Grupo de Estudo de Sistemas de Distribuição-GDI

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE ENERGIA ELÉTRICA INFLUENCIADOS POR CAMPOS MAGNÉTICOS DE ALTA INTENSIDADE (IMÃS DE NEODÍMIO) E AÇÕES PROPOSTAS PARA REDUÇÃO DAS PERDAS NÃO TÉCNICAS (COMERCIAIS) PRODUZIDAS.

LUIZ CARLOS GRILLO DE BRITO(1); DANIEL FERRER BERQUO(2); LUIZ FERNANDO PEREIRA BARROS(3); CEPEL(1);CEPEL(2);CEPEL(3);

RESUMO

Uma das modalidades, recentemente constatadas, para reduzir, irregularmente, o registro do consumo de energia elétrica pelos medidores, utiliza artefatos contendo imãs de neodímio, que produzem campos magnéticos de alta intensidade (CMAI), de aproximadamente 0,5 T.

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito desses imãs no desempenho de medidores e buscar possíveis ações para mitigar perdas não técnicas produzidas. Para tanto foram realizados ensaios em medidores de diferentes modelos e fabricantes e no referido artefato, para melhor caracterizá-lo.
Com base nos resultados e nas pesquisas realizadas, o trabalho apresenta também algumas propostas para reduzir a influência desta ação irregular.

PALAVRAS-CHAVE

Medidor de Energia Elétrica, Imãs de Neodímio, Perdas não Técnicas

1.0 - INTRODUÇÃO

As fraudes e furtos de energia elétrica continuam sendo um grave problema em diversos países, causando prejuízos, a nível mundial, da ordem de bilhões de dólares anualmente. No Brasil, a cifra já atingiu, aproximadamente, no ano de 2017, o valor de R$ 4,5 bilhões, equivalente a 25.620,3 GWh (fonte ANEEL). Além disso, os furtos e fraudes de energia elétrica registraram pouca flutuação entre 2005 e 2017, iniciando e concluindo, durante este período, no patamar de 14% sobre o mercado de baixa tensão.

Neste contexto, têm sido constatadas novas formas de realizar fraudes em medidores de energia elétrica. O uso de peças individuais, ou por meio de artefatos, contendo imãs de neodímio, vem sendo utilizado recentemente para aplicar este tipo de irregularidade, principalmente pelo seu baixo custo e facilidade de aquisição. No mercado nacional esses valores estão em torno de R$ 250,00. Além disso, devido à forma de utilização do imã de neodímio, este tipo de ação não deixa, na grande maioria das situações, vestígios no medidor de energia elétrica, dificultando sua identificação, comprovação e aplicação de penalidades.

Os ímãs de neodímio são formados por três minérios: Neodímio+Ferro+Boro ($Nd_2Fe_{14}B$). Todos têm a mesma composição, variando algumas características como Remanência, Produto Energético, Coercitividade e Temperatura.

Inicialmente, são apresentados os resultados de alguns testes efetuados para caracterização de um artefato contendo imãs de neodímio, obtido por concessionária de distribuição, em inspeção de unidades consumidoras

Av. Horácio Macedo, 354 – sala 142 – CEP 21941-911 Cidade Universitária, Rio de Janeiro/RJ, – Brasil
Tel: (+55 21) 2598-6397 – Fax: (+55 21) 2598-6330 – Email: grillo@cepel.br

com irregularidades, para provocar redução do consumo registrado pelos medidores. Foram obtidos parâmetros como: dimensões e componentes do artefato e a quantificação do campo magnético produzido pelo mesmo.
De modo a avaliar o efeito dos imãs de neodímio, este trabalho apresenta, adicionalmente, os resultados dos ensaios realizados para avaliação do desempenho dos medidores de energia elétrica, eletromecânicos e eletrônicos, frente à influência da indução magnética CC de alta intensidade de origem externa. Foram determinados valores de erros percentuais de medição, com a variação de corrente e de fator de potência e executados, também, ensaios de corrente de partida e de verificação da funcionalidade dos mostradores dos medidores. Os resultados foram comparados em três diferentes condições:

- Inicialmente, sem qualquer influência da indução magnética CC;

- Na presença de influência da indução magnética CC;

- Após a retirada da influência da indução magnética CC.

