



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

## **GRUPO - VIII**

### **GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE**

#### **TECNOLOGIA DE “DETECÇÃO DE CORONA POR ULTRAVIOLETA” – MAIOR CONFIABILIDADE PARA O SETOR ELÉTRICO? - A EXPERIÊNCIA DE FURNAS**

**Laerte dos Santos (\*)  
FURNAS**

**Marcelo de Oliveira M. Filho  
FURNAS**

**Rodolfo Vieira da Silva  
FURNAS**

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta a tecnologia de Detecção de Corona por UV e resultados de ensaios realizados em laboratório e em campo, os quais mostram suas limitações. Limitações que, caso não sejam conhecidas e ponderadas, podem influenciar consideravelmente na análise e diagnóstico dos defeitos encontrados e consequentemente na tomada de decisão. Os ensaios em laboratório foram realizados utilizando duas das câmeras mais comercializadas atualmente e, como fontes de radiação ultravioleta, lâmpadas com diferentes comprimentos de onda para simular o efeito corona e a parte da radiação do Sol. Este trabalho mostra ainda, as diversas aplicações da Detecção de Corona por UV no Sistema FURNAS. Aplicação na detecção de poluição em linhas e isoladores de alta tensão, na substituição do ensaio de corona visual em estatores, na monitoração da atividade elétrica em trabalhos em linhas energizadas de Corrente Alternada e Corrente Contínua, na detecção de isolamentos deteriorados, na detecção de defeitos em equipamentos de subestação e no aprimoramento de projetos de alta tensão.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Inspeção, corona, alta tensão, radiação ultravioleta.

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

A aplicação de uma tecnologia, relativamente nova, vem crescendo no Setor Elétrico internacional e nacional. Batizada no Brasil de “Detecção de Corona por Ultravioleta”, é uma tecnologia de geração de imagem, não invasiva e não destrutiva que tem sido aplicada no Setor Elétrico como uma ferramenta de manutenção preditiva, com a grande vantagem de inspecionar os equipamentos em plena operação e a distâncias seguras.

Embora seu nome dê a entender a possibilidade de apenas detectar o efeito corona, é possível detectar e visualizar outros fenômenos físicos que liberam radiação ultravioleta.

A detecção do efeito corona, de descargas parciais e de arcos elétricos são particularmente importantes ao Setor Elétrico porque podem representar perdas de energia e/ou indicação de falha ao Sistema. Em alguns casos, são motivo de ações judiciais contra a empresa responsável, por gerar alto ruído e interferências de rádio e TV nas imediações da instalação elétrica.

Com o mercado de energia cada vez mais exigente é importante reduzir ao máximo as falhas e as perdas de energia. Os reparos, quando necessários, devem ser programados com razoável antecedência e executados no menor espaço de tempo possível. A Detecção de Corona por UV pode ajudar na busca dessas metas, desde que utilizada com o devido conhecimento de suas capacidades e limitações. Infelizmente pouca informação sobre essas limitações é divulgada, daí a motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

## 2.0 - A TECNOLOGIA DE DETECÇÃO DE CORONA POR ULTRAVIOLETA

Em geral o efeito corona, as descargas parciais e o arco elétrico são resultados da ionização de um gás, reduzindo sua isolamento e permitindo a passagem de uma corrente elétrica através dele.

A ionização pode ocorrer quando o gás é submetido a campos elétricos elevados (ionização por choque eletrônico), a altas temperaturas (ionização térmica) e/ou quando os átomos ou moléculas do gás absorvem energia eletromagnética suficiente para a ionização (fotoionização). Em sistemas elétricos de alta tensão a ionização por choque eletrônico é a mais comum devido aos altos campos elétricos envolvidos.

Durante o processo de ionização, os elétrons do gás ganham e liberam energia continuamente. Quando os elétrons liberam energia, ondas de luz são emitidas. O comprimento de onda dessa luz está relacionado ao gás que está sendo ionizado. No caso do ar, que contém cerca de 80% de gás nitrogênio, o espectro de luz é em sua maior parte de radiação ultravioleta (UV). Por essa razão, a tecnologia de Detecção de Corona por UV se fundamenta na detecção da radiação ultravioleta para, de forma indireta, localizar e visualizar os fenômenos elétricos que desencadeiam o processo de ionização [2]. Por outro lado, essa tecnologia é capaz também, de detectar outros fenômenos que produzam radiação ultravioleta.

