

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática – CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica – DEE

Trabalho de Conclusão de Curso

Parametrização da câmera ultravioleta de
detecção de corona (DayCor®) utilizando
técnicas de processamento de imagens

Universidade Federal
de Campina Grande

Gustavo Paiva Guedes
Orientador: Edson Guedes da Costa

Campina Grande – PB, Agosto de 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso

Julgado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA:

Orientador

Convidado

Campina Grande – Paraíba
Agosto de 2010.

Sumário

Lista de Tabelas	4
Lista de Figuras.....	5
INTRODUÇÃO	7
OBJETIVOS.....	8
RESUMO	9
1 Efeito corona	10
1.1 Processo de formação do efeito corona.....	10
1.1.1 Mecanismos de Townsend.....	11
1.1.2 Mecanismos de Canal	14
1.1.3 Cargas Espaciais	17
1.2 Consequências do efeito Corona	19
2 Detecção do efeito corona.....	20
2.1 O espectro eletromagnético do efeito corona.....	20
2.2 O detector de efeito corona (DayCor® II)	22
3 Processamento de Imagens.....	24
3.1 Etapas do Processamento de Imagens.....	25
3.1.1 Aquisição de Imagens Digitais	26
3.1.2 Técnicas de Pré-processamento.....	27
3.1.3 Segmentação.....	28
3.1.4 Pós-processamento	29
3.1.5 Extração de Atributos	29
3.1.6 Classificação e Reconhecimento	31
4 Materiais e métodos.....	32
4.1 Materiais.....	32
4.2 Métodos.....	33
5 Resultados	36
5.1 Tratamento de imagens	36
5.2 Análise direta.....	43
6 Conclusão	51
7 Bibliografia.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 5.1: Concentração de pixels de corona entre os eletrodos ponta fina e plano na tensão de eminência de ruptura.....	38
Tabela 5.2: Concentração de pixels de corona para diferentes espaçamentos entre os eletrodos ponta fina e plano para tensão de 16 kV.	39
Tabela 5.3: Concentração de pixels de corona entre os eletrodos ponta arredondada e plano na tensão de eminência de ruptura.	40
Tabela 5.4: Concentração de pixels de corona entre os eletrodos ponta plana e plano na tensão de eminência de ruptura.....	42
Tabela 5.5:Concentração de pontos luminosos entre os eletrodos ponta fina e plano na tensão de eminência de ruptura.....	44
Tabela 5.6: Concentração de pontos luminosos para diferentes espaçamentos entre os eletrodos ponta fina e plano para tensão de 16 kV.	45
Tabela 5.7: Concentração de pontos luminosos entre os eletrodos ponta arredondada e plano na tensão de eminência de ruptura.	46
Tabela 5.8: : Concentração de pontos luminosos entre os eletrodos ponta plana e plano na tensão de eminência de ruptura.	48

Lista de Figuras

Figura 1.1: Relação tensão versus corrente do processo de ionização de um gás.	11
Figura 1.2: Processo de ionização por colisão.....	12
Figura 1.3: Diagrama esquemático da formação de streamer. 1 - Carga positiva de uma avalanche. 2 - Carga espacial negativa de uma avalanche. 3 – Fótons emitidos da avalanche. 4 – Fotoelétrons. 5 – Avalanches auxiliares produzidas por fotoelétrons. 6 – Ponta do streamer. 7 – Propagação da ponta do streamer através da realimentação de avalanches. 8 – Canal de streamer completo com algumas ramificações.[6].	16
Figura 1.4: Configuração ponta-plano . (a) ponta positiva - plano negativo. (b) ponta negativa - plano positivo.	17
Figura 1.5: Regiões de ionização[(3)]......	18
Figura 2.1: Espectro Eletromagnético [2].	20
Figura 2.2: Gráfico comprimento de onda e radiação solar versus transmissão do filtro do detector [2].....	21
Figura 2.3: Princípio de funcionamento do DayCor®.	22
Figura 3.1: Diagrama esquemático das etapas do processamento de imagem.	26
Figura 3.2: Exemplo de um pré-processamento simples.	27
Figura 3.3: Exemplo de imagens com Histogramas diferenciados.....	28
Figura 3.4: Exemplo de rotulação.....	30
Figura 4.1: Tipos de eletrodos utilizados: a) Ponta fina. b) Ponta arredondada. c) Ponta plana.	32
Figura 4.2: Circuito de medição de descargas parciais e de corona.	34
Figura 4.3: Câmara ultra-violeta DayCor®.....	34
Figura 5.1: Eletrodo ponta fina com gap de 50 mm submetido a uma tensão de 17 kV. a) Imagem escurecida e b) imagem binária.....	37
Figura 5.2: Eletrodo ponta fina com gap de 50 mm submetido a uma tensão de 17 kV.	37

Figura 5.3: Concentração de pixel em função da tensão aplicada. Ponta fina.	38
Figura 5.4: Concentração de pixel em função da tensão aplicada. Ponta arredondada. .	40
Figura 5.5: Concentração de pixel em função da tensão aplicada. Ponta plana.	41
Figura 5.6:Concentração de pontos luminosos em função da tensão aplicada. Ponta Fina.....	44
Figura 5.7:Concentração de pontos luminosos em função da tensão aplicada. Ponta arredondada.	46
Figura 5.8:Concentração de pontos luminosos em função da tensão aplicada. Ponta plana.	47

INTRODUÇÃO

O isolamento elétrico constitui uma parte importante de um sistema elétrico, fundamental para sua segurança. Devido a sua importância existe a necessidade de realizar periodicamente diagnósticos que possam caracterizar o estado do isolamento dos equipamentos, identificando possíveis anomalias.

Existem inúmeras técnicas de diagnóstico em isolamentos. Atualmente, a técnica que utiliza uma câmera ultravioleta apresenta simplicidade e rapidez na detecção do efeito corona. Entretanto, a inspeção com a câmera ultravioleta fornece apenas informações a cerca do local onde estão concentradas as descargas corona e uma estimativa da quantidade de fótons emitidos pelo efeito corona.

A presença de corona não é suficiente para condenar um equipamento. Informações a respeito da intensidade do campo elétrico que causa o corona são necessárias para se poder avaliar a possibilidade de ruptura do isolamento.

Técnicas de processamento de imagens são utilizadas para se extrair atributos das imagens oriundas da câmera ultravioleta que permitam estabelecer uma relação com a intensidade de campo elétrico. A estimativa da intensidade de campo elétrico é obtida com simulações em programas como o Consol.

Este trabalho realizará ensaios de descargas corona entre eletrodos no Laboratório de Alta Tensão da UFCG. As imagens com a câmera ultravioleta serão submetidas a técnicas de processamento. O processamento consiste em isolar a região da imagem referente apenas o efeito corona e fazer o levantamento da quantidade pixel que o representa.