Deste modo, buscou-se, além de um diagnóstico mais definido da questão, identificar também possíveis iniciativas e propostas de soluções para minimizar as perdas não técnicas das concessionárias de energia, provocadas pela aplicação de campos magnéticos de alta intensidade nas proximidades dos medidores. Entre estas essas medidas, são citadas, por exemplo, alterações nas especificações de compra, revisão de normas vigentes e pesquisas de soluções e inovações de mercado.

2.0 - CARACTERIZAÇÃO DE ARTEFATO COMPOSTO POR IMÃS DE NEODÍMIO

Conforme medições efetuadas no laboratório de propriedades elétricas e magnéticas do cepel, o artefato, com massa de 1,66 kg, apresenta campos magnéticos cc intensos, na ordem de 0,55 a 0,6 t, no lado inferior, oposto ao lado onde se encontra a alça a ele afixada. As medições foram efetuadas em temperatura ambiente medida de 24ºC. A Figura 1, a seguir, apresenta uma foto do mesmo dispositivo, apoiada em uma folha a4.

FIGURA 1 – Artefato fornecido pela concessionária, contendo ímãs

O campo magnético do artefato apresenta orientações opostas nas extremidades da face inferior, conforme mostrado nas Figuras 2 e 3:

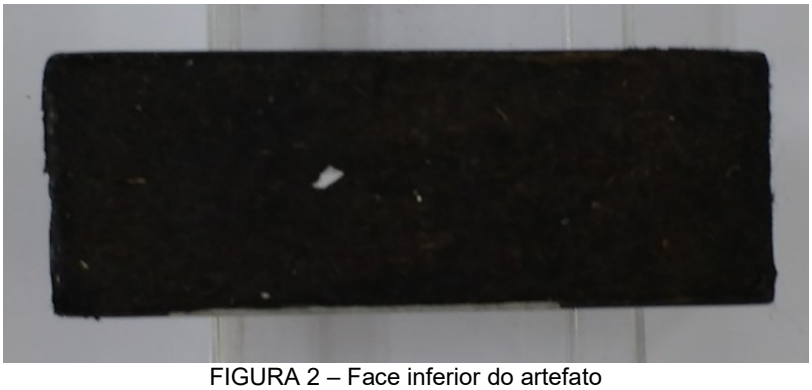

FIGURA 2 – Face inferior do artefato

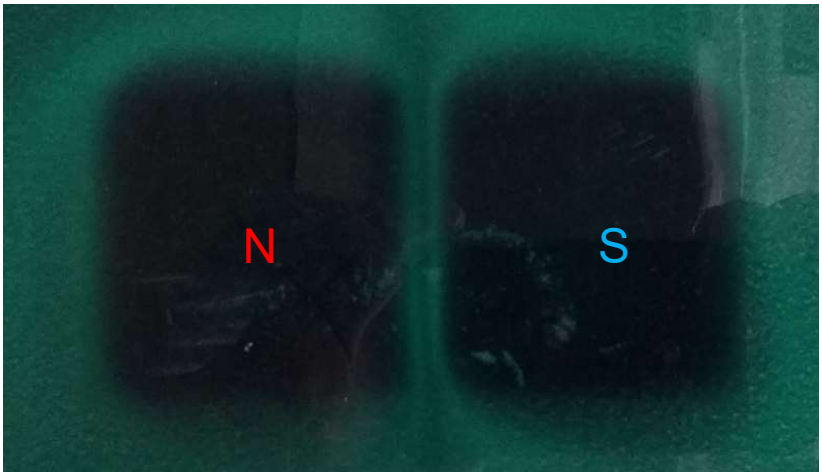

FIGURA 3 – Visualização do campo magnético CC produzido pelo artefato (face inferior)

As Figuras 4 e 5, a seguir, mostram a face lateral do artefato e a respectiva visualização do campo magnético CC correspondente.

