

# UMA ESTRATÉGIA PARA OBTENÇÃO DOS LIMITES DE SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA E TÉRMICA DE EQUIPAMENTOS COM FOCO AOS PEDIDOS DE INDENIZAÇÃO POR DANOS

I. N. Gondim, J. A. F. Barbosa Jr., J. C. Oliveira, C. E. Tavares, A. C. Delaiba  
Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
Uberlândia – MG

e-mail: [gondim.isaque@gmail.com](mailto:gondim.isaque@gmail.com), [johnareis@gmail.com](mailto:johnareis@gmail.com), [jcoliveira@ufu.br](mailto:jcoliveira@ufu.br), [carlosetavares@yahoo.com.br](mailto:carlosetavares@yahoo.com.br), [delaiba@ufu.br](mailto:delaiba@ufu.br)

**Resumo** - O presente artigo contempla o estabelecimento de procedimentos destinados à obtenção de expressões matemáticas para os limites de suportabilidade dielétricos e térmicos para equipamentos eletroeletrônicos, informações estas relevantes para os processos de análise de pedidos de indenização por danos elétricos. Os trabalhos encontram-se centrados em aparelhos televisores, de som e microcomputadores e envolvem uma estratégia laboratorial para realização de ensaios, à nível destrutivo, para a extração de informações requeridas pelos modelos propostos. Tais resultados encontram-se em consonância com os requisitos impostos pelos processos de análise, computacionais ou não, da consistência dos nexos causais entre distúrbios manifestados nas redes e eventuais danos físicos ocorridos nos produtos. A aplicabilidade do processo e dos resultados se justifica pelos crescentes interesses para a implementação de procedimentos sistematizados ao processo decisório dos requerimentos de indenização. Os resultados obtidos são, por fim, correlacionados com propostas atualmente disponibilizadas pela literatura.

**Palavras-Chave** - Suportabilidade de Equipamentos, Limites Dielétricos e Térmicos, Procedimentos para Avaliação de Pedidos de Indenização.

## A STRATEGY TOWARDS THE ACHIEVEMENT OF DIELECTRIC AND THERMAL WITHSTAND LIMITS OF ELECTRICAL APPLIANCES FOCUSING CONSUMER REFUNDING ANALYSIS

**Abstract** – The present paper is aimed at the establishment of procedures to obtain mathematical expressions for the dielectric and thermal withstand limits for electronics equipment. These are relevant information to the processes of analysis of claims by electrical damage. The work is centered on televisions, computers and microsystems and involves laboratory experiments for testing these devices at their destructive level to extract the information required by the proposed models. These results are consistent with the requirements imposed by the processes of analysis, computational or not, seeking

Artigo submetido em 20/04/2012. Primeira revisão em 10/06/2012, segunda revisão em 19/07/2012. Aceito para publicação em 20/07/2012 por recomendação do editor Henrique A.C. Braga

for the consistency of the causal nexus between disturbances manifested in networks and any physical damage to products. The applicability of the process and results is justified by the growing interest for the implementation of systematic procedures to decision-making requirements of the indemnity processes. The results are finally correlated with currently limits proposed in the literature.

**Keywords** – Equipment Withstand Limits, Dielectric and Thermal Supportability, Procedures for Evaluating Claims.

## I. INTRODUÇÃO

O grande número de pedidos de ressarcimento por danos em equipamentos elétricos e eletrônicos tem, nos últimos tempos, merecido a atenção das concessionárias de energia, agências de regulação, consumidores e outros órgãos governamentais. Tais preocupações estão associadas não apenas com os volumes financeiros envolvidos, mas, sobretudo, com os impactos sociais atrelados com solicitações, decisões, conflitos e outras questões que envolvem a relação entre as concessionárias de serviços públicos de distribuição e seus consumidores [1] e [2]. Visando oferecer informações gerais sobre o tema em foco, a Figura 1 expressa aspectos quantitativos sobre o número de solicitações encaminhadas para análise em 18 empresas distribuidoras de energia elétrica do Brasil, o qual possui um total de 64 concessionárias atuantes neste campo de atividades [3].

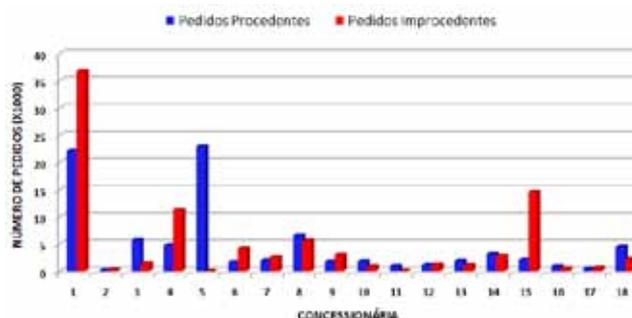


Fig. 1. Número de pedidos de indenização por danos elétricos – ano de 2010 – 18 empresas distribuidoras - [3].

Os números indicados e suas respectivas taxas de crescimento, somado aos montantes financeiros envolvidos

na questão dos processos indenizatórios, vêm motivando investigações direcionadas à melhoria do processo de análise das questões em foco, domínio e difusão do conhecimento da correlação entre os distúrbios e efeitos, maior transparência para os processos decisórios, assim como o fornecimento de diretrizes para o oferecimento de produtos que possuam um maior nível de suportabilidade diante dos distúrbios típicos nas redes elétricas [4]. De fato, a primeira destas frentes aponta no sentido do estabelecimento de um processo avaliativo dos pedidos de indenização de forma justa e coesa; a segunda visa à obtenção de dados que esclareçam sobre a relação entre as solicitações térmicas e dielétricas sobre os equipamentos; e a terceira contempla aspectos relacionados com melhorias da fabricação dos diversos componentes presentes nas instalações residenciais, comerciais e industriais, bem como a utilização de dispositivos mitigadores para minimizar os efeitos associados aos possíveis distúrbios ocorridos nas redes elétricas.

Embora tenham ocorrido avanços nestas questões, em que pese o desenvolvimento de meios embasados nos princípios clássicos da engenharia elétrica, devidamente materializados em métodos computacionais e outros [5] e [6], as publicações têm destacado uma grande carência de referências sobre curvas de suportabilidade dielétrica e térmica, entendendo-se sob tais designações: os valores limites de tensão e corrente que os equipamentos suportariam, no que se refere a amplitudes e tempos de exposição, sem a manifestação de danos de natureza física. Este fato se justifica pelas dificuldades inerentes a obtenção e execução de uma metodologia específica para levantamento das informações sobre os limites admissíveis de tensão e de corrente dos equipamentos eletroeletrônicos.