A Detecção de Corona por UV é essencialmente uma câmera com tecnologia bi-espectral, isto é, possui dois detectores, um sensível à radiação UV e outro sensível à radiação visível. Ambos convertem a respectiva radiação em sinal elétrico. Os sinais elétricos resultantes são combinados, processados e convertidos em uma imagem composta, na qual se pode observar o fenômeno físico (UV) e sua exata localização (Visível), Figura 1.

Equipamento sob inspeção – Imagem Visível



Radiação Ultravioleta



Detector de Corona por UV



Imagens Visível e Ultravioleta combinadas

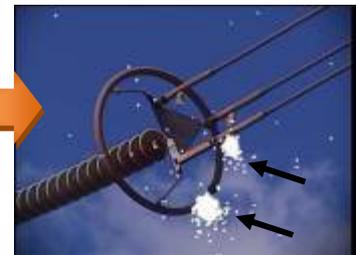


FIGURA 1 – Combinação da imagem visível e da radiação UV pela Detecção de Corona por UV. (Problema detectado em um anel anti-corona)

Conforme a NBR 5461, a radiação ultravioleta está dividida em UV-A (315 a 400 nm), UV-B (280 a 315 nm) e UV-C (100 a 280 nm) [1]. A faixa de operação da câmera está entre 240 e 280 nm, portanto na faixa de UV-C. O efeito corona, as descargas parciais e os arcos elétricos produzem radiação com maior intensidade na faixa de UV-A e UV-B e com menor intensidade na faixa de UV-C [4]. A razão para se escolher a faixa de UV-C é a não interferência da radiação emitida pelo Sol, uma vez que as radiações com comprimento de onda menor que 290 nm são absorvidas pela atmosfera. Para bloquear as radiações UV-A e UV-B do Sol, um filtro para radiações acima de 280 nm é utilizado. Assim é possível realizar inspeções diurnas sem a interferência da radiação solar. A Figura 2 mostra um típico diagrama de uma câmera de UV.

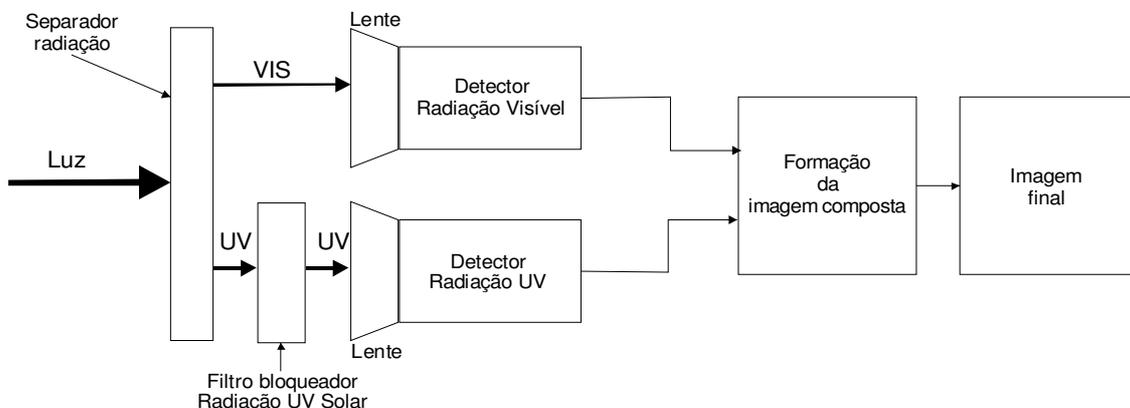


FIGURA 2. Esquema simplificado de uma câmera de detecção de corona por ultravioleta.

Além de visualizar o equipamento sob inspeção e o local onde está se desenvolvendo a atividade elétrica, a Detecção de Corona por UV se propõe a medir o número de fótons detectados em um determinado período de tempo, abrindo a possibilidade de tornar os resultados quantitativos, o que poderia auxiliar a relacionar os defeitos encontrados com o número de fótons emitidos.