OBJETIVOS

Com o objetivo de parametrizar o detector de corona do Laboratório de Isolamentos Elétricos do DEE da UFCG com a finalidade de criar um método mais rápido e confiável de se detectar o efeito corona e relacioná-lo com a intensidade de campo elétrico e com isto tentar identificar defeitos ou situações de riscos por ruptura externa nos isolamentos auto-regenerativos. Assim, ensaios de corona serão realizados utilizando eletrodos de diversas configurações. Os ensaios serão monitorados com a câmara DayCor® e para tanto serão gerados vídeos para análise posteriores.

O intuito é analisar o efeito corona e suas implicações para os isolamentos a partir de imagens obtidas com a câmara ultravioleta DayCor®, de modo a se extrair atributos que possibilitem estabelecer uma relação entre as imagens captadas e a intensidade do campo elétrico associado.

RESUMO

Este trabalho faz uma análise das imagens captadas pela câmera ultravioleta DayCor® com a finalidade de parametrizar o equipamento. As imagens oriundas do DayCor® são submetidas a técnicas de processamento de imagens e é estabelecida uma relação entre a quantidade de pixel que representa o corona na imagem e a quantidade de pontos luminosos indicados no DayCor® para a representação do mesmo efeito.

1 Efeito corona

O efeito corona pode ser definido como descargas elétricas não auto sustentadas que surgem devido ao rompimento parcial da rigidez dielétrica do ar próximo a superfícies condutoras ou isolantes [4]. Embora seja citado o ar nesta definição, vale salientar que as descargas corona podem ocorrer em qualquer que seja o gás desde que submetido as condições supracitadas.

Os gases em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) são materiais isolantes e a ocorrência do efeito corona se dá pelo processo de ionização dos átomos e moléculas constituintes, nas adjacências do eletrodo de alta tensão formando pontos luminosos, ruídos audíveis e a formação de novos gases, em geral corrosivos, que agredem a estrutura física dos equipamentos elétricos e trazem malefícios a saúde humana.

Dentre os principais danos que o efeito corona pode provocar aos equipamentos do sistema elétrico, destacam-se a redução da vida útil do isolamento, interferência em sistemas de medição, controle e comunicação, falha nos equipamentos podendo causar interrupção no fornecimento de energia, etc.

1.1 Processo de formação do efeito corona

A formação do efeito corona é explicada pelos mecanismos de descargas em gases, em especial, pelo processo de avalanche eletrônica descrito por Townsend [9]. O mecanismo pode ser explicado pela descrição do comportamento da curva corrente versus tensão durante o processo de ionização do gás confinado ente dois eletrodos energizados, conforme pode ser visto na Figura 1.1.

1.1.1 Mecanismos de Townsend

Na região entre a origem do eixo cartesiano e a tensão V_1 , Figura 1.1, a corrente aumenta na mesma proporção a da tensão aplicada nos eletrodos até atingir um patamar de estabilidade no em torno do valor I_0 . Neste momento do processo, na ausência de tensão, ocorre a liberação de elétrons por fotoemissão ou por fotoionização através de radiações incidentes nos catodos e no gás [1]. O equilíbrio entre as quantidades de elétrons livres e de íons positivos é dado pela recombinação dessas partículas carregadas formando as partículas neutras. Quando submetidos a uma elevação gradual de tensão elétrica, essas partículas, e outras que são geradas devido à tensão aplicada, são aceleradas, elétrons em direção ao anodo e íons positivos em direção ao catodo, diminuindo as recombinações e se estabelecendo uma corrente elétrica crescente diretamente proporcional à tensão aplicada até o nível I_0 .

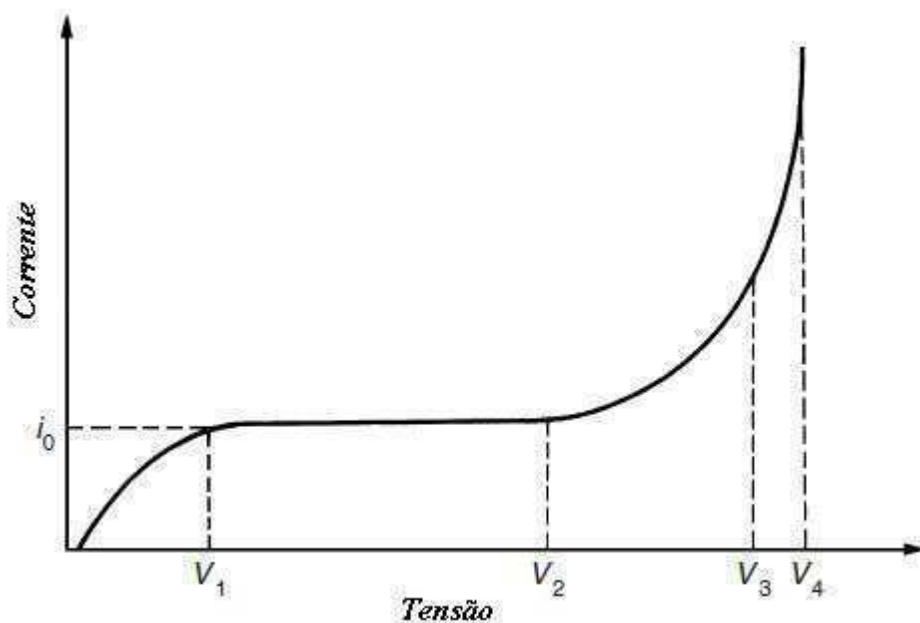


Figura 1.1: Relação tensão versus corrente do processo de ionização de um gás.

Na etapa seguinte do processo observa-se uma invariância da corrente com a tensão, como pode ser visto na região compreendida entre as tensões V_1 e V_2 . Neste momento o número de recombinações é mínimo e praticamente todos os elétrons

produzidos no anodo chegam ao catodo, sendo assim, mesmo com o aumento da tensão aplicada a corrente mantém-se constante e igual a I_0 .

A partir da tensão V_2 a corrente no gás começa a variar com a variação da tensão. Esta região é conhecida pela denominação de Descarga de Townsend e caracterizada pela ocorrência de colisões entre as partículas dentro do espaço gasoso. Com o aumento da tensão elétrica aplicada, as partículas são aceleradas ainda mais e sua energia cinética passa a ser suficiente para, quando do momento de uma colisão com uma partícula neutra, promover a liberação de elétrons e conseqüentemente, a formação de um íon positivo ou o aumento da sua carga positiva.

O resultado disso é um considerável aumento na corrente elétrica até a ruptura do meio dielétrico, isto é, a ocorrência de uma descarga elétrica. Este processo é chamado de ionização por colisão e é ilustrado na Figura 1.2 abaixo.