Tais indicadores, indiscutivelmente, constituem-se nas bases para o estabelecimento de um processo comparativo entre causas e efeitos, quando então os fenômenos manifestados nas redes e impactantes sobre os equipamentos são correlacionados com os padrões de suportabilidade dos produtos conduzindo, por fim, a existência ou não do nexo causal associado com a solicitação de ressarcimento em pauta. Portanto, dados específicos sobre os limites de tolerâncias ou curvas de suportabilidade que conduzam a uma sistemática coerente e embasada para a solução dos problemas em foco se apresenta como de suma importância para o aprimoramento das metodologias desenvolvidas e, conseqüentemente, para a confiabilidade das análises realizadas para balizar as decisões das concessionárias quanto aos pedidos de ressarcimento de danos [7].

Diante deste panorama, este artigo apresenta uma metodologia que consiste no estabelecimento de expressões matemáticas contemplando as distintas regiões para as quais ocorrem os fenômenos tipos nas redes elétricas. Tais equações, para suas definições, requerem informações que, no que tange a este trabalho, são derivadas de experimentos em laboratórios especializados. Estas estruturas e recursos, conforme esclarecido ao longo do artigo, visam a reprodução, num ambiente controlado, de distúrbios associados com descargas atmosféricas, sobretensões típicas de chaveamentos, efeitos advindos de acidentes, sobretensões de longa duração, dentre outros. Uma vez realizados os ensaios para tais categorias de fenômenos, cada qual levando o produto em teste até o seu nível destrutivo, permite, pois

obter os dados necessários para as equações de suportabilidade almeçadas, ou seja, que refletem os limites de suportabilidade dielétrica e térmica de equipamentos eletroeletrônicos.

Muito embora os autores tenham apresentado em [7] alguns dos resultados aqui considerados, vale lembrar que esta publicação ficou atrelada tão somente à apresentação de resultados práticos finais, sem maiores detalhamentos quanto: a caracterização da metodologia, formulação matemática para os limites dielétricos e térmicos, obtenção de bancos de dados e respectiva correlação com os requisitos das expressões. Somado a tais avanços, o trabalho em pauta ainda oferece, por fim, ao estabelecimento de termos comparativos com os padrões de suportabilidade tradicionalmente disponibilizados [5], [8].

Tendo em vista a grande diversidade de produtos existentes no mercado e utilizados pelos consumidores, e objetivando identificar aqueles mais comumente referidos nos pedidos de indenização, os trabalhos aqui conduzidos, com base nas informações contidas na Figura 2, que expressa, em ordem decrescente, os equipamentos com maior incidência de pedidos de ressarcimento, culminou pela escolha de: televisores, microcomputadores e aparelhos de som. Vale observar que as informações aqui contempladas correspondem a uma síntese de um banco de dados de uma região de uma concessionária de distribuição compreendendo uma população da ordem de 2.000.000 de habitantes.

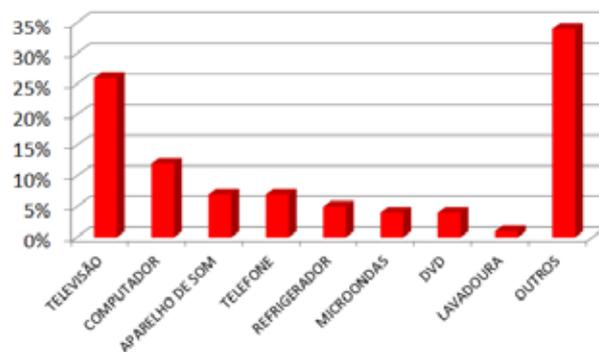


Fig. 2. Tipos de equipamentos reclamados para parte de uma empresa distribuidora do Brasil.

## II. SUPORTABILIDADE TÉRMICA

### A. Fundamentação da metodologia

Os fundamentos físicos utilizados para a obtenção dos limites térmicos traduzidos na forma das respectivas curvas de suportabilidade encontra sustentação no conceito da energia ( $I^2t$ ) dissipada e permitida pelos componentes que perfazem as partes mais sensíveis dos dispositivos.

Assim, para os estudos contemplados neste trabalho considera-se que a curva  $I^2t$ , correspondente à máxima energia suportável pelo equipamento, será considerada como constante para qualquer intensidade de corrente associada com o seu correspondente tempo de duração. Isto posto, segue que a equação 1 constitui-se no princípio físico para o modelo a ser estabelecido para a procurada curva de suportabilidade térmica.

$$\int_0^{T_D} [i(t)]^2 \cdot dt = I^2 \cdot T_D = J = cte \quad (1)$$

Sendo:

$i(t)$  – valor instantâneo da corrente responsável pela dissipação da energia térmica máxima admissível pelo equipamento;

$T_D$  – intervalo de tempo durante o qual o equipamento foi submetido ao esforço de corrente supra caracterizado;

$J$  – Energia máxima admitida pelo equipamento.

Uma vez determinada a energia máxima admissível pelo equipamento, valor este representado por  $J$  e que será adotado como constante para qualquer situação operacional, torna-se factível a obtenção de sua correspondente curva de suportabilidade térmica. Para tanto, basta obter, para cada intervalo de tempo de exposição aos esforços, o correspondente valor de corrente consonante com a energia total determinada. Assim, a partir da equação (1) podem ser escritas as expressões (2) e (3).

$$J = I^2 t \quad (2)$$

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \quad (3)$$

Em atenção aos procedimentos descritos, uma vez obtidas as informações numéricas que se fazem necessárias, torna-se possível obter as curvas de suportabilidade térmica, as quais, genericamente, se apresentarão com a forma ilustrada na Figura 3. Fisicamente, a interpretação dada para o desempenho da curva encontra-se embasada no fato que, quanto menor o valor da corrente impactante, maior será a tolerância para o tempo de exposição do produto ao fenômeno em questão.

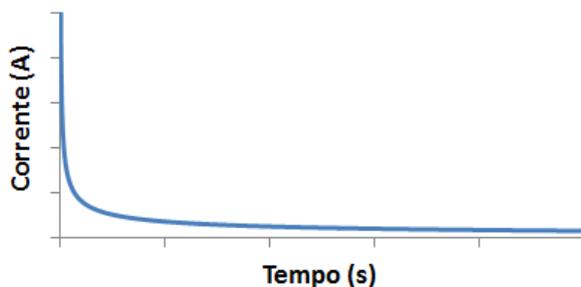


Fig. 3. Curva típica de suportabilidade térmica.