Preocupada com a real capacidade da tecnologia e buscando uma melhor interpretação dos resultados obtidos, FURNAS, através do Centro Técnico de Ensaios e Medições – CTE.O, realizou ensaios em campo e em laboratório para avaliar as limitações e os potenciais da Detecção de Corona por UV.

### 3.0 - METODOLOGIA

#### 3.1 Ensaios em campo

Os ensaios em campo foram realizados durante inspeções preditivas em usinas, subestações e LTs. Quando atividades elétricas incomuns eram localizadas, dava-se início à monitoração dos parâmetros de interesse. Observações foram realizadas quanto à influência das variáveis ambientais sobre as atividades elétricas e às condições de inspeção sobre os resultados qualitativos obtidos pela câmera de UV.

##### 3.1.1 Observações

- a. Como já era esperado, a intensidade do efeito corona, resultado de poluição em isoladores, mostrou uma forte influência da umidade e chuva.
- b. Em casos em que a atividade elétrica era devido a irregularidades de superfície, como o exemplo da Figura 1, foi observada uma influência, porém, menor. É importante, portanto, procurar realizar inspeções em períodos do dia em que a umidade esteja alta. Para respeitar essa orientação e dependendo da região e estação do ano, usa-se inspecionar dentro de uma janela que vai do por do Sol ao nascer do Sol, com preferência antes do nascer do Sol, quando ocorre o ponto de orvalho.
- c. Em inspeções noturnas a câmera de UV apresenta outra dificuldade: a sensibilidade do detector de radiação visível. A baixa luminosidade, apesar de não prejudicar a detecção da radiação UV, prejudica muito a visualização do equipamento sob inspeção e a exata localização da fonte de UV. Nessa situação, uma lanterna de alta potência deve ser utilizada para melhorar a visibilidade. É importante observar que com baixa luminosidade fica difícil o ajuste de foco da câmera, o qual interfere na contagem de fótons.
- d. Como a maioria dos materiais utilizados em sistemas elétricos é opaca para a radiação UV, defeitos cuja fonte de UV não esteja em visada direta total ou parcial para a câmera não será detectado.
- e. Em geral as câmeras de UV comercializadas possuem lentes com campo de visão de ângulos reduzidos. Essa característica possibilita a localização de fontes de UV a grandes distâncias. No entanto, para curtas distâncias, como é o caso de subestações de baixa e média tensão e usinas, essa característica dificulta as inspeções.

#### 3.2 Ensaios em Laboratório

Nos ensaios em laboratório o foco foi sobre a detecção da radiação ultravioleta, propriamente dita, e os resultados quantitativos da câmera, isto é, a contagem de fótons.

Lâmpadas de ultravioleta com diferentes espectros de emissão foram utilizadas como fontes de radiação UV.

Uma lâmpada (L1) com pico de emissão em 253 nm (UV-C) foi utilizada para simular o efeito corona e outros fenômenos que emitem parte da radiação nessa faixa.

Uma lâmpada (L2) com picos em 470, 436 e 403 nm foi usada para simular parte das radiações do Sol e avaliar a possível influência nas leituras. O espectro de emissão das lâmpadas foi levantado por um espectrômetro do Laboratório de Óptica de Polímeros do Departamento de Física da UFMG. A Figura 3 mostra o equipamento.



FIGURA 3 – Foto do espectrômetro, Newport, modelo multi spec 77400.

O espectro de emissão das lâmpadas L1 e L2 é apresentado nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