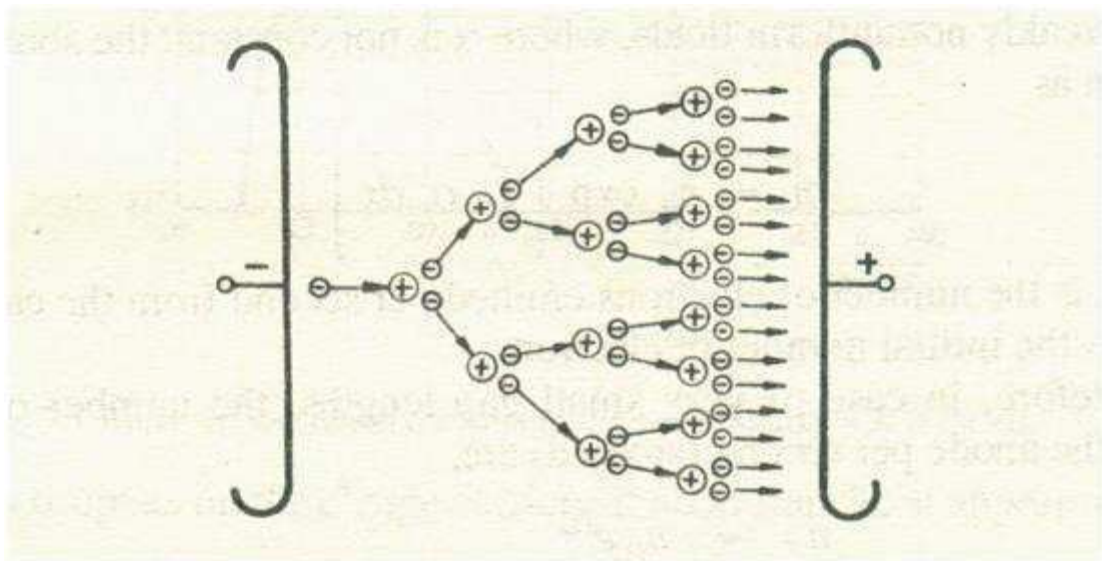


Figura 1.2: Processo de ionização por colisão.

O número de colisões produzido por um elétron se movendo na direção do campo elétrico por unidade de comprimento é quantizado por Townsend por meio de um coeficiente. O chamado coeficiente de ionização ou primeiro coeficiente de Townsend, α varia com o tipo de gás, com sua pressão, com a umidade e com a intensidade do campo elétrico aplicado. A partir deste coeficiente é possível determinar-

se a corrente de ionização por meio da Equação 1.1, onde I_0 é a corrente inicial que deixa o catodo e d , a distância entre o catodo e o anodo.

$$I = I_0 e^{\alpha d}. \quad (1.1)$$

Após o processo de liberação dos elétrons, as partículas podem capturar elétrons e se tornarem carregadas negativamente. As partículas negativas também são consideradas na corrente de ionização e o número de captação ocorridas no caminho de um elétron do catodo ao anodo por unidade de comprimento é definido pelo attachment coefficient η . Desta maneira é definido o coeficiente de ionização efetivo, dado pela diferença entre o primeiro coeficiente de Townsend, α e o attachment coefficient η .

$$\alpha' = \alpha - \eta. \quad (1.2)$$

Na região compreendida entre as tensões V_3 e V_4 percebe-se um crescimento acentuado da corrente em função de uma pequena variação da tensão (Figura 1.1). Para que isto ocorra é necessário que haja uma maior quantidade de elétrons circulando no meio gasoso. O equacionamento inicial de Townsend não explica este fenômeno. Assim, Townsend necessitou formular um novo mecanismo para explicar o fenômeno, que foi denominado de emissão secundária de Townsend.

O segundo mecanismo de emissão se dá pelo bombardeamento do catodo por íons positivos, partículas neutras (metaestáveis), ou por fótons. A relação entre o número de elétrons gerados no catodo devido a efeitos secundários e o número de partículas incidentes no catodo define o segundo coeficiente de ionização de Townsend, γ . Sendo assim, a corrente de ionização passa a ser expressa pela Equação 1.3. Fazendo o denominador da Equação 1.3 tender a zero obtém-se a condição de ruptura.

$$I = I_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}. \quad (1.3)$$

O mecanismo de Townsend, embora pareça descrever com exatidão o processo de ionização das partículas dos gases e a consequente descarga, é incapaz de explicar alguns fenômenos de descargas em algumas situações, tais como: a diferença entre o tempo previsto na teoria de Townsend e o obtido experimentalmente. Os tempos de descargas medidos são em várias situações muito menores do que o previsto pela teoria de Townsend. A teoria de Townsend também não explica os mecanismos de canais de descargas filamentosas e irregulares, e a influência de cargas espaciais no processo de ionização, entre outros. As explicações para esses fenômenos são dadas a partir do estudo dos mecanismos de canal e de cargas espaciais.

1.1.2 Mecanismos de Canal

O mecanismo de Townsend não é suficiente para explicar fenômenos de descargas em gases em algumas situações. A forma de descarga prevista pelo mecanismo de Townsend é difusa ao longo do espaço entre eletrodos, e na prática, tem-se observado canais de descargas filamentosas e irregulares. Além do mais, existe um tempo de atraso entre a aplicação de uma tensão suficiente para causar a ruptura do gás e a própria ocorrência de ruptura. Esse tempo de atraso medido experimentalmente em algumas situações é bastante inferior ao previsto pelo mecanismo de Townsend. Para explicar esses fenômenos, Raether, Meek e Loeb independentemente propuseram a Teoria do Canal ou Mecanismo de Canal ou ainda streamer. Essa teoria prevê que a ruptura do gás pode ser desenvolvida a partir de uma simples avalanche eletrônica. Avalanches simultâneas podem ocorrer na frente da primeira avalanche ou em outras regiões dentro do gás devido à fotoionização.

Em uma configuração de dois eletrodos planos e paralelos um elétron que parte do catodo forma uma avalanche de modo criar uma forte carga espacial nas proximidades do anodo e uma acumulação de íons positivos ao longo do caminho dos elétrons, ou seja, do ponto de concentração de cargas espaciais até o catodo.

Durante a formação da avalanche primária ocorre a ionização ao mesmo tempo em que ocorre a excitação dos átomos do gás. O tempo de duração dos estados excitados é muito pequeno, em torno de 10^{-13} segundos. Sendo assim, os fótons serão

emitidos antes que a avalanche alcance sua extensão total (Figura 1.3 a). Os fótons serão lançados em todas as direções e absorvidos a várias distâncias de se suas origens.