Na busca do nível de energia considerado como termicamente admissível pelo produto em análise, nos termos requeridos pela formulação proposta, optou-se pelo emprego dos efeitos associados com a incidência de uma descarga atmosférica nos terminais de alimentação do equipamento até que o seu limite térmico seja atingido. Para tanto, os trabalhos foram concebidos de forma tal a utilizar dos recursos disponibilizados por um laboratório de alta tensão, capaz de reproduzir, de forma programada, distúrbios típicos e representativos dos fenômenos impulsivos em pauta. A título de ilustração, a Figura 4 mostra formas de onda de uma corrente impactante (em azul) e da tensão (em vermelho). Através de uma inspeção visual das mesmas fica evidenciado o momento para o qual o dispositivo atingiu seu limite

térmico e a manifestação do dano físico. Os registros feitos permitem determinar propriedades importantes como: a forma de onda; intervalo de duração do fenômeno e amplitudes das grandezas, nos termos anteriormente referidos. Para o presente caso, pode-se observar que o impulso possui um valor de pico de 3,4 kA e um intervalo de exposição ( $T_D$ ) igual a 11,38  $\mu$ s. Neste instante houve a manifestação de danos físicos para o produto testado, constatação esta feita através da inspeção da respectiva onda de tensão, a qual, após tal tempo, evidencia uma forte queda de valor e um subsequente comportamento oscilatório.

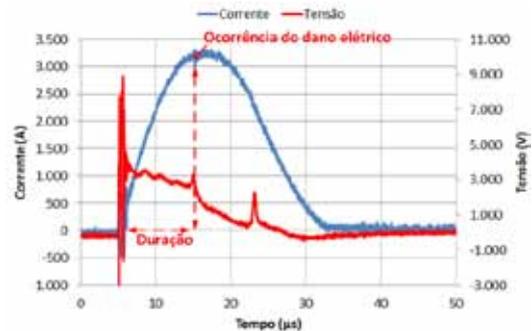


Fig. 4. Exemplo de teste de impulso de corrente aplicado a um equipamento.

A determinação da requerida máxima energia suportada pelo equipamento possui correspondência direta com a área demarcada na Figura 5. Esta informação corresponde àquela requerida pela equação (1) e reflete a energia térmica capaz de danificar o produto, que é determinada pela integral da corrente instantânea quadrática em relação ao tempo.

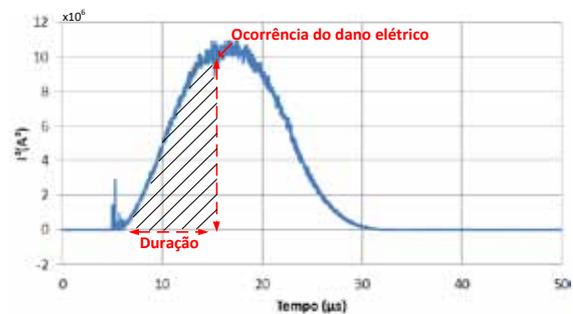


Fig. 5. Procedimento para a extração da energia máxima ( $I^2t$ ) admissível pelo equipamento.

### B. Obtenção laboratorial da energia térmica admissível

Como ressaltado, a estratégia empregada para a obtenção da energia máxima admissível pelo equipamento apoiou-se na realização de ensaios destrutivos empregando-se, para tanto, formas de onda de corrente injetadas com características próprias às descargas atmosféricas. Esta adoção se justifica pelas recomendações internacionais previstas pelos seguintes documentos: IEEE C6241, IEEE C6234, IEEE C6245, IEC 61643-1 e IEC 61000-4-5. Todos estes utilizam uma onda de corrente de 8 $\mu$ s por 20 $\mu$ s. O primeiro associado com o tempo de subida da onda e o segundo como representativo do intervalo de tempo necessário para que o impulso atinja 50% do respectivo valor de crista, como ilustra a Figura 6.

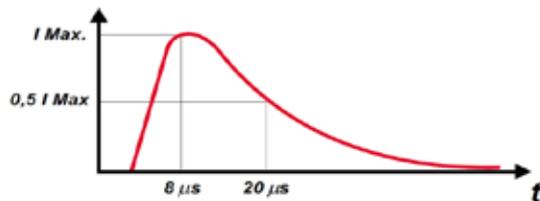


Fig. 6. Forma de onda padrão para o impulso de corrente.

Quanto ao arranjo laboratorial empregado, este consiste em recursos disponibilizados por um laboratório de alta tensão típico. Para fins dos estudos em foco foram utilizadas as instalações da Universidade Federal de Itajubá, a qual dispõe, dentre outros, uma fonte de impulsos de corrente que permite reproduzir valores de pico de até 80 kA, com uma energia de 20 kJ.

A Figura 7 sintetiza os componentes que perfizeram a montagem feita, onde se constata: o equipamento gerador de impulsos, os medidores e sensores, um medidor de energia (como encontrado nas instalações elétricas) e o equipamento focado no teste.

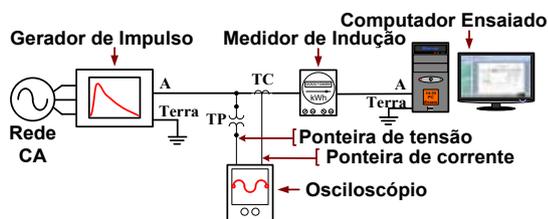


Fig. 7. Principais componentes da estrutura experimental utilizada para a obtenção da energia térmica admissível pelos equipamentos.

### C. Curvas de suportabilidade térmica

Muito embora o reconhecimento que os trabalhos aqui descritos reflitam apenas uma amostra da diversidade de produtos comerciais envolvidos nos processos de pedidos de indenização, é importante esclarecer que a proposta aqui feita consiste num primeiro passo em direção à obtenção dos limites térmicos dos equipamentos existentes nas residências dos consumidores. De fato, as limitações de ordem econômica e de tempo conduziram a uma pré-seleção dos dispositivos quanto aos seus tipos de fabricantes, como identificado posteriormente.

Tendo em vista o número de equipamentos e testes realizados, para fins ilustrativos, serão mostrados, na sequência, os detalhes dos procedimentos para apenas um exemplar de cada família de equipamentos e, ao final, serão sintetizados os desempenhos para todos os demais dispositivos ensaiados.