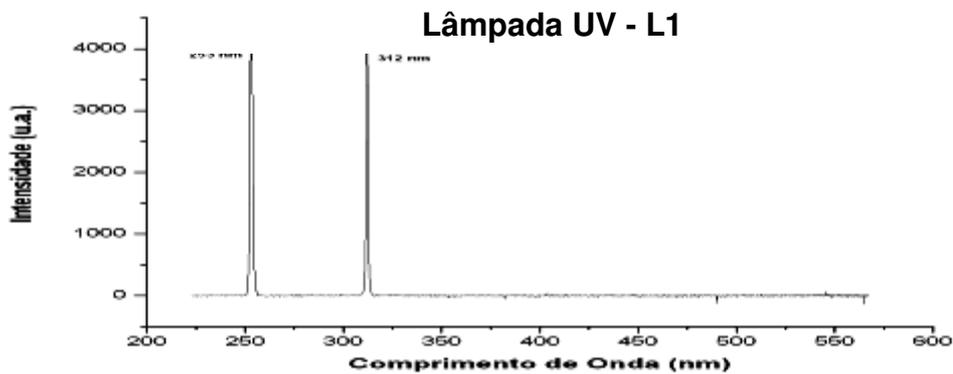


FIGURA 4 – Espectro de emissão da lâmpada L1

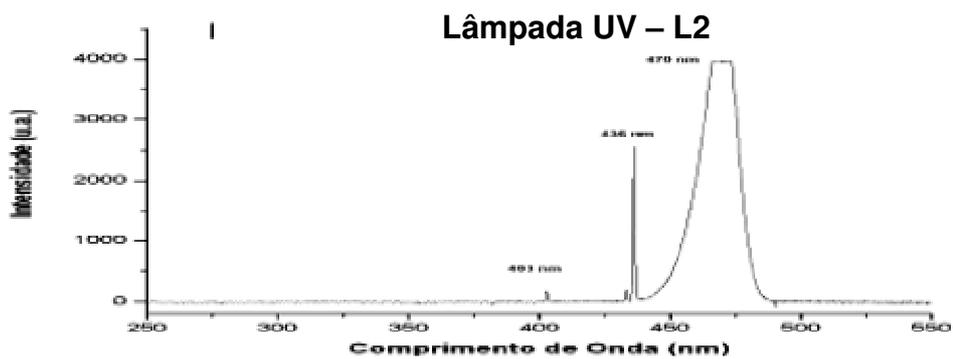


FIGURA 5 – Espectro de emissão da lâmpada L2

Foi confeccionada uma caixa, com um orifício de diâmetro variável entre 1 mm e 2 mm na parte frontal, para a instalação da lâmpada de UV. Duas das câmeras mais comercializadas atualmente foram usadas para detectar a radiação UV e fazer a contagem de fótons. O esquema do ensaio é apresentado na Figura 6.



FIGURA 6 – Esquema do ensaio em laboratório

### 3.2.1 Sequência dos Ensaios

- A etapa inicial deste trabalho avaliou a possível interferência das radiações de comprimento de onda da lâmpada L2 na visualização e/ou contagem de fótons pelas câmeras 1 e 2. A fonte de UV foi colocada a uma distância de 10 m das câmeras.
- Na etapa seguinte a lâmpada L2 foi substituída pela lâmpada L1. As câmeras de UV foram colocadas a 10 m de distância. O diâmetro do orifício frontal foi alternado para se determinar a influência do diâmetro da fonte de UV na contagem de fótons.
- Na seqüência, o diâmetro do orifício foi mantido fixo e o ganho das câmeras foi variado para se observar a relação com a contagem de fótons. O ajuste de ganho da câmera 1 é em degraus e da câmera 2 é contínuo.
- Em seguida, a distância entre a fonte UV e as câmeras foi variada para se definir a relação entre distância e a contagem de fótons. Nesse ensaio a atenuação atmosférica não foi considerada, visto que as distâncias foram inferiores a 40 m.
- Assim como as radiações das diferentes regiões do espectro eletromagnético, a radiação ultravioleta obedece às mesmas leis. Propaga-se em linha reta, reflete, refrata, é absorvida, interfere, apresenta espalhamento de feixe, pode ser enfocada e viaja, no vácuo, a uma velocidade de aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s. Assim sendo, foi avaliado o comportamento de alguns materiais empregados no Setor Elétrico (porcelana, vidro, alumínio, cobre, acrílico e mica) com relação à transmitância e refletância da radiação UV incidente.