FIGURA 4 – Face lateral do artefato

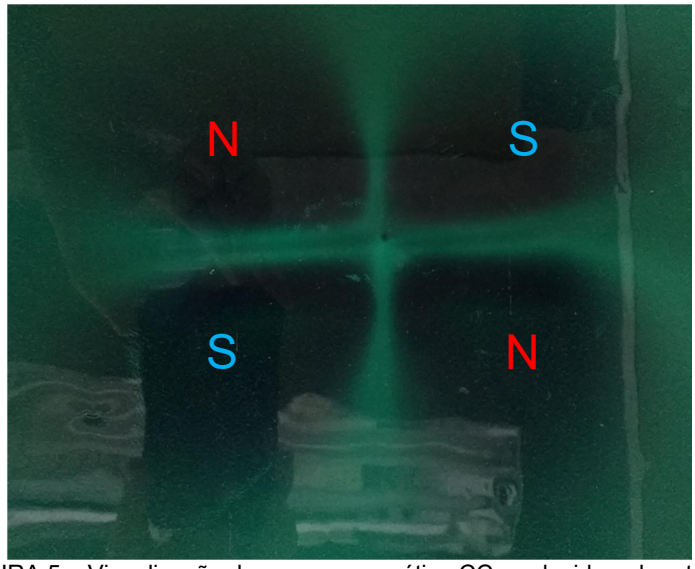

FIGURA 5 – Visualização do campo magnético CC produzido pelo artefato

As visualizações de intensidade do campo magnético foram obtidas a partir de visualizador de campo magnético estático (CC) Magview (1). Foi verificado que a intensidade de campo magnético CC, observada nas extremidades da face inferior do artefato, é compatível com ímãs que levam em sua composição Neodímio, Ferro e Boro (Nd2Fe14B) de grau N52 (onde "N" corresponde à referência simplificada, utilizada pela indústria de imãs com base em Neodímio). A numeração seguinte, no caso "52", dá a medida em termos da sua energia magnética máxima, segundo a unidade Mega-Gauss Oersteds, MGOe.

3.0 - ENSAIOS REALIZADOS E PRINCIPAIS RESULTADOS

De modo a verificar como os imãs de neodímio influenciam o desempenho de medidores de energia, tanto eletromecanicos (apesar de não serem mais fabricados ainda existem grandes quantidades instaladas) quanto eletrônicos, foram realizados ensaios em modelos de diferentes fabricantes, utilizando-se como referência as seguintes normas técnicas:

- Normas Brasileiras ABNT NBR 8378:1984(revisada em 1995), NBR 5313/1984, NBR 14519: 2011 e NBR 14520: 2011;

- Portarias INMETRO 285, de 11/08/2008, 431, de 04/12/2007, e 587, de 05/11/2012;

- Norma técnica IEC 62053-21: 2003.

Cabe ressaltar que o valor da indução magnética CC produzida pelo artefato contendo imãs de neodímio e aplicada nos medidores ensaiados é de aproximadamente 0,5 T. Este valor é 1000 vezes maior que o referenciado em normas técnicas de métodos de ensaios de medidores, que é de 0,0005 T (2).

3.1 Influência de campos magnéticos de alta intensidade (CMAI) em medidor eletromecânico

Foram realizados ensaios numa amostra de medidor eletromecânico de energia elétrica monofásico, 1elemento, classe B, 2 fios, 15A(100)A, 120V, 60Hz, fabricação de 1986, com registrador ciclométrico e constante de disco Kd igual a 1,8 Wh/r. Os ensaios foram realizados em condições distintas:

- Sem a presença do artefato;

- Durante o posicionamento do artefato o mais próximo possível do medidor;

- Após a retirada da influência do referido campo magnético de alta intensidade.

Foram escolhidas duas posições mais próximas do medidor nas quais se verificou a maior influência do campo magnetico.

A amostra do medidor eletromecânico de energia elétrica foi caracterizada em laboratório quanto aos seus erros percentuais de medição, referente a variações de corrente e de fator de potência. Foram também realizados os ensaios de corrente de partida e de verificação da funcionalidade do mostrador.

A Tabela 1 apresenta os resultados consolidados, realizados em seqüência, das verificações dos erros percentuais de medição, com a influência da variação de corrente e de fator de potência, SEM e COM a aplicação do artefato composto por imãs de neodímio, de acordo com os posicionamentos propostos.

TABELA 1 - Ensaio em Medidor Monofásico Eletromecânico

Corrente (A)	Fator de Potência	Sem imã	Com imã na primeira posição	Sem imã	Com imã na segunda posição	Sem imã
15	1,0	+0,4 %	-30,0 %	+0,1 %	-27,3 %	+9,2 %
15	0,50 indutivo	+0,9 %	-43,8 %	+0,8 %	-33,8 %	+9,9 %
1,5	1,0	-0,2 %	-31,4 %	-1,2 %	-30,1 %	+7,4 %

Os resultados indicaram a incapacidade do medidor eletromecânico de suportar a aplicação do campo magnético CC de alta intensidade, gerado pelo artefato. Foram observados efeitos distintos, em função da posição do artefato que contém o imã de neodímio em relação ao medidor:

a. Posição do artefato na primeira posição:

- O medidor apresentou variações de erros percentuais de medição muito acima dos limites de seu índice de classe, com valores entre - 30,0% e – 43,8%;

- O mostrador deixou de registrar, de forma adequada, a energia consumida pela carga aplicada;

- Não apresentou desempenho correto no ensaio de corrente de partida.