#### 1) Aparelhos Televisores

Visando o estabelecimento dos limites térmicos para televisores, e tendo por foco que, na atualidade, os pedidos de indenização são direcionados a produtos mais difundidos entre os consumidores, a opção aqui feita recaiu sobre aparelhos CRT ou a tubos de raios catódicos. Muito embora o reconhecimento de uma vasta gama de equipamentos quanto aos seus modelos e marcas, a orientação oferecida pela maior incidência das reclamações resultou na escolha de: 3 (três) televisores de 29" e 2 (dois) televisores de 21", como destacado na Tabela 1, a qual ressalta também os resultados

dos testes de desempenho quanto aos limites de energia térmica.

**TABELA I**  
**Síntese dos Resultados Laboratoriais – Energia Térmica Máxima - Televisores**

Televisor	Ecrã	Duração t(s)	Energia J(A <sup>2</sup> · s)
Televisor 1	29"	11,38 μs	60,45
Televisor 2	29"	11,10 μs	67,22
Televisor 3	29"	12,00 μs	55,62
Televisor 4	21"	7,25 μs	24,42
Televisor 5	21"	6,76 μs	20,56

A partir de expressões que correlacionam a energia admissível com os níveis de corrente e respectivos tempos de aplicação chega-se às curvas de suportabilidade térmica requeridas. A Figura 8, a título de ilustração, mostra as relações entre as correntes e respectivos tempos de duração para um televisor de 29", para o caso, o de menor tolerância térmica.

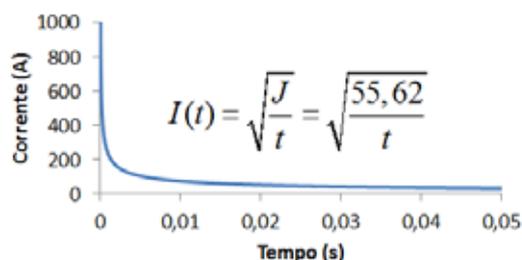


Fig. 8. Curva de suportabilidade térmica – televisor de 29".

#### 2) Aparelhos de Som

Para o caso dos aparelhos de som, os procedimentos anteriores conduziram aos resultados indicados na Tabela 2.

**TABELA II**  
**Síntese dos Resultados Laboratoriais – Energia Térmica Máxima – Aparelhos de Som**

Aparelho de Som	Condição	Duração t(s)	Energia J(A <sup>2</sup> · s)
Aparelho de Som 1	Novo	10,71 μs	69,69
Aparelho de Som 2	Novo	9,38 μs	72,59
Aparelho de Som 3	Usado	7,06 μs	77,35

Dentro da mesma lógica já comentada, a Figura 9 ilustra a curva associada com o aparelho de som com menor tolerância para a energia térmica.

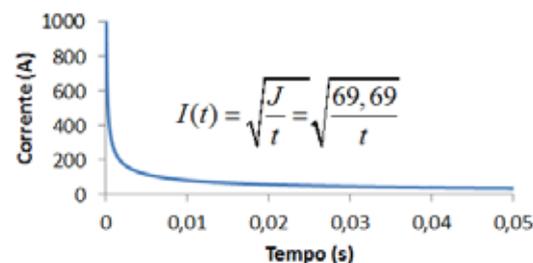


Fig. 9. Curva de suportabilidade térmica do aparelho de som com menor energia admissível.

#### 3) Microcomputadores

Quanto aos computadores, os testes feitos compreenderam dois grandes grupos. Um primeiro com a presença de

estabilizadores e, um segundo, sem tais recursos. As Tabelas III e IV indicam os resultados obtidos, as quais conduziram, ilustrativamente, às curvas térmicas limites das Figuras 10 e 11.

**TABELA III**  
**Síntese dos Resultados Laboratoriais – Energia Térmica Máxima – Computadores com Estabilizador**

Microcomputadores	Duração t(s)	Energia J(A <sup>2</sup> · s)
Com estabilizador 01	17,72	97,48
Com estabilizador 02	15,38	100,13
Com estabilizador 03	16,0	108,52
Com estabilizador 04	18,0	120,15
Com estabilizador 05	12,43	84,63
Com estabilizador 06	15,33	108,48

**TABELA IV**  
**Síntese dos Resultados Laboratoriais – Energia Térmica Máxima – Computadores sem Estabilizador**

Microcomputadores	Duração t(s)	Energia J(A <sup>2</sup> · s)
Sem estabilizador 01	12,67	67,72
Sem estabilizador 02	13,0	73,11
Sem estabilizador 03	16,0	73,42
Sem estabilizador 04	13,52	77,36

Uma observação importante refere-se ao fato que o emprego ou não de estabilizadores implica em substanciais alterações para as curvas térmicas finais, e ainda, em função da similaridade entre os desempenhos obtidos para os produtos de uma mesma família, apenas o de menor valor de energia foi empregado para o traçado gráfico.

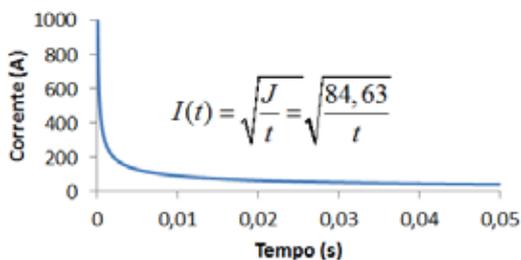


Fig. 10 – Curva de suportabilidade térmica do microcomputador com menor energia admissível - com estabilizador.

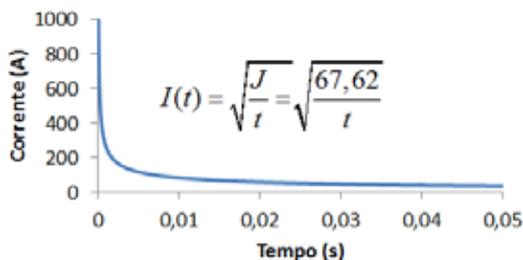


Fig. 11. Curva de suportabilidade térmica do microcomputador com menor energia admissível - sem estabilizador.

### III. SUPORTABILIDADE DIELETRICA

#### A. Fundamentação da metodologia

A curva representativa dos limites de tensão em função do tempo de exposição, nos termos sugeridos pela Figura 12, se apresenta com um eixo vertical, representando os níveis de tensão responsáveis pela ruptura do isolamento, e um

horizontal, expressando o tempo de exposição do produto à sua respectiva tensão.