### 3.2.2 Resultados

- Não foi observada interferência das radiações de comprimento de onda da lâmpada L2 na visualização e/ou contagem de fótons pelas câmeras 1 e 2, mas é bom ressaltar que o espectro de radiação Solar que atravessa a atmosfera se estende até cerca de 290 nm e o ensaio ideal seria com uma fonte UV que emitisse até esse comprimento de onda.
- Como já era previsto, a variação do diâmetro do orifício frontal alterou a visualização UV e a contagem de fótons.
- A variação de ganho da câmera 1 provocou uma variação da contagem de fótons sem nenhuma coerência, como mostra o gráfico da Figura 4. Por possuir ajuste de ganho contínuo, a câmera 2 não foi ensaiada.

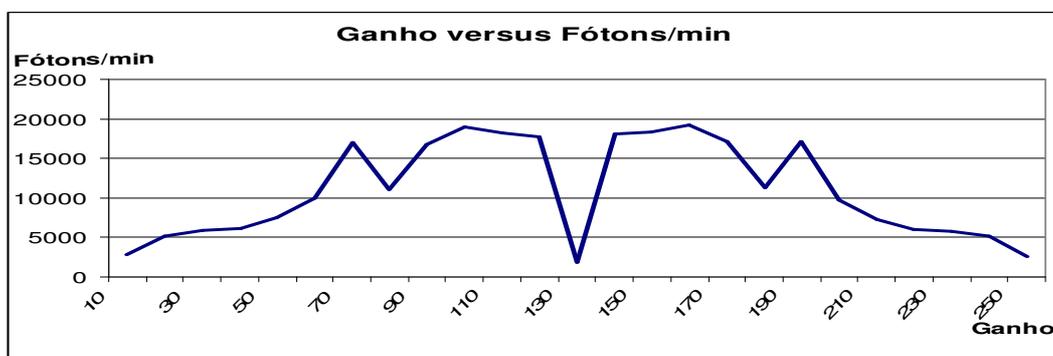


FIGURA 7 – Gráfico do Ganho versus Fótons/min

- d. A variação da distância entre a fonte UV e as câmeras resultou em uma variação da contagem de fótons, porém era esperada uma redução da contagem com o aumento da distância e não foi o que ocorreu, como mostra os dados da câmera 1 apresentados no gráfico da Figura 8.

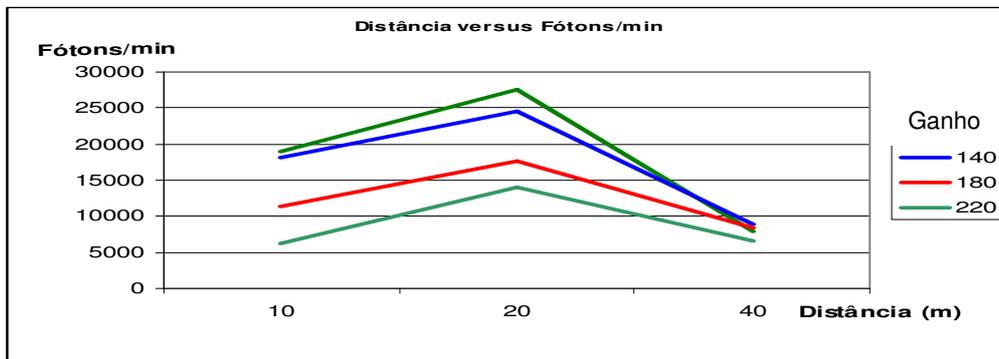


FIGURA 8 – Gráfico da Distância versus Fótons/min em ganhos variados.

- e. Todos os materiais ensaiados (porcelana, vidro, alumínio, cobre, acrílico e mica) apresentaram opacidade à radiação UV-C e a capacidade de refleti-la em algum grau.

### 3.3 Aplicações em FURNAS

A aplicação principal da Detecção de Corona por UV em Furnas tem sido a manutenção preditiva.

Inspeções são realizadas em usinas, subestações e LTs, com bons resultados como mostram os exemplos da Figura 9.