Após a retirada da influência magnética CC de alta intensidade de origem externa, a amostra do medidor voltou a apresentar funcionamento normal, mantendo-se, portanto, dentro dos limites de sua classe de exatidão, conforme apresentado na Tabela 1.

b. Posição do artefato na segunda posição:

- O medidor apresentou variações de erros percentuais de medição muito acima dos limites de seu índice de classe, com valores entre - 27,3% e – 33,8%;

- O mostrador deixou de registrar, de forma adequada, a energia consumida pela carga aplicada;

- Não apresentou desempenho correto no ensaio de corrente de partida.

Contudo, após a retirada da influência magnética CC de alta intensidade de origem externa, a amostra do medidor também não apresentou funcionamento normal, mantendo-se, portanto, fora dos limites de sua classe de exatidão, conforme apresentado na Tabela 1. Os valores dos erros percentuais de medição foram positivos, variando entre +7,4% e +9,9%. Esses dados indicam que, nesta posição, pelo fato do imã de neodímio ficar muito próximo ao elemento frenador do medidor eletromecânico, produziu um efeito desmagnetizador permanente no referido elemento, e por conseqüência, os erros percentuais de medição foram positivos, o que significa o registro a maior da energia realmente consumida.

3.2 Influência de campos magnéticos de alta intensidade (CMAI) em medidores eletrônicos

Foram realizados ensaios em oito amostras de medidores eletrônicos, sendo quatro monofásicos e quatro polifásicos, de diferentes fabricantes, com as seguintes especificações básicas comuns: corrente nominal 15 A, tensão nominal 240 V, freqüência 60 Hz, mostradores ciclométricos ou digitais e classe de exatidão B. Os ensaios foram também realizados em condições distintas:

- Sem a presença do artefato;

- Durante o posicionamento do artefato o mais próximo possível do medidor;

- Após a retirada da influência do referido campo magnético de alta intensidade.

Com relação ao ponto de aplicação da fonte de campo magnético CC de alta intensidade, utilizou-se, como referência dos ensaios, aquele na proximidade das faces da amostra do medidor que, em verificação prévia, apresentou a maior influência, correspondente à condição de carga com 100% da corrente nominal e fator de potência unitário.

As amostras dos referidos medidores foram submetidas aos ensaios de laboratório de modo a determinar seus erros percentuais de medição, referente a variações de corrente e de fator de potência, com cargas monofásicas e trifásicas. Foram também realizados os ensaios de corrente de partida e de verificação da funcionalidade do mostrador. As Tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, os resultados consolidados desses ensaios, em medidores de diferentes fabricantes, monofásicos e polifásicos. Para fins de comparação e simplificação, são indicados os resultados na condição de carga equilibrada, tendo sido realizados também ensaios com carga monofásica, por elemento.

Os resultados indicaram que, para os medidores eletrônicos monofásicos, apenas aqueles com mostradores digitais, foram capazes de suportar totalmente a influência do campo magnético produzido pelo artefato contendo imãs de neodímio, uma vez que:

- Mantiveram os erros dentro da faixa estabelecida na Norma ABNT NBR 14520:2011;

- Seus mostradores não foram influenciados, apresentando as grandezas medidas de forma regular;

- O valor de sua corrente de partida ficou abaixo do limite normatizado.

TABELA 2 – Ensaio dos Medidores Monofásicos Eletrônicos

Fabricante/modelo	Corrente (A)	Fator de potência	Erro (%) Sem imã	Erro (%) Com imã	Erro (%) Sem imã	Mostrador
1	15	1,0	- 0,2	-0,2	-0,2	Ciclométrico
	15	0,50 indutivo	+0,2	+0,3	+0,3	
	1,5	1,0	-0,2	-0,2	-0,2	
2	15	1,0	-0,1	-0,1	-0,1	Digital
	15	0,50 indutivo	+0,6	+0,6	+0,7	
	1,5	1,0	-0,2	-0,2	-0,2	
3	15	1,0	+0,2	+0,2	-0,2	Ciclométrico
	15	0,50 indutivo	+1,1	+1,1	+1,0	
	1,5	1,0	+0,1	+0,1	+0,1	
4	15	1,0	+0,2	+0,2	+0,2	Digital
	15	0,50 indutivo	+0,7	+0,7	0,0	
	1,5	1,0	0,0	0,0	+0,1	