Vários processos combinados podem levar novas fotoionizações, resultando em novos fotoelétrons em várias distâncias da ponta da avalanche (Figura 1.3 b). A avalanche eletrônica, à medida que avança em direção ao anodo, atinge um tamanho crítico e os campos elétricos das cargas espaciais que são criados na ponta da avalanche são da mesma ordem de magnitude do campo original. Se o coeficiente de ionização α varia rapidamente com as variações de campo elétrico, um aumento no campo pode incrementar a ionização e desencadear avalanches auxiliares que podem ser iniciadas por qualquer dos fotoelétrons nas proximidades da ponta da avalanche (Figura 1.3 b-c).

O campo de cargas espaciais distorce o campo original e por isso os elétrons muitas vezes não seguem seu roteiro inicial. Várias avalanches ocorrem ao mesmo tempo causando as ramificações observadas nas descargas em gases, porém o campo original serve como um guia para o tronco principal da descarga (Figura 1.3 d).

Na Figura 1.3 d, uma acumulação de íons positivos criados pela avalanche primária cresce em direção ao catodo com a carga de duas avalanches secundárias. Isto faz surgir um canal ionizado do anodo para o catodo, cuja densidade de carga é equivalente a da ponta da avalanche. Os elétrons nas pontas das duas avalanches auxiliares são absorvidos pelas cargas positivas. Na Figura 1.3 e, a ponta da streamer forma dois ramos que crescem como resultado das avalanches mais próximas. Os elétrons movem-se no canal em direção ao anodo em virtude do gradiente de potencial existente dentro do canal.

Na Figura 1.3 f, a propagação de uma streamer continua enquanto a outra pára de avançar devido à falta de avalanches que o realimentem. A forma final do canal streamer, com numerosos ramos incompletos, é mostrada na Figura 1.3 g. [6].

Em campos ao uniformes a situação é diferente. Logo após o estabelecimento do campo crítico podem surgir descargas localizadas, isto é descargas corona, sem que haja necessariamente a ruptura do gap.

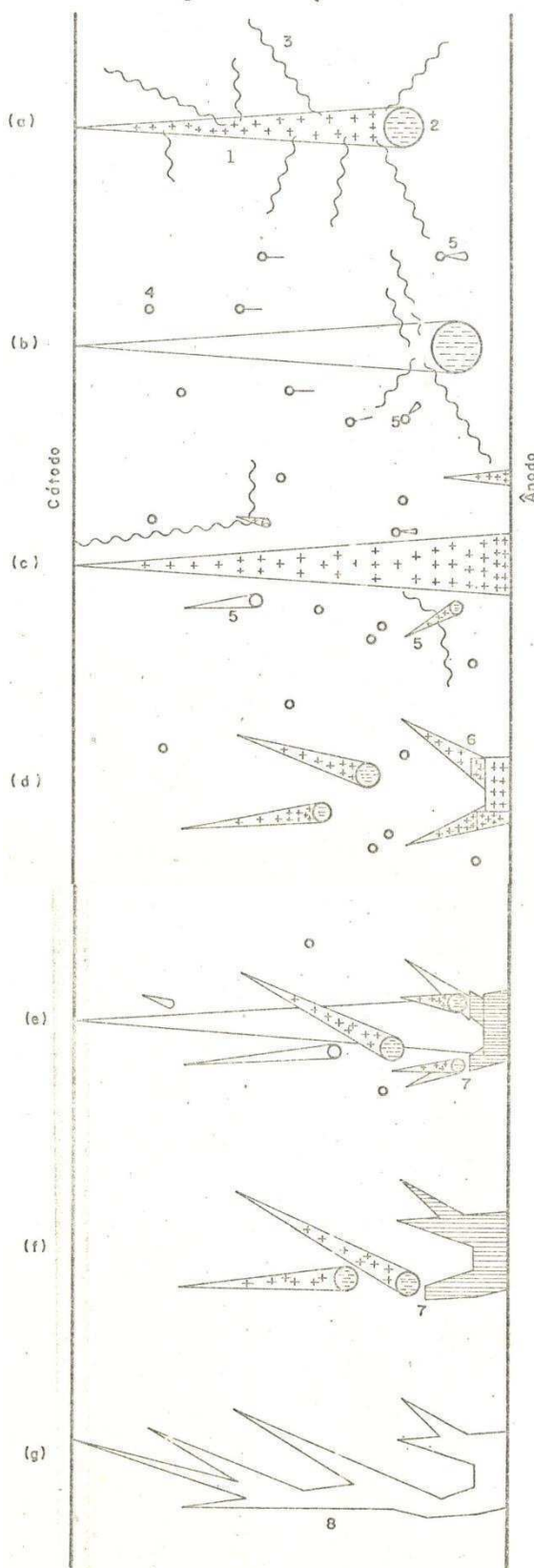


Figura 1.3: Diagrama esquemático da formação de streamer. 1 - Carga positiva de uma avalanche. 2 - Carga espacial negativa de uma avalanche. 3 - Fótons emitidos da avalanche. 4 - Fotoelétrons. 5 - Avalanches auxiliares produzidas por fotoelétrons. 6 - Ponta do streamer. 7 - Propagação da ponta do streamer através da realimentação de avalanches. 8 - Canal de streamer completo com algumas ramificações.[6].

1.1.3 Cargas Espaciais

Em campos não uniformes pequenas descargas no interior de um dielétrico gasoso (devido à formação de avalanches eletrônicas – descargas corona) são observadas antes da ruptura completa. Existe uma infinidade de configurações de eletrodos que produzem campos não uniformes. A configuração mais utilizada é a do tipo ponta-plano mostrada na Figura 1.4. Tem-se verificado experimentalmente que a tensão disruptiva, para a configuração em que a ponta é negativa e o plano positivo, é bem superior à tensão disruptiva para a configuração em que a ponta é positiva e o plano negativo. Interessante notar que a tensão para o início de formação de avalanches eletrônicas é menor na situação ponta positiva – plano negativo (Figura 1.4a).

A explicação física desse fenômeno é feita a seguir. Nas duas situações, o processo de ionização começa na região próxima a ponta, ocorrendo formação de íons positivos, distorcendo o campo entre eletrodos. Os íons positivos dividem a região entre a ponta e o plano nas regiões 1 e 2 ilustradas na Figura 1.4.