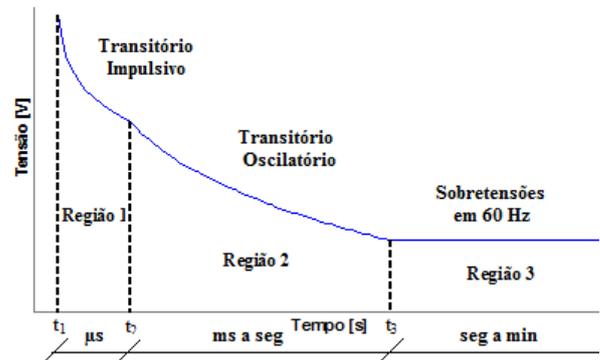


Fig. 12. Curva típica de suportabilidade dielétrica.

Como indicado, a característica completa compreende três regiões com objetivos distintos, uma destinada a representar os fenômenos transitórios impulsivos; outra visando a inserção dos distúrbios de oscilatória e, por fim uma terceira, representativa das sobretensões em 60 Hz. Estas caracterizações se destinam a contemplar, respectivamente, fenômenos típicos manifestados nas redes elétricas, a exemplo de: descargas atmosféricas; ação de religadores, chaveamentos de bancos de capacitores, dentre outros; e, por fim, ocorrências atreladas com elevações da tensão nominal por tempos maiores e intensidades moderadas, como ocorre quando de perdas de carga e outros.

À luz do fato que a primeira seção do traçado envolve tempos da ordem de  $\mu s$ , e a última, intervalos de cerca de alguns segundos, optou-se pela utilização de funções logarítmicas para a representação matemática das curvas de suportabilidade, conforme indicado pela equação (4).

$$V(t) = \alpha \cdot \log t + \beta \quad (4)$$

Onde  $V(t)$  deve ser entendido como um valor de tensão admitido pelo equipamento durante um intervalo de exposição definido por  $t$ , o qual seria capaz de impactar nocivamente na estrutura do produto em análise. Nestes termos, conhecendo-se, por exemplo, os valores da função  $V(t)$  para dois instantes distintos,  $t_1$  e  $t_2$ , obtém-se para o primeiro segmento:

$$\alpha = \frac{Y(t_2) - Y(t_1)}{\log t_2 - \log t_1} \quad \text{e} \quad \beta = Y(t_1) - \alpha \cdot \log t_1 \quad (5)$$

Os demais segmentos seguem a mesma particularidade, utilizando-se de (4) com os seus coeficientes determinados nos termos estabelecidos pela equação (5).

#### B. Estratégia laboratorial para obtenção dos limites de tensão admissíveis

A estratégia aqui empregada consiste na realização de ensaios, a nível destrutivo, compreendendo os seguintes eventos:

- Sobretensões moderadas – manifestadas nos circuitos de baixa tensão em 60 Hz e destinadas à avaliação de desempenho dos equipamentos sob condições de níveis de tensão representativos de distúrbios típicos

manifestados nas redes de distribuição;

- Sobretensões extremas – representativas da ocorrência de fenômenos que conduzem a níveis bastante elevados de tensão em 60 Hz, a exemplo de uma queda de cabos de média tensão sobre os condutores de baixa tensão. Este é um fenômeno manifestado quando de acidentes que rompem os condutores, por exemplo, em 13,8 kV, os quais entram em contato com os cabos de baixa tensão;
- Transitórios impulsivos – visando a reprodução de fenômenos atrelados com a incidência de descargas atmosféricas sobre os condutores da rede de suprimento.

### 1) Ensaio 1 - Sobretensões moderadas em 60 Hz

Este destina-se à determinação dos pontos representativos da curva de suportabilidade dielétrica dos equipamentos para a denominada região 3 da curva de suportabilidade. Para o cumprimento desta meta utilizou-se de uma fonte programável de tensões, através da qual foi possível aumentar a tensão aplicada até que a suportabilidade dielétrica do aparelho fosse ultrapassada, ocasionando, por consequência, danos físicos no produto ensaiado.

A estrutura física utilizada compreendeu: uma fonte de tensão, com características programáveis, marca HP, modelo HP 6834 A; um transformador de 15 kVA de relação de transformação de 220/800 V; e um osciloscópio digital para a aquisição das formas de onda de tensão e corrente. Este arranjo é indicado na Figura 13.

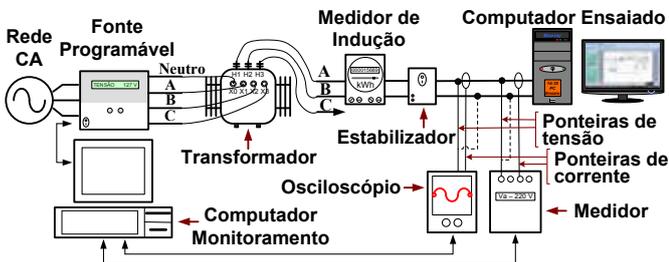


Fig. 13. Principais componentes da estrutura experimental utilizada para a realização de ensaios com sobretensões moderadas em 60 Hz.

### 2) Ensaio 2 - Sobretensões extremas em 60 Hz

Tendo em vista que muitas ocorrências nas redes de distribuição acontecem na forma de uma ruptura dos cabos de média tensão e respectivas incidências sobre os alimentadores em baixa tensão, isto resulta em que, até a atuação da proteção, as fases da baixa tensão encontram-se submetidas às mesmas magnitudes das tensões e frequências que os circuitos de média tensão. Diante desta realidade foi estabelecida, laboratorialmente, uma estrutura física destinada à reprodução de tal distúrbio operacional através do arranjo físico indicado na Figura 14.

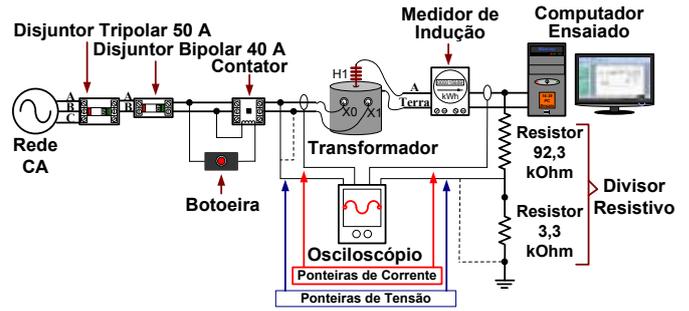


Fig. 14. Principais componentes da estrutura experimental utilizada para a realização de ensaios com sobretensões extremas em 60 Hz.