No que se refere aos medidores eletrônicos monofásicos com mostradores ciclométricos, a corrente de partida ficou abaixo do valor normatizado e os erros percentuais de medição foram mantidos dentro da faixa estabelecida na Norma ABNT NBR 14520:2011, na presença do campo magnético CC empregado no ensaio.
O seu mostrador, entretanto, foi influenciado pelo campo magnético do artefato, deixando de registrar a energia consumida pela carga aplicada (registrador travado), indicando sua incapacidade de suportar, neste requisito, a aplicação do campo magnético produzido externamente pelos imãs de neodímio.

TABELA 3 – Ensaio dos Medidores Polifásicos Eletrônicos

Fabricante/modelo	Corrente (A)	Fator de potência	Erro (%) Sem imã	Erro (%) Com imã	Erro (%) Sem imã	Mostrador
5	15	1,0	0,0	-64,5	0,0	Digital
	15	0,50 indutivo	-0,5	-39,4	+0,5	
	1,5	1,0	-0,1	-64,6	-0,1	
6	15	1,0	0,0	-98,8	0,0	Digital
	15	0,50 indutivo	-0,6	-81,3	+0,5	
	1,5	1,0	0,0	-98,7	0,0	
7	15	1,0	-0,3	-0,9	-0,4	Digital
	15	0,50 indutivo	-0,4	-0,5	+0,1	
	1,5	1,0	-0,3	-1,2	-0,5	
8	15	1,0	0,0	-97,4	0,0	Digital

	15	0,50 indutivo	-0,7	-73,1	+0,7	
	1,5	1,0	-0,2	-97,5	+0,1	

Entre os quatro medidores eletrônicos polifásicos ensaiados, apenas uma peça foi capaz de suportar a aplicação do campo magnético CC de alta intensidade, gerado pelo artefato, já que:

- Manteve-se com erros dentro da faixa estabelecida na Norma ABNT NBR 14520:2011;

- Seu mostrador não foi influenciado, apresentando as grandezas medidas de forma regular;

- Manteve o valor de sua corrente de partida abaixo do limite normatizado.

Os resultados indicaram que os outros três medidores eletrônicos polifásicos não suportaram a aplicação do campo magnético CC de alta intensidade, gerado pelo artefato, uma vez que:

- Apresentaram variações de erros percentuais de medição muito acima dos limites de seu índice de classe, com valores entre – 39,4% e – 98,8%;

- Os seus mostradores passaram a não apresentar as informações corretas e adequadas para leitura;

- Não apresentaram desempenho correto no ensaio de corrente de partida.

Nos ensaios realizados após a retirada da influência da indução magnética CC de alta intensidade de origem externa, todos os quatro medidores eletrônicos polifásicos voltaram a apresentar funcionamento normal, com valores dos erros percentuais de medição, portanto, dentro dos limites de sua classe de exatidão. Nos ensaios de corrente de partida e nos ensaio de verificação da funcionalidade do mostrador os medidores também voltaram a atender os requisitos da Norma ABNT NBR 14520:2011.

4.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou resultados acerca do efeito da utilização de artefato, contendo imãs de neodímio, para fraudar o registro de consumo medido de energia elétrica nas unidades consumidoras, em medidores tanto eletromecânicos quanto eletrônicos. Foi identificado que os referidos imãs produzem campos magnéticos que superam, em muito, o valor limite estipulado pelas normas brasileiras e internacionais (3), sendo, no objeto ensaiado, aproximadamente 1000 vezes o valor normatizado.

Em relação aos medidores eletromecânicos foi verificado que, dependendo da posição que o imã é aplicado, o mesmo pode causar um dano permanente no medidor, por desmagnetização do elemento frenador, após sua retirada da proximidade do medidor. Além disso, enquanto o imã está sendo aplicado o mesmo impõe elevados erros negativos aos valores medidos e registrados pelo referido medidor, acarretando em perdas comerciais pelo subfaturamento da energia consumida. Por serem constituídos, basicamente, de circuitos eletromagnéticos, esses medidores têm alta susceptibilidade aos efeitos dos imãs de neodímio. Apesar de não serem mais fabricados, ainda existe, no Brasil, um parque instalado bastante significativo, da ordem de milhões de unidades, o que requer atenção das concessionárias a cerca dessa questão.