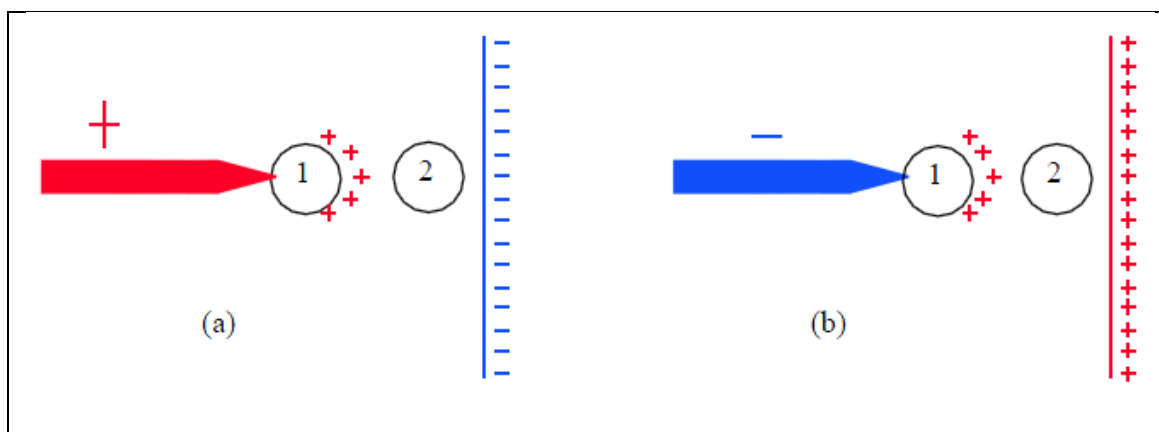


Figura 1.4: Configuração ponta-plano . (a) ponta positiva - plano negativo. (b) ponta negativa - plano positivo.

Vale salientar que a figura não está em escala. A região 1 é muito menor que a região 2, pois os íons são formados muito próximos à ponta. Para uma mesma tensão aplicada entre eletrodos ponta-plano, verifica-se que a presença dos íons positivos faz

com que o campo elétrico em pontos da região 1 da Figura 1.4a seja menor que o campo elétrico em pontos correspondentes na região 1 da Figura 1.4b. A região 2 apresenta comportamento contrário. Para a Figura 1.4a o campo elétrico em pontos da região 2 é maior que o campo elétrico em pontos correspondentes na região 2 da Figura 1.4b.

Em resumo, para a Figura 1.4a as cargas '+' diminuem o campo próximo a ponta, mas aumentam o campo no gás. Para a Figura 1.4b as cargas '+' aumentam o campo próximo à ponta, mas diminuem o campo no gás. Assim, para a configuração ponta-plano, a tensão de início de avalanche é maior na situação ilustrada na Figura 1.4a e a tensão disruptiva é maior na situação mostrada na Figura 1.4b.

A formação de cargas espaciais proporciona a divisão do gap em três regiões distintas, onde seus limites variam em função das dimensões e do formato dos eletrodos, da tensão aplicada e do tipo de gás isolante.



Figura 1.5: Regiões de ionização[3].

A região de Brilho, localizada próximo ao eletrodo ativo (eletrodo tipo ponta, positivo ou negativo) é onde ocorre a ionização. A região de Deriva não possui intensidade de campo elétrico suficiente para acelerar elétrons e, portanto, não há ocorrência de ionização nesta região. A região de Carga Livre se caracteriza por sofrer poucas influências do campo elétrico [(3)].

1.2 Consequências do efeito Corona

Inúmeras são as consequências negativas para os equipamentos do sistema elétrico devido à presença do corona. Dentre elas destacam-se:

- Perdas de energia por propagação do calor devido às descargas;
- Erosão mecânica devido ao bombardeamento das partículas durante o processo de ionização do ar;
- Interferências em sistemas de medição, controle e comunicação;
- Radiação ultravioleta;
- Ruído em áudio;
- Presença de possíveis falhas no material de que foi construído o equipamento;
- Formação de ácido nítrico na presença da umidade e de outros gases nocivos a saúde humana e prejudiciais aos equipamentos elétricos pelo seu caráter corrosivo como, por exemplo, o ozônio;

2 Detecção do efeito corona

Como já dito no capítulo anterior, o corona promove ruídos em áudio e radiação ultravioleta. Tais características podem ser exploradas no intuito de prover uma forma de detectá-los, como a utilização de técnicas de análise do ruído ultra-sônico e de captação de radiação ultravioleta, sendo esta última, objeto de interesse deste capítulo.

2.1 O espectro eletromagnético do efeito corona

O espectro eletromagnético é o intervalo completo da radiação eletromagnética. As radiações eletromagnéticas cobrem uma ampla faixa de frequência e de comprimento de ondas, os quais servem de parâmetros para a divisão do espectro em diferentes categorias. Existem as ondas longas, de comprimentos de onda da ordem de 1 cm a 10^3 cm, as microondas que possuem comprimentos de ondas menores, em torno de 10^{-2} cm, ambas utilizadas em comunicações. As ondas da região visível apresentam-se em estreita faixa do espectro e possuem comprimentos de onda na ordem de 10^{-6} cm. A Figura 2.1 ilustra o espectro eletromagnético.

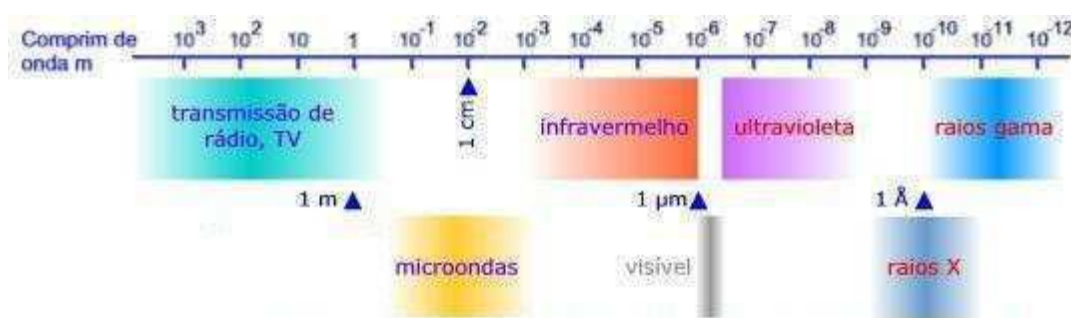


Figura 2.1: Espectro Eletromagnético [2].

O efeito corona emite luz principalmente na faixa de comprimentos de onda correspondente à radiação ultravioleta que varia entre 200 nm e 400 nm. Sendo assim, a caracterização por imageamento espectral objetiva a exploração de ondas com

comprimentos na faixa do ultravioleta, entre 200 nm e 280 nm, bem como na faixa da radiação visível que corresponde a comprimentos entre 400 nm (azul escuro) até 700 nm (vermelho) [2].

Todavia, a radiação solar possui comprimentos de onda a partir de 280 nm o que a faz sobrepor-se a radiação característica do corona dificultando a identificação do efeito. Devido a esta condição, o equipamento utilizado na detecção do efeito corona deve possuir filtros que rejeitem ondas com comprimento de ondas acima de 280 nm (curva branca no gráfico da Figura 2.2), permitindo assim, que sejam tratados apenas sinais referente exclusivamente ao corona (curva azul no gráfico da Figura 2.2).

