concedido com base em ensaios de terceira parte em laboratórios reconhecidos pelo EPA. Em 2010 o Departamento de Energia do Estados Unidos estabeleceu critérios para concessão do Selo Energy Star para lâmpadas de LED. A última atualização dos critérios entrou em vigor no dia 30 de setembro de 2014 (ENERGY STAR, 2014).



FIGURA 2 – Selo Energy Star

Para que uma lâmpada LED possa ser contemplada com o Selo Procel, o modelo deve atender integralmente aos requisitos de segurança elétrica e desempenho, descritos no documento: “Critérios para a Concessão do Selo Procel de Economia de Energia a Lâmpadas Led com Dispositivo de Controle Integrado”, disponível no portal Procelinfo (PROCEL INFO, 2015). A seguir Tabela 1 com o resumo dos itens avaliados:

Tabela 1 – Itens avaliados

ITEM	DESEMPENHO	SEGURANÇA ELÉTRICA
1	Potência da lâmpada	Marcação
2	Fluxo luminoso inicial	Intercambialidade da base
3	Eficiência energética	Proteção contra contato acidental com partes vivas
4	Fator de potência	Resistência de Isolação e Rigidez Dielétrica após exposição à umidade
5	Limites das correntes harmônicas	Resistência à Torção
6	Equivalência com a lâmpada incandescente	Resistência ao aquecimento
7	Temperatura de cor correlata (TCC)	Resistência à chama e à ignição
8	Índice de reprodução de cor (IRC)	
9	Vida declarada (nominal)	

3.0 - ESTIMATIVA DO POTENCIAL TÉCNICO DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 Metodologia para cálculo da economia de energia

Este estudo tomou como base a metodologia do trabalho realizado por (BASTOS, 2011), no qual ele estimou o potencial de conservação de energia elétrica em 2012 e da redução de demanda no horário de ponta como consequência da política energética de banir gradativamente as lâmpadas incandescentes do mercado, regulamentada através da Portaria Interministerial nº 1.007 de 2010, conforme apresentado na tabela 2.

Para realização do seu trabalho, Bastos seguiu as seguintes premissas:

- Os dados de posse e hábitos de uso de lâmpadas por residência da Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de consumo de energia elétrica (ELETROBRAS, 2009), continuam inalterados até 2030;
- Todas as lâmpadas incandescentes foram substituídas por fluorescentes compactas de fluxo luminoso equivalente, pois na época que Bastos realizou o seu estudo as LFCs as lâmpadas Led ainda apresentavam um preço muito elevado. As potências das LFCs substitutas foram estabelecidas segundo as maiores potências equivalentes indicadas pelos programas do Selo Procel e do Energy Star, pois Bastos considerou que parte das

LFCs substitutas não teriam o Selo de eficiência energética e, além disso, as lâmpadas incandescentes seriam, eventualmente, substituídas por outra lâmpada LFC não equivalente. Essa premissa foi adotada pelos seguintes motivos:

- O aumento anual do consumo de energia elétrica com iluminação ocorre com o mesmo valor percentual do aumento do número de domicílios permanentes ocupados no Brasil, segundo projeção da nota técnica 1.01.01.03 - Cenários demográficos e de domicílios (2005-2030)' do PNE 2030 (EPE, 2007);
- Não há perdas de energia devido à questão do fator de potência.

Tabela 2 - Potencial técnico de redução no consumo de energia elétrica com a política no Brasil em 2012

PL₂₀₀₅ (W)	PCP (%)	CL₂₀₀₅ (GWh)	Plfc_{eq} (W)	Clfc_{sub} (GWh)	PClfc₂₀₀₅ (GWh)	PClfc₂₀₁₂ (GWh)
25	0,39%	48,5	8	15,5	33,0	38,5
40	3,22%	403,9	12	121,2	282,7	329,4
60	46,24%	5807,3	15	1451,8	4355,5	5074,6
100	17,42%	2187,9	30	656,4	1531,5	1784,4
150	2,02%	253,8	50	84,6	169,2	197,2
Iluminação por incandescentes	69,29%	8701,5	Iluminação por LFCs substitutas	2329,5	6372,0	7424,0
Consumo de Iluminação Total	100,00%	12.559		6187,0		

Fonte: (BASTOS, 2011)

Onde:

PL₂₀₀₅ - Potência do parque das lâmpadas levantadas pela PPH em 2005.