O transformador monofásico, de 5 kVA, de relação de transformação de 7.967/240 V viabilizou a sobretensão extrema que se faz incidir sobre o produto em teste e, para o controle do instante de incidência do fenômeno e sua retirada, foi empregado um arranjo constituído por contatores, botoeiras e disjuntores de proteção, todos indicados no diagrama esquemático. Também, visando uma melhor identidade quanto a forma de conexão do consumidor com a rede de alimentação, foi adicionado um medidor de energia de indução inserido entre o ponto de ocorrência do distúrbio e o equipamento sob teste.

### 3) Ensaio 3 - Transitórios impulsivos

Para a reprodução das descargas os trabalhos foram embasados em estruturas existentes em laboratórios de alta tensão, como o da Figura 15.

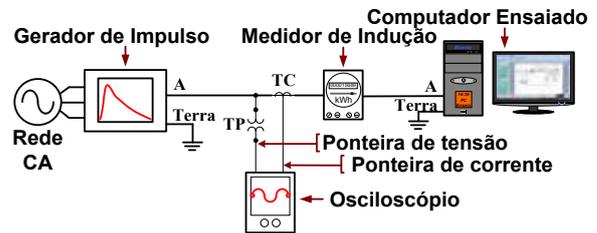


Fig. 15. Principais componentes da estrutura experimental utilizada para a realização de ensaios com descargas atmosféricas.

Na Figura 16 tem-se uma visualização do Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá, utilizado para os fins aqui definidos.



Fig. 16. Laboratório de alta tensão da UNIFEL.

### C. Curvas de suportabilidade dielétrica

Em consonância com os procedimentos empregados para os estudos de natureza térmica, apresenta-se, a seguir, os resultados obtidos para as tensões, à nível destrutivo, que formam o banco de dados para as definições das expressões matemáticas representativas dos limites dielétricos para os

equipamentos sob investigação. Vale destacar que as três categorias de ensaios foram agrupadas para cada um dos produtos ensaiados.

### 1) Aparelhos Televisores

Os valores de tensão e respectivos tempos de exposição até a ocorrência de danos físicos, para os televisores contemplados nos estudos, encontram-se sintetizados na Tabela 5.

**TABELA V**

**Síntese dos Resultados Laboratoriais – Tensões Limites para os Televisores**

Televisor	Ecrã	Ensaio	Tensão (V)	Duração t(s)
Televisor 1	21"	Ensaio 1	622	0,78
Televisor 2	21"	Ensaio 2	600	0,1
Televisor 3	29"	Ensaio 2	600	0,23
Televisor 4	29"	Ensaio 2	600	0,600
Televisor 5	29"	Ensaio 2	1600	0,11
Televisor 6	21"	Ensaio 3	3980,0	7,25 · 10 <sup>-6</sup>
Televisor 7	21"	Ensaio 3	3862,0	6,76 · 10 <sup>-6</sup>
Televisor 8	29"	Ensaio 3	4136,3	11,10 · 10 <sup>-6</sup>
Televisor 9	29"	Ensaio 3	4043,0	11,38 · 10 <sup>-6</sup>
Televisor 10	29"	Ensaio 3	4077,0	12,00 · 10 <sup>-6</sup>

A título de ilustração tem-se na Figura 17 o gráfico indicativo da curva de suportabilidade de tensão para um televisor de 29". Os resultados para os demais aparelhos podem ser encontrados em [9].

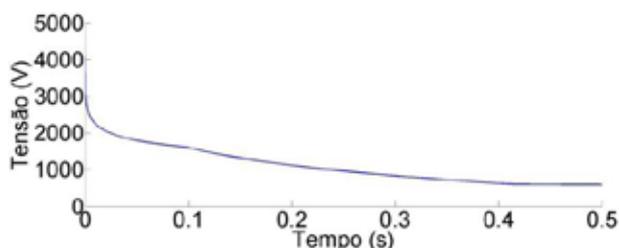


Fig. 17. Curva de suportabilidade dielétrica para televisores de 29" com menor tolerância dielétrica.

### 2) Aparelhos de Som

De forma similar, os testes realizados com os aparelhos de som conduziram aos resultados da tabela 6.

**TABELA VI**

**Síntese dos Resultados Laboratoriais – Tensões Limites para os Aparelhos de Som**

Aparelho de Som	Ensaio	Tensão (V)	Duração t(s)
Aparelho de som 1	Ensaio 2	2399	0,1
Aparelho de som 2	Ensaio 2	2000	0,250
Aparelho de som 3	Ensaio 2	2400	0,1
Aparelho de som 4	Ensaio 3	3436,5	10,71 · 10 <sup>-6</sup>
Aparelho de som 5	Ensaio 3	5616,7	7,06 · 10 <sup>-6</sup>
Aparelho de som 6	Ensaio 3	5598,0	9,38 · 10 <sup>-6</sup>

Com base nos dados apresentados, indica-se, a seguir, a curva de suportabilidade dielétrica adotada para um dos produtos em questão. Tendo em vista a similaridade entre os resultados, apenas um único traçado foi feito, o qual passa a representar o elenco dos equipamentos testados.

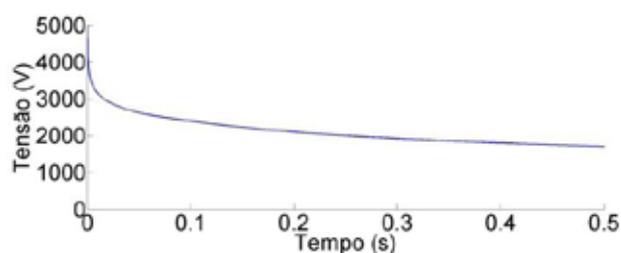


Fig. 18. Curva de suportabilidade dielétrica para aparelhos de som com menor tolerância dielétrica.

### 3) Microcomputadores

Quanto aos microcomputadores, respeitando-se a presença ou não dos estabilizadores, os desempenhos experimentais obtidos encontram-se indicados na Tabela 7.