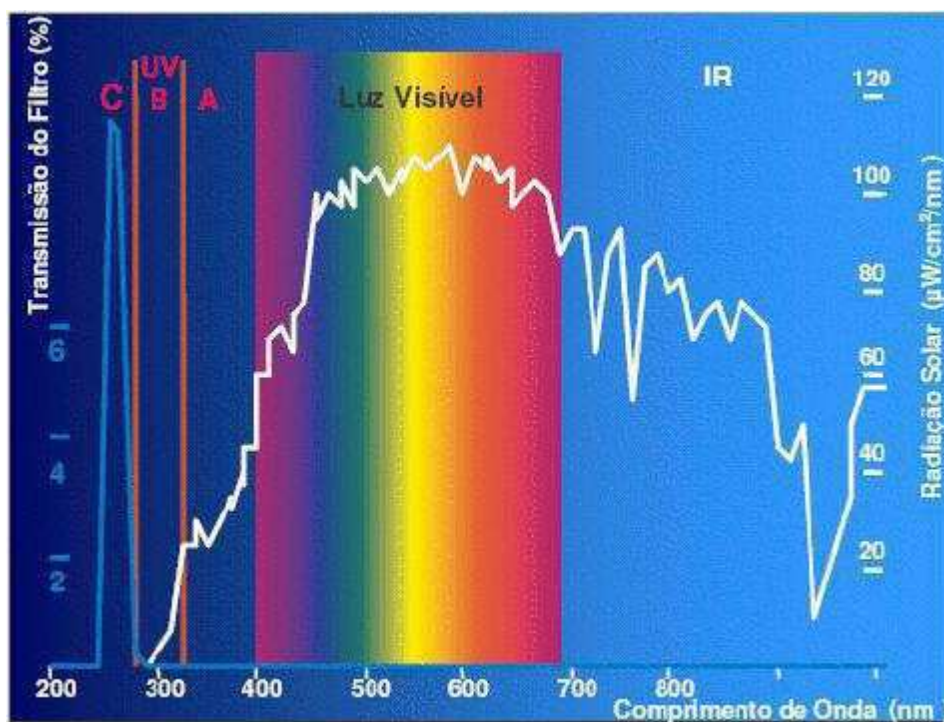


Figura 2.2: Gráfico comprimento de onda e radiação solar versus transmissão do filtro do detector [2].

A região do espectro delimitada pela curva azul (Figura 2.2) corresponde à faixa de radiação denominada de solar blind. A radiação solar de comprimentos de onda pertencentes à solar blind não atinge a superfície terrestre devido à camada de ozônio, e conseqüentemente, não interfere na detecção do corona. Vale salientar que com a gradual diminuição da camada de ozônio, além de todos os malefícios trazidos a saúde humana com a exposição a raios solares de comprimento de ondas cada vez menores,

observa-se um empecilho a mais na detecção do efeito corona devido, nessas circunstâncias, a radiação solar se sobrepor numa faixa maior a radiação do corona.

2.2 O detector de efeito corona (DayCor® II)

Em geral os detectores eletro-ópticos são classificados em duas categorias: detectores térmicos e detectores quânticos ou foto-detectores. O primeiro sofre um aumento de sua temperatura quando da absorção de radiação, ao passo que o segundo, ao absorver a energia emitida pelo efeito em estudo, sofre uma mudança no estado energético de seus elétrons.

O detector de efeito corona pertence à categoria dos detectores quânticos e caracteriza-se por apresentar um canal de captação de radiação ultravioleta e outro para a captação de imagens visíveis ao olho humano. A intenção é sobrepor ambas as imagens de maneira a facilitar a visualização da ocorrência do efeito corona e o local da sua geração. A Figura 2.3 mostra o princípio de funcionamento do detector de corona.

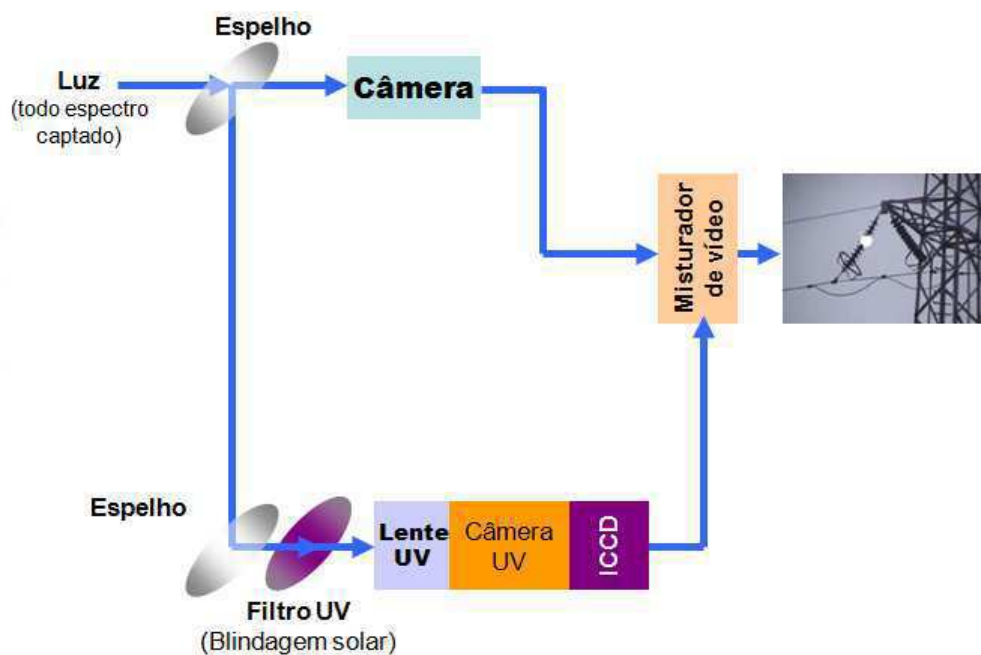


Figura 2.3: Princípio de funcionamento do DayCor®.

A luz incidente na lente do detector passa por um primeiro espelho e parte desta luz refletida segue pelo canal de luz visível até chegar ao misturador de vídeo. A outra parte refletida passa por um filtro ultravioleta e é direcionada para um tubo intensificador constituído de lentes e filtros onde o efeito é detectado e quantizado. A parte tratada da luz ultravioleta segue para o misturador de vídeo onde é sobreposta à parte visível e mostrada no display.

O detector de corona utilizado neste trabalho foi o DayCor® II da OFIL. Suas características principais são: Eficácia na detecção em inspeções realizadas durante o dia; estrutura compacta e de pouco peso; capacidade de detecção de mais de 250 m; display de LCD de brilho intenso o que ajuda na melhor visualização do efeito corona; foco automático; possibilidade gravação em tempo real desde que se acople um equipamento de filmagem; ganho UV ajustável para melhor visualização; boa blindagem contra as interferências eletromagnéticas; contagem de fótons emitidos por unidade de tempo o que auxilia na identificação do exato local do defeito apenas observando a quantidade de fótons emitidos por segundo e a região de maior concentração destes.