CL₂₀₀₅ = PCP x 12.599*, onde:

CL₂₀₀₅ - Consumo total por tipo de lâmpada em 2005;

PCP - Participação do consumo por potência de lâmpada substituída em relação ao consumo da iluminação do Brasil em 2005 (Bastos, 2011).

(*) – Estimativa do consumo de energia elétrica com iluminação no setor residencial brasileiro em 2005 (Bastos, 2011);

Clfc_{sub} = Plfc_{eq} X (CL₂₀₀₅ / PL₂₀₀₅), onde:

Clfc_{sub} - Consumo por lâmpada LFC substituta;

Plfc_{eq} - Potência de LFC equivalente utilizada na simulação.

PClfc₂₀₀₅ = CL₂₀₀₅ – Clfc_{sub}, onde:

PTCr₂₀₀₅ - Potencial técnico de redução no consumo de energia com a substituição da lâmpadas incandescentes por LFCs em 2005.

PClfc₂₀₁₂ = Plfc₂₀₀₅ X 1,1651**, onde:

PClfc₂₀₁₂ - Percentual do potencial de conservação em 2012

(**) para realizar o ajuste anual do consumo de energia elétrica com iluminação foi adotada a estimativa de evolução do número de domicílios do Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), que projeta um aumento de 16,51% no número de domicílios no Brasil no período 2005-2012 (BASTOS, 2011)

Tendo como base o estudo de Bastos, Figura 3 abaixo mostra uma visão esquemática da metodologia utilizada na estimativa do potencial de redução no consumo de energia elétrica com a substituição das Lâmpadas fluorescentes (LF) por lâmpadas LEDs equivalentes:

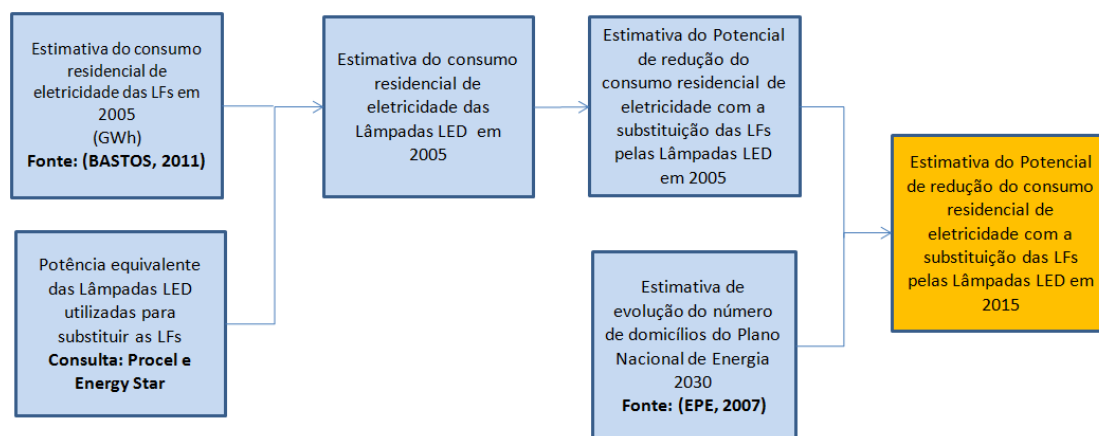


FIGURA 3

3.2 Cálculo da economia de energia

O cálculo da economia de energia foi representado pelo potencial técnico que poderia ser obtido no setor residencial, ao se comparar o cenário elaborado por Bastos, onde todas as lâmpadas incandescentes teriam sido substituídas por fluorescentes compactas equivalentes e um cenário proposto neste estudo, para o ano de 2015, onde as fluorescentes compactas e tubulares (T10) seriam substituídas por lâmpadas LED de fluxo luminoso equivalente. Foram utilizados os dados de equivalência de potência do estudo de Bastos para LFCs e do Programa do Selo Procel e Energy Star para as lâmpadas LED. Para este estudo, as lâmpadas tubulares (T10) levantadas em 2005 seriam substituídas por lâmpadas LED tubulares equivalentes a lâmpadas tubulares (T8), pois são as únicas disponíveis no mercado.