**TABELA VII**

**Síntese dos Resultados Laboratoriais – Tensões Limites para os Televisores**

Microcomputador	Estab.	Ensaio	Tensão (V)	Duração t(s)
Microcomputador 1	não	Ensaio 1	560	4,8s
Microcomputador 2	sim	Ensaio 1	622	0,5s
Microcomputador 3	sim	Ensaio 2	2000	0,12
Microcomputador 4	sim	Ensaio 2	1600	0,25
Microcomputador 5	sim	Ensaio 3	4304,24	17,72 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 6	sim	Ensaio 3	3822,19	15,38 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 7	sim	Ensaio 3	4055,44	16,00 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 8	sim	Ensaio 3	4341,56	18,00 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 9	sim	Ensaio 3	3523,63	12,43 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 10	sim	Ensaio 3	4130,08	15,33 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 11	não	Ensaio 3	3747,55	12,67 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 12	não	Ensaio 3	4913,8	13,00 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 13	não	Ensaio 3	4938,68	16,00 · 10 <sup>-6</sup>
Microcomputador 14	não	Ensaio 3	5056,86	13,52 · 10 <sup>-6</sup>

Na Figura 19 tem-se o gráfico indicativo dos limites de tensão para um dos produtos testados, sem a presença do estabilizador de tensão.

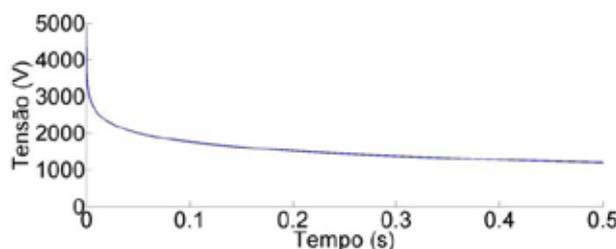


Fig. 19. Curva de suportabilidade dielétrica para o microcomputador com menor tolerância dielétrica – sem estabilizador.

## IV. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS COM OS DISPONÍVEIS NA LITERATURA

O estabelecimento de termos comparativos entre as propostas de suportabilidade encontradas na literatura e as aqui obtidas, tem por finalidade avaliar o grau de aderência que os limites tradicionalmente empregados possuem em relação aos resultados advindos dos trabalhos aqui realizados.

No que se refere aos limites térmicos, tais considerações não são possíveis de serem feitas visto a inexistência de referências que permitam tal correlação. Exceção se faz quando se considera [8], a qual utiliza como tolerâncias

térmicas os valores previstos para os diodos que compõem as fontes chaveadas dos equipamentos. Feita tal ressalva, a Figura 20 permite uma pronta visualização dos limites obtidos neste artigo e aquele vinculado com o  $I^2t$  encontrado em catálogos de diodos. Com clareza fica evidenciada uma expressiva discrepância entre os valores, fato este que justifica, quando da realização dos testes destrutivos, a não manifestação de queima dos diodos, mais sim, de: fusíveis, trilhas das placas eletrônicas e varistores.

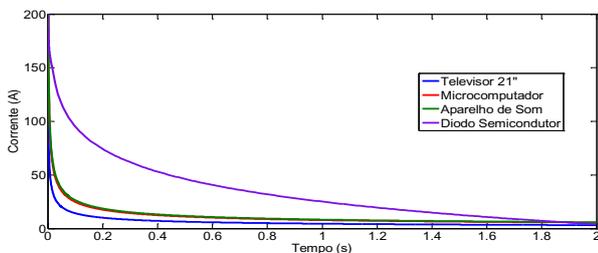


Fig. 20. Análise comparativa entre as curvas de suportabilidade térmica para eletroeletrônicos – característica obtida versus procedimentos clássicos.

Quanto aos limites dielétricos, estes, diferentemente dos térmicos, podem ser encontrados em publicações nacionais e internacionais, [10], [11] e [12]. Portanto, no que se refere aos equipamentos testados (televisores, aparelhos de som e computadores), os limites dielétricos obtidos para estes dispositivos, em relação às recomendações existentes, podem ser comparativamente analisados, como ilustrado nas Figuras 21, 22 e 23. Como se observa, de um modo geral, os limites propostos se apresentam com tolerâncias superiores aos padrões tradicionalmente disponibilizados.

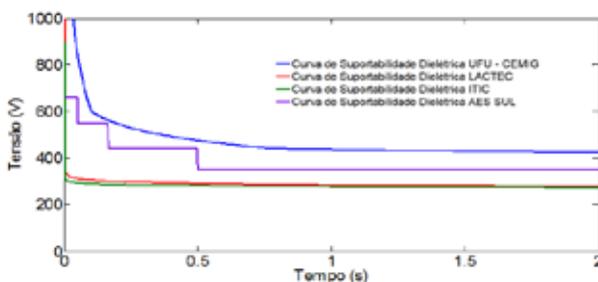


Fig. 21. Curvas de suportabilidade dielétrica para aparelhos televisores – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais.

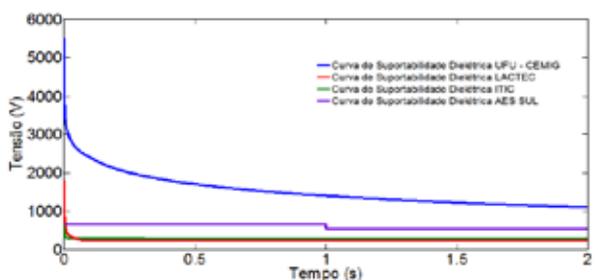


Fig. 22. Curvas de suportabilidade dielétrica para aparelhos de som – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais.

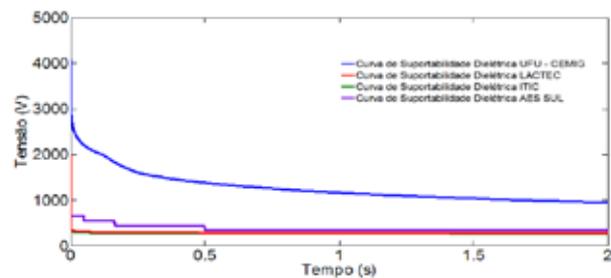


Fig. 23. Curvas de suportabilidade dielétrica para microcomputadores – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais.

## V. CONCLUSÕES

O presente artigo, centrado nas questões relacionadas com os limites térmicos e dielétricos admissíveis por três tipos de produtos, foi direcionado ao estabelecimento de meios para os estudos da consistência da controversa correlação entre distúrbios e efeitos manifestados na forma de danos em equipamentos eletroeletrônicos.