3 Processamento de Imagens

O Processamento de Imagens é uma subárea de grande relevância do Processamento de Sinais. As imagens, tal como os sinais, consistem em suportes físicos para uma determinada informação que pode ser uma medida, para o caso de sinais que representam fenômenos físicos ou pode estar associada a um nível cognitivo. Desta maneira, o processamento de uma imagem consiste na sua sucessiva transformação com o objetivo de extrair mais facilmente a informação nela presente, diferenciando-se assim, da computação gráfica, onde se parte de uma informação para se criar uma imagem.

Processar uma imagem tal como o Sistema Visual Humano é uma tarefa extremamente complexa e exige uma percepção “filosófica” do mundo ou dos conhecimentos humanos. A complexidade torna a atividade de processar uma imagem extremamente dependente do sistema ao qual ele está associado, não existindo, pois, soluções de caráter generalista nem sistemas de processamento de imagens complexos que funcionem para todos os casos são inexistentes.

De maneira geral, o processamento de imagens está associado com a análise das informações nela contida, na busca de informações quantitativas que representem o fenômeno estudado. Atualmente o conceito de imagem vai muito mais além do que aquele proveniente da óptica, para o qual a imagem nada mais é que um conjunto de pontos convergindo para formar um todo, e a trata como sendo um suporte para a troca de informações e assim, pode-se classificar como imagem toda grande quantidade de informações disposta de forma bidimensional. Outra vertente do processamento de imagem diz respeito ao seu tratamento visando a melhoria de sua qualidade. Diante disso, têm-se duas técnicas de exploração desta informação:

- Análise: Utilização de medidas quantitativas para descrição da informação dentro de uma imagem. Esta parte também é chamada de parametrização.
- Image Enhancement: Esta técnica está associada à melhoria na qualidade da imagem para um posterior julgamento por parte de um observador. Trabalha-se aqui com níveis de cinza para aumentar ou diminuir o contraste ou para evidenciar determinadas regiões de interesse.

Alguns conceitos relevantes ao processamento de imagens são descritos a seguir:

Pixel

O pixel é o elemento básico de uma imagem digital possuindo, comumente, a forma retangular ou quadrada e de dimensões finitas. A organização de uma imagem sob a forma de uma matriz quadrada de pixel se deve a facilidade da implementação eletrônica tanto de seu sistema de aquisição como de seu sistema de visualização.

Região de Interesse

Região definida a partir de parâmetros obtidos na própria imagem ou pelo usuário onde o processamento estará totalmente concentrado. Da mesma forma como em qualquer caso de processamento de imagem, ao se delimitar uma região de interesse, têm-se problemas no tratamento das bordas da imagem cuja solução é completamente dependente do problema associado ao processamento da imagem.

3.1 Etapas do Processamento de Imagens

O sistema de processamento de imagens é subdividido em várias etapas, tais como: formação e aquisição, digitalização, pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de atributos e, classificação e reconhecimento [5]. A Figura 3.1 apresenta um diagrama esquemático das etapas do processamento de imagem.

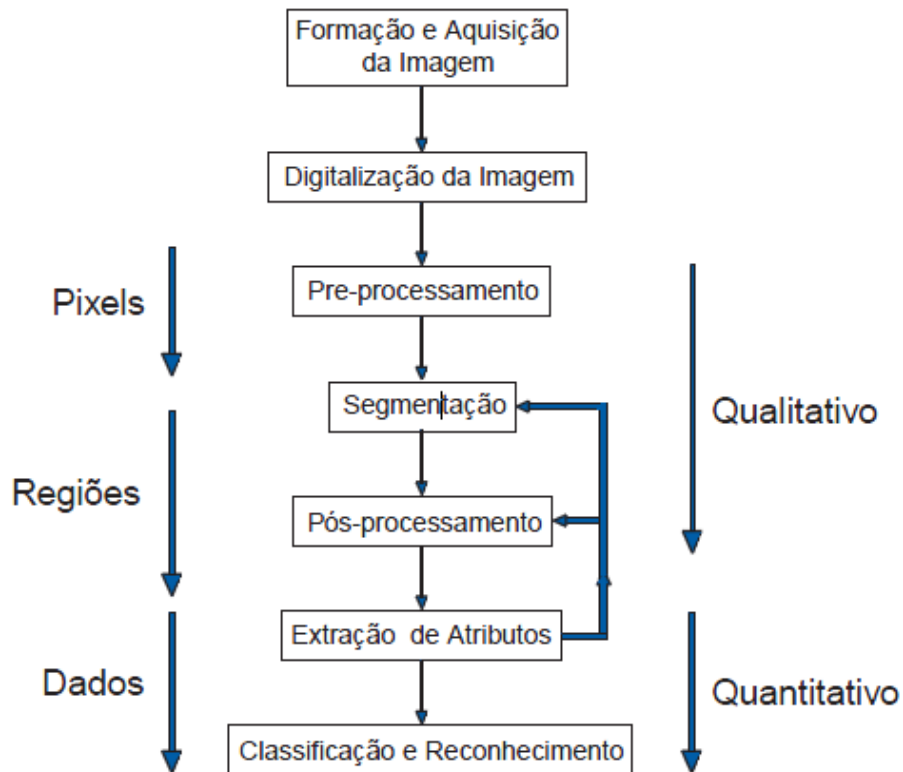


Figura 3.1: Diagrama esquemático das etapas do processamento de imagem.

3.1.1 Aquisição de Imagens Digitais

Para a formação e digitalização de imagens são necessários dois elementos. O primeiro é um captador de imagem, um dispositivo físico sensível ao espectro de energia eletromagnético, como por exemplo, ao espectro de raios-X, luz ultravioleta, visível ou infravermelha. A saída do dispositivo deve produzir um sinal elétrico proporcional ao nível de energia percebido. O segundo dispositivo é um digitalizador que converte o sinal elétrico analógico da saída do captador em um sinal digital.

3.1.2 Técnicas de Pré-processamento

As técnicas de pré-processamento têm como principal função melhorar a qualidade da imagem. Para tanto, existem duas grandes categorias de métodos, uma que opera no domínio espacial com filtros que agem sobre o plano da imagem e outra que opera no domínio da frequência com filtros que agem sobre o espectro da imagem.