A partir da estimativa do consumo de energia elétrica com iluminação no setor residencial em 2005 e a distribuição do consumo de energia elétrica médio em valores percentuais para cada tipo de Lâmpada na iluminação do setor residencial das diferentes regiões do país pode-se obter a estimativa do potencial técnico de conservação de energia elétrica com a substituição integral do parque de LFCs por lâmpadas LED em 2015, conforme apresentado na tabela 3 abaixo:

Tabela 3

Tipo de lâmpada*	PL ₂₀₀₅ (W)	PCP (%)	CL ₂₀₀₅ (GWh)	Plfc _{eq} (W)	Clfc _{sub} (GWh)	Pled _{eq} (W)	Cled _{sub2005} (GWh)	Pled ₂₀₀₅ (GWh)	Pled ₂₀₁₅ (GWh)
Lâmpada incandescente	25	0,39%	48,5	8	15,5	4,5	8,74	6,8	8,4
	40	3,22%	403,9	12	121,2	7,5	75,74	45,4	56,3
	60	46,24%	5807,3	15	1451,8	9,5	919,51	532,3	659,0
	100	17,42%	2187,9	30	656,4	17,5	383,03	273,6	338,7
	150	2,02%	253,8	50	84,6	30	50,82	33,9	41,9
Lâmpadas fluorescentes tubulares	20	0,72%	544,7	15	544,72	11	299,60	245,1	303,5
	40	1,39%	1656,0	20	1655,99	21	869,40	786,6	973,8
Lâmpadas fluorescentes compactas	15	0,72%	485,3	15	485,34	7,5	242,67	242,7	300,4
	20	1,39%	990,4	20	990,37	13	643,74	346,6	429,1
Lâmpadas fluorescentes circulares	20	0,59%	152,7	20	152,70	13	99,26	53,4	66,2
Total		74,11%	12531,9		6125,1		3592,5	2566,5	3177,4
Iluminação Total		100,00%	12.559						

Onde:

$Cled_{sub2005} = Pled_{eq} \times (CL_{2005} / PL_{2005})$, onde:

$Cled_{sub2005}$ - Consumo por lâmpada LED substituta em 2005;

$Plfc_{eq}$ - Potência da lâmpada LED equivalente utilizada na simulação.

$PCled_{2005} = CL_{2005} - Cled_{sub}$, onde:

$PCled_{2005}$ - Potencial técnico de redução no consumo de energia com a substituição da lâmpadas incandescentes por LFCs em 2005.

$PCled_{2015} = Plfc_{2005} \times 1,238^{**}$, onde:

$PCled_{2015}$ - Potencial de conservação em 2015.

(*) Tipo de lâmpadas no setor residencial levantado na Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de consumo de energia elétrica (ELETROBRAS, 2009).

(**) para realizar o ajuste anual do consumo de energia elétrica com iluminação foi adotada a estimativa de evolução do número de domicílios do Plano Nacional de Energia 2030 que projeta um aumento de 23,80% no número de domicílios no Brasil no período 2005-2015 (EPE, 2007).

4.0 - CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado concluiu-se que o potencial técnico de economia de energia com a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED no setor residencial é de aproximadamente de 3,18 TWh/ano, equivalente a aproximadamente 2,5% do consumo residencial em 2013 (BEN, 2014), energia suficiente para atender aproximadamente 1,58 milhões residências durante um ano². Esta economia também corresponderia à energia gerada durante 1 ano por uma usina hidrelétrica equivalente com capacidade aproximada de 762MWh³.

Para o programa do Selo Procel, o estudo ratificou a importância da concessão do Selo Procel para as lâmpadas LED, tendo em vista o potencial de economia de energia e de recursos que as mesmas representam para o país e para consumidor. Por se tratar de uma tecnologia ainda em constante evolução, o programa deverá estar atento a possíveis modificações que se façam necessárias objetivo de manter os seus critérios o mais atualizado com as tendências do mercado.