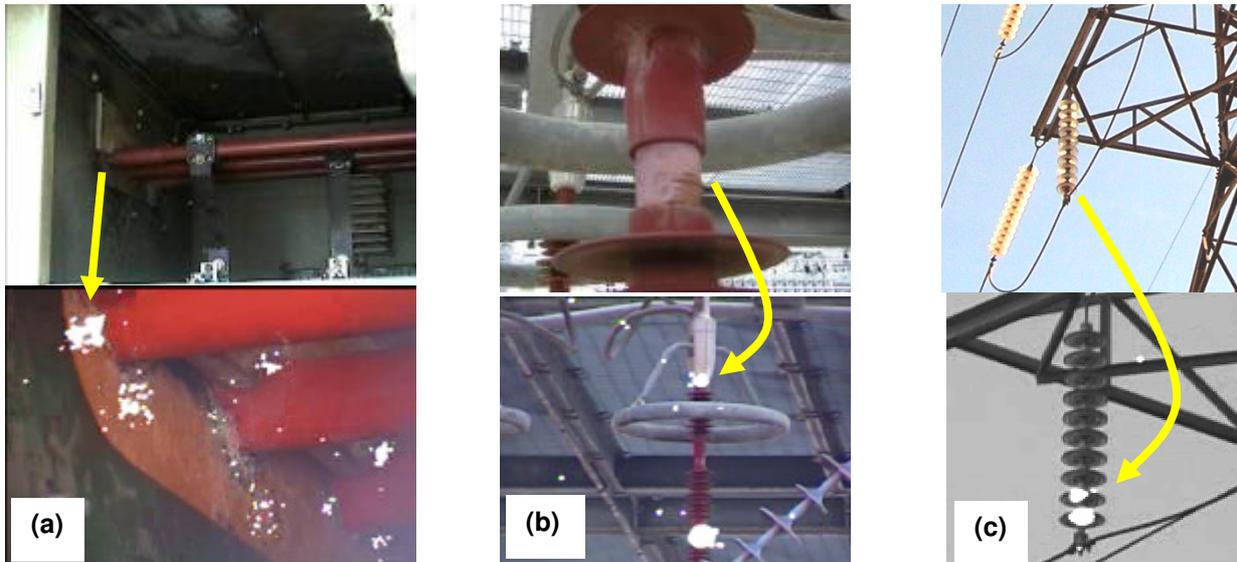


FIGURA 9 – (a) Isolação danificada em painel de 13,8 kV – (b) Deterioração de isolador polimérico do Banco de Capacitores – (c) Cadeia de isoladores de vidro com poluição.

Buscando aproveitar ao máximo as capacidades da Detecção de Corona por UV, FURNAS, através do Centro Técnico de Ensaios e Medições – CTE.O, tem realizado diversos ensaios na tentativa de descobrir novas aplicações para essa tecnologia. Nos itens abaixo são apresentadas algumas dessas novas aplicações.

- a. Monitoramento de trabalhos realizados em linhas energizadas. Uma vez que toda atividade elétrica pode ser visualizada, a Detecção de Corona por UV permite observar possíveis falhas em isolamento de equipamentos e acessórios. Foram monitorados trabalhos em linhas de CA e de CC. A Figura 10 mostra o momento de entrada no potencial em uma linha CC e CA e a grande diferença de radiação UV-C emitida nos dois casos.

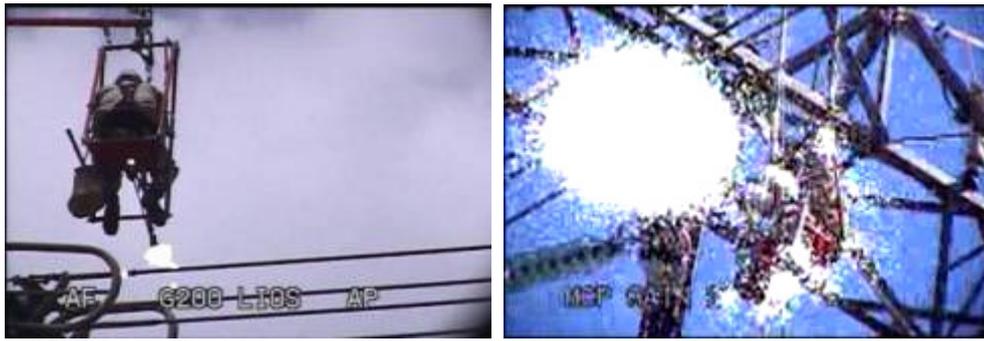


FIGURA 10 – Eletricista entrando no potencial de uma linha CC (esquerda) e CA (direita)

- b. Monitoramento de lavagem de isoladores de subestações e LTs, Figura 11.