As atividades desenvolvidas foram voltadas, num primeiro momento, para o estabelecimento de uma proposta para modelagem matemática dos limites de tolerância aos efeitos térmicos e dielétricos impactantes sobre os produtos e advindos de anomalias operacionais encontradas nas redes elétricas de distribuição.

Quanto aos fundamentos para a obtenção das curvas térmicas, há de se reconhecer que estas empregaram conceitos tradicionais associados com a máxima energia suportável pelos dispositivos quando estes se encontram submetidos a altos níveis de corrente. No que se refere aos limites dielétricos, os fundamentos utilizados foram integralmente apoiados em ensaios destrutivos via estruturas laboratoriais especiais para a realização de ensaios à frequência industrial ou 60 Hz e descargas atmosféricas.

A partir dos resultados obtidos dos ensaios experimentais foram então extraídas as informações requeridas para o estabelecimento de propostas para as curvas de suportabilidade dielétrica e térmica para os produtos avaliados. Por fim, os resultados materializados na forma de gráficos representativos dos limites admissíveis foram traçados e comparativamente avaliados à luz das referências até então disponibilizadas pela literatura. Uma análise crítica entre as proposições feitas e aquelas tradicionalmente disponibilizadas pela literatura revelam que as novas curvas obtidas passam a oferecer num conjunto relevante de informações ao processo de análise dos pedidos de ressarcimento e, de modo claro, as mesmas se mostram com níveis de suportabilidade superiores àquelas até então empregadas. Estas novas orientações foram aqui denominadas por curvas UFU-CEMIG visto que os trabalhos investigativos aqui realizados são provenientes de um projeto de P&D firmado entre estas instituições, ressalvando-se que as mesmas foram desenvolvidas e encontram-se direcionadas a contemplar tão somente os tipos de equipamentos analisados.

## REFERÊNCIAS

## DADOS BIOGRÁFICOS

- [1] R. C. Dugan, M. F. Mcgranaghan, S. Santoso, H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, 2<sup>nd</sup> Edition. USA: McGraw-Hill, 2003.
- [2] M. H. J. Bollen, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, Piscataway, IEEE Press, 2000.
- [3] N. Kagan, A. C. O. Salomão, A. W. Borges, “A Responsabilidade Civil das Concessionárias de Energia Elétrica por Danos Elétricos Ocasionados ao Consumidor”, *Revista do Direito da Energia – RDE*, vol. 11, Maio 2012.
- [4] F. V. R. Silva, J. B. Vieira Jr., E. A. A. Coelho, V. J. Farias, L. C. Freitas, “Amplificador Classe D de Potência Utilizando em Fonte CA Programável Empregada para Realizar Testes de Desempenho de Equipamentos Eletrônicos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, *Revista Eletrônica de Potência – SOBRAEP*, vol. 14, Nº 1, Fevereiro 2009.
- [5] C. E. Tavares, J. C. de Oliveira, M. V. B. Mendonça, A. C. Delaiba, R. M. T. Silva, “An Approach for Consumers Refunding Analysis Associated to Voltage Disturbances and Equipment Damages”, *Revista Eletrônica de Potência – SOBRAEP*, vol. 13, Nº 1, Fevereiro 2008.
- [6] N. Kagan, N. M. Matsuo, L. Ferrari, S. X. Duarte, C. A. Penin, I. T. Domingues, A. J. Monteiro, “Methodology for Support and Analysis of Indemnity Requests due to Electrical Equipment Damaged in Eletropaulo Costumers”, *ICHQP*, São Paulo, 2002.
- [7] C. E. Tavares, “Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores”, Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia, 2008.
- [8] I. N. Gondim, C. E. Tavares, J. A. F. Barbosa Jr., J. C. de Oliveira, A. C. Delaiba, “Electronic Equipment Dielectric and Thermal Withstand Capability Curve for Refunding Analysis Purposes”, *EPQU*, Lisboa, Outubro 2011.
- [9] A. C. Delaiba, J. C. Oliveira, I. N. Gondim, C. E. Tavares, “Metodologia para Análise de Ressarcimento de Equipamentos Eletroeletrônicos Incluindo Dispositivos Mitigadores”, *CITENEL*, Fortaleza, Agosto 2011.
- [10] ITI (CBEMA) Curve Application Note [Online]. Disponível em: <http://www.itic.org/clientuploads>, acessado em junho de 2012.
- [11] M. D. Teixeira, R. L. Araújo, L. M. Ardjomand, A. R. Aoki, N. S. R. Quoirin, I. Wunderlich, “Acceptable Power Quality Limits to Avoid Damages in Appliances”, *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, Issue 5, vol. 4, May 2005.
- [12] N. C. Jesus, H. R. P. M. Oliveira, M. L. B. Martinez, “Residential appliances performance evaluation due to overvoltage” - *XVIII Brazilian Seminar on Power Generation and Transmission*, Curitiba, 2005.

**Isaque Nogueira Gondim**, nasceu em Araporã – MG, Brazil. Graduou-se e obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente atua como pesquisador nas áreas de Sistemas Elétricos de Potência e Qualidade da Energia Elétrica.

**João Areis Ferreira Barbosa Junior**, nasceu em Rio Verde-GO, Brasil. Obteve o título de Bacharel em Engenharia Elétrica em 2007 na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e o título de Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em 2009. Atualmente é Doutorando em Engenharia Elétrica na UFU – Brasil.

**José Carlos de Oliveira**, nasceu em Itajubá-MG, Brasil. Graduou-se e obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), e de PhD pelo Instituto de Ciências e Tecnologia da Universidade de Manchester, em Manchester - Reino Unido. Atualmente, trabalha como pesquisador e professor na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Tem lecionado e publicado sobre vários assuntos relacionados com Sistemas Elétricos de Potência e Qualidade da Energia Elétrica

**Carlos Eduardo Tavares**, nasceu em Juiz de Fora-MG, Brasil. Graduou-se em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ). Obteve o título de Mestre e Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) onde, atualmente, trabalha como professor e atua como pesquisador nas áreas de Sistemas Elétricos de Potência e Qualidade da Energia Elétrica.

**Antônio Carlos Delaiba**, nasceu em Botucatu-SP, Brasil. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Fundação Educacional de Barretos (FEB). Obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela USP-SP (São Carlos) e, de Doutor na USP-SP (capital). Atualmente, trabalha como pesquisador e professor na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Tem lecionado e publicado sobre vários assuntos relacionados com Sistemas Elétricos de Potência e Qualidade da Energia Elétrica.