Vale destacar também os ganhos ambientais com a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, visto que as mesmas não contém metais pesados contaminantes como o mercúrio encontrado nas fluorescentes e a sua maior durabilidade, acima de 25000h, contra 6000h das LFCs, possibilitando um maior ciclo de vida para o produto.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) BASTOS, Felipe C. Análise da política de banimento de lâmpadas incandescentes do Mercado brasileiro. Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, PPE-COPPE, Março de 2011.

(2) DAVID, Rafael M. Análise comparativa da eficiência energética das lâmpadas fluorescentes compactas com reator integrado participantes do selo procel eletrobras, energy star e equipment energy efficiency. Itajubá, Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Dezembro de 2013.

(3) ELETROBRAS, 2007. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil - Simulação de Potenciais de Eficiência Energética para a Classe Residencial

(4) ELETROBRAS, 2009. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe Residencial Relatório Brasil - Sumário Executivo. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 23 fevereiro 2015.

(5) EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2007. Plano Nacional de Energia – 2030. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>> Acesso em 25 janeiro 2015.

(6) EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2014. Balanço energético Nacional – 2014, ano base 2013. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>> Acesso em: 17 fevereiro 2015.

² Considerando que o consumo médio de energia de uma residência no Brasil é de 167 kWh por mês (Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, ano VIII, nº 88, Janeiro de 2015, EPE).

³ A usina equivalente foi obtida a partir da energia economizada, considerando um fator de capacidade médio típico de 56% para usinas hidrelétricas e incluindo 15% de perdas médias na T&D. Considerou-se esse nível de perdas, tendo em vista que a grande parcela de utilização da energia elétrica se dá no sistema de distribuição em baixa tensão.

(7) PROCEL INFO, 2015. *Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 23 fevereiro 2015.

(8) ENERGY STAR, 2014. *ENERGY STAR Program Requirements Product Specification for Lamps (Light Bulbs) - Eligibility Criteria Version 1.1*. Disponível em: <<http://www.energystar.gov/products/certified-products/detail/7627/partners>>. Acesso em: 17 de março 2015.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Daniel Delgado Bouts

Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 15 de junho de 1972.

Mestrando em Engenharia da Energia: UNIFEI, Especialista em Uso Racional de Energia (2010): UNIFEI, MBA em Gestão de Negócios (2007) e Bacharel em Arquitetura e Urbanismo (1995): UFRJ.

Divisão de Estudos e Equipamentos Eficientes

George Camargo dos Santos

Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 08 de abril de 1977.

Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica (2006): PEE-COPPE, Mestrando em Ciências em Engenharia da Energia: UNIFEI, Especialista em Uso Racional de Energia (2010): UNIFEI e Bacharel em Engenharia Elétrica (2002): DEE-UFRJ.

Divisão de Planejamento e Fomento

Moisés Antonio dos Santos

Nascido em Mogi-Mirim, SP, em 09 de maio de 1976.

Mestrando em Engenharia da Energia: UNIFEI, Especialista em Uso Racional de Energia (2010): UNIFEI, MBA em Gestão de Negócios (2006): IBMEC/RJ e Bacharel em Engenharia Elétrica (2002): UNIFEI.

Divisão de Estudos e Equipamentos Eficientes

Marcelo José dos Santos

Nascido em Barbacena, MG, em 09 de agosto de 1977.

Doutor em Engenharia Elétrica (2008): COPPE/UFRJ, Mestre em Engenharia Elétrica (2002): UFJF e Bacharel em Engenharia Elétrica (2000): UFSJ.

Divisão de Estudos e Equipamentos Eficientes

William Mendes Farias

Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 03 de maio de 1970.

Mestre em Engenharia da Energia (2014): UNIFEI, Especialista em Uso Racional de Energia (2010): UNIFEI, e Bacharel em Engenharia Elétrica (1995): UERJ.

Divisão de Estudos e Equipamentos Eficientes