FIGURA 11 – Foto da lavagem de isoladores de pedestal (esquerda) e imagem visível e UV combinadas.

- c. Auxílio ao Departamento de Combate a incêndio. Detecção de fogo a longas distâncias e ensaios com fogo gerado por diversos combustíveis, Figura 12.



FIGURA 12 – Emissão de UV-C gerado por chama de GLP (esquerda) e querosene (direita).

- d. Monitoração de soldas dos tipos MIG/MAG, TIG, oxi-corte, plasma e eletrodo revestido com o objetivo de observar a intensidade de emissão de radiação UV-C por cada uma delas, Figura 13.



FIGURA 13 – Monitoramento da emissão de UV-C em soldas.

- e. Substituição do ensaio de corona visual, em estator de gerador, pela detecção de corona por ultravioleta, aumentando a sensibilidade dos resultados e podendo ser executado a qualquer hora do dia, Figura 14.



FIGURA 14 – Monitoramento de efeito corona em estator de gerador

- f. Aprimoramento de projetos em alta tensão, Figura 15.

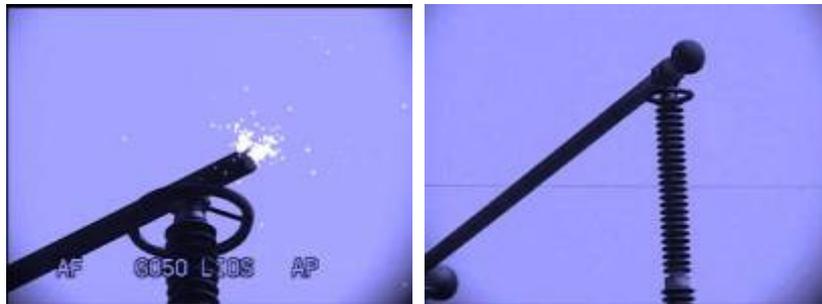


FIGURA 15 – Redução do efeito corona com a colocação da esfera anti-corona.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

Como pôde ser visto nas aplicações de FURNAS, a Detecção de Corona por UV já pode ser considerada como uma ferramenta muito útil para o Setor Elétrico. Contudo, é importante lembrar que existem influências atuando sobre a intensidade do efeito físico observado (efeito corona, descargas parciais, etc.) e sobre o que realmente é detectado pela câmera de UV: a radiação ultravioleta. Influências que podem, se não conhecidas e ponderadas, alterar significativamente a análise dos defeitos encontrados. Influências como a tensão aplicada, densidade relativa do ar, condição de superfície, umidade, chuva, distância entre câmera e fonte UV, tamanho da fonte de UV e ângulo de visão. Neste trabalho os ensaios de laboratório foram direcionados para os resultados quantitativos da Detecção de Corona por UV, isto é, a contagem de fótons. Os ensaios com as duas câmeras de UV utilizadas demonstraram que a contagem de fótons apresenta resultados inconsistentes e que não deveriam ser levados em consideração na análise dos fenômenos observados. Ainda assim, é uma tecnologia que pode ajudar a aumentar a confiabilidade do Sistema Elétrico, se aplicada de forma qualitativa e não quantitativa.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – ABNT; “NBR 5461 Iluminação – Terminologia”; CDU:628.9:001.4 - Dez/1991.
- 2 – SANTOS, L., SANTOS D. F.; BORTONI E. C.; “*Estendendo a Visão Humana além do Espectro Visível para Aprimorar a Detecção de Falhas em Equipamentos de Alta Tensão*”; V CORENDE – Patagonia, Argentina, 2005.
- 3 - SANTOS, L., “Termografia Infravermelha em Subestações de Alta Tensão Desabrigadas”, Dissertação de Mestrado)– Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2006.
- 4 – LINDNER, M.; ELSTEIN, S.; LINDNER, P.; TOPAZ, J. M.; PHILLIPS, A. J.; “Daylight Corona Discharge Imager; High Voltage Engineering Symposium, IEE 1999.