No que concerne aos medidores eletrônicos monofásicos, pelo fato dos mesmos usarem sensores de corrente tipo “shunt resistivo” e mostradores digitais, os mesmos se mostraram imunes aos efeitos dos CMAI. Apenas os medidores com registradores ciclométricos apresentaram problemas em seu funcionamento, devido ao seu mecanismo interno ser eletromagnético. Por este fato sua operação ficou travada, deixando de registrar a energiaconsumida.

Entre os quatro medidores polifásicos testados, três peças não suportaram a aplicação do campo magnético CC de alta intensidade, indicando, provavelmente a utilização de transformadores de corrente (TCs) como sensores de corrente. Por utilizarem material ferro-magnético, quando o imã de neodímio está sendo aplicado, os referidos TCs saturam, e, consequentemente, o registro de energia é a menor.

Estes resultados preliminares indicam que algumas decisões ou iniciativas podem ser consideradas, pelas concessionárias de energia, de modo a minimizar o efeito das tentativas de fraudar medidores eletrônicos de energia elétrica, pela aplicação de campos magnéticos de alta intensidade, entre as quais podemos citar:

a. Evitar o uso de medidores eletrônicos com registradores ciclométricos;

b. Evitar o uso de medidores eletrônicos cujos sensores de corrente usem TCs;

c. Evitar o uso de medidores eletrônicos cujas fontes de alimentação possuam componentes eletromagnéticos, como transformadores e indutores, que pode ser o caso, a depender do projeto e da tipologia escolhida, de alguns medidores que usem fontes chaveadas. As fontes capacitivas podem ser consideradas como uma alternativa possível.

Além disso, considerando que a norma ABNT atual determina para o ensaio de aplicação de um campo magnético CC de origem externa o valor de 0,5 mT e que os valores alcançados por imãs de neodímio são muito superiores, da ordem de 1000 vezes maior, sugere-se que este critério seja reavaliado de modo a que os fabricantes de medidores eletrônicos busquem novas tecnologias e soluções para atender a esta situação específica no combate às perdas não técnicas das concessionárias. Entre essas propostas inovadoras podemos citar a utilização, em medidores polifásicos, de sensores de corrente tipo “shunt” ao invés de transformadores de corrente, conforme indicado na referência [4]. ”

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) MAGTEK SOLUÇÕES MAGNÉTICAS - https://www.magtek.com.br/imas/neodimio-ferro-boro/.

(2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Medidores eletrônicos de energia elétrica - NBR 14520.

(3) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Electricity metering equipment (a.c) – Particular requirements – Part 21: Static meters for active energy (classes 1 and 2) – IEC 62053-21

(4) MINCIUNESCU, PETRE.Trends in Three-Phase Energy Metering.New Innovative Isolated ADC Architecture Enables Three-Phase Energy Meters with Shunts.AnalogDevices, Inc, TechnicalArticle MS-2404.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Luiz Carlos Grillo de Brito nasceu no Rio de Janeiro, RJ, Brasil, em 9 de abril de 1959. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFRJ, em 1981 e obteve o título de Mestrado em Engenharia Elétrica pela COPPE-UFRJ, em 2011. Trabalhou na empresa Light Serviços de Eletricidade de 1982 até 2001, nas as áreas associadas com o tema Sistemas de Medição de Energia Elétrica. Desempenhou, de 2002 a 2004, na ANEEL, funções no setor da comercialização da eletricidade. Na empresa Furnas, entre 2004 e 2006, atuou na área de engenharia de equipamentos de subestações. Desde 2006 trabalha como pesquisador no CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, em projetos de redes inteligentes, desenvolvimento de patentes e sistemas de distribuição e medição de energia elétrica.

Daniel Ferrer Berquó nasceu em Belo Horizonte, MG, Brasil, em 1 de agosto de 1981. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFF em 2013. Desde 2014 trabalha como pesquisador no CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, em projetos de redes inteligentes, desenvolvimento de patentes e sistemas de distribuição e medição de energia elétrica.

Luiz Fernando Pereira Barros nasceu em Muriaé, MG, Brasil, em 12 de dezembro1960. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Faculdade Nuno Lisboa em 1991. Desde 2012 trabalha como engenheiro de projeto no CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, em projetos de combate a perdas no laboratório de medição.