A Figura 3.2 apresenta um exemplo simples de um pré-processamento, a aplicação de um filtro mediana para redução de ruído e em seguida um filtro passa-altas para realçar os contornos ou bordas dos objetos na imagem,

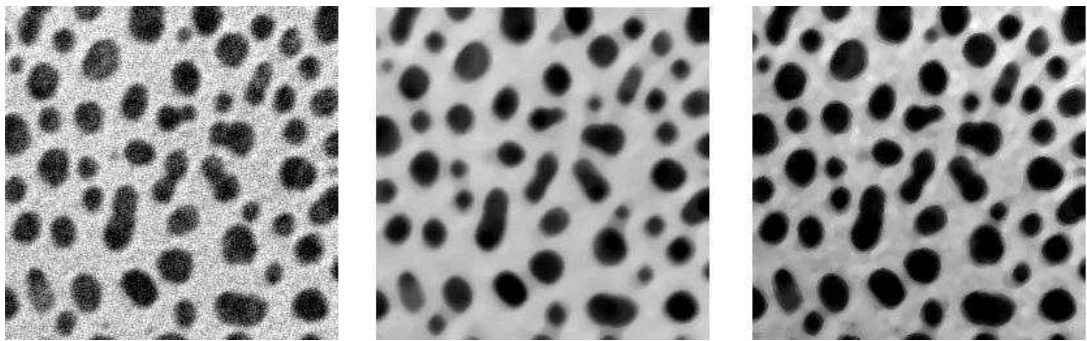


Figura 3.2: Exemplo de um pré-processamento simples.

Histograma

O histograma de uma imagem digital com k níveis de cinza é definido por uma função discreta da forma que se segue:

$$p(k) = \frac{n_k}{n} . \quad (3.1)$$

Na equação acima, o argumento k representa os níveis de luminância discretos, n_k representa o número de pixels na imagem com intensidade de k e n é o número total de pixels da imagem. O histograma pode ser considerado uma função de distribuição de probabilidades obedecendo aos axiomas e teoremas da teoria da probabilidade.

O histograma da imagem digital fornece uma visão estatística sobre a distribuição de pixels, sobre o contraste da imagem e os níveis de iluminação o que a torna uma ferramenta bastante útil na etapa de pré-processamento. O histograma é igualmente importante na etapa de segmentação, sobretudo nas técnicas que utilizam da similaridade entre os pixels.

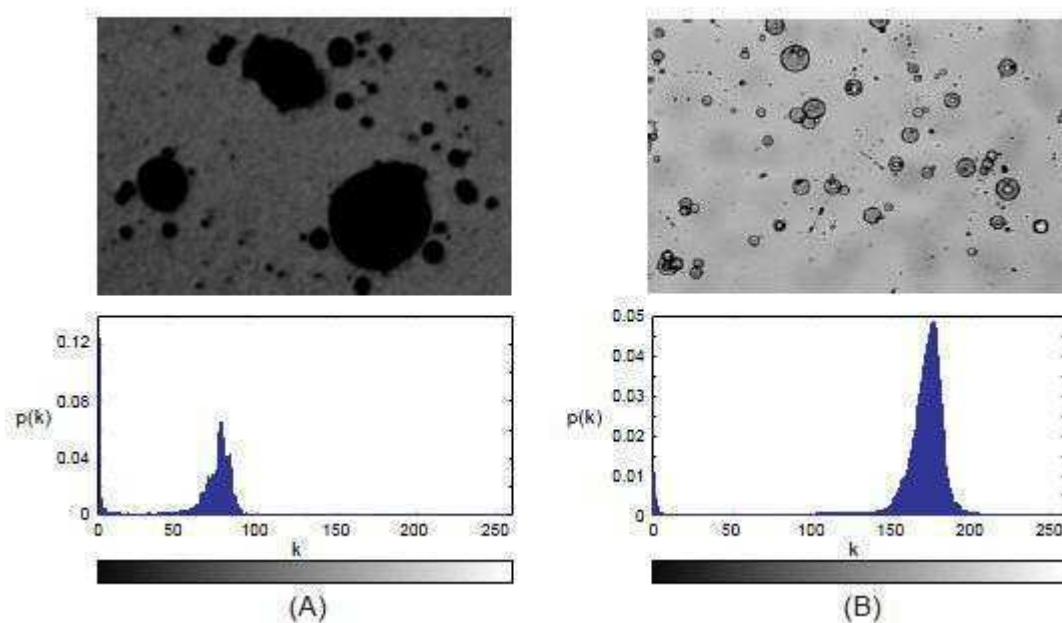


Figura 3.3: Exemplo de imagens com Histogramas diferenciados.

Na Figura 3.3 são apresentados dois exemplos de imagens com histogramas diferentes, a imagem (A) possui um menor nível de contraste em relação à imagem (B).

3.1.3 Segmentação

Segmentação significa uma separação da imagem nas partes que a constituem e que a diferenciam entre si, ou seja, em grupos de pixel que fornecem alguma informação (denominado de objeto) e em grupos de pixel que podem ser desprezados. Os grupos de pixel desprezados não são utilizados no processamento e são denominados de fundo.

Dentre todas as etapas do processamento de imagem a segmentação é a mais crítica, pois nesta etapa são definidas as regiões de interesse para o processamento e análise posteriores.

A segmentação é um processo adaptativo, sendo necessário sempre se adequar às características particulares de cada tipo de imagem a ser processada e por isso, não se tem um modelo formal de segmentação de uma imagem. As técnicas de segmentação utilizam duas abordagens principais. A primeira é a similaridade entre os pixels onde a mais importante é a binarização, onde se utiliza das amplitudes dos níveis de cinza para caracterizar os objetos presentes na imagem. A segunda abordagem é baseada na descontinuidade entre os pixels, onde são procuradas as variações abruptas do nível de luminância entre os pixels vizinhos. A técnica de segmentação baseada na descontinuidade entre os pixels mais utilizada é chamada de detecção por bordas.

3.1.4 Pós-processamento

O pós-processamento é a etapa que sucede a segmentação. Nesta etapa os principais defeitos ou imperfeições da etapa anterior são corrigidos. As correções são feitas através de técnicas de Morfologia Matemática com aplicação de filtros morfológicos que analisam quantitativamente os pixels da imagem. A Morfologia Matemática é uma das grandes áreas do processamento digital de imagens. Fundamentalmente, têm-se duas linhas de descrição de seus métodos, os operadores booleanos de conjuntos (união, interseção, complemento, etc.) e a noção de forma básica chamada de elemento estruturante.

3.1.5 Extração de Atributos

Nesta etapa é realizada a extração de informações úteis da imagem processada. Uma etapa intermediária na extração de atributos chamada de Labelização ou Rotulação

merece destaque. Após a segmentação a imagem está separada em regiões de objetos e de fundo. As regiões de interesse estão contiguamente agrupadas por pixels que se tocam.

A ação seguinte é rotular ou dar o Label para cada um dos grupos de pixels, a fim de facilitar posteriormente a parametrização dos objetos segmentados através do cálculo de área, perímetro, entre outros. A Figura 3.4 ilustra o processo. Nela pode-se ver o resultado do processo de segmentação com a criação de regiões de interesses separadas das regiões de fundo com delimitadores bem definidos (Figura 3.4 (a)) e os rótulos a elas atribuídos para identificação (Figura 3.4 (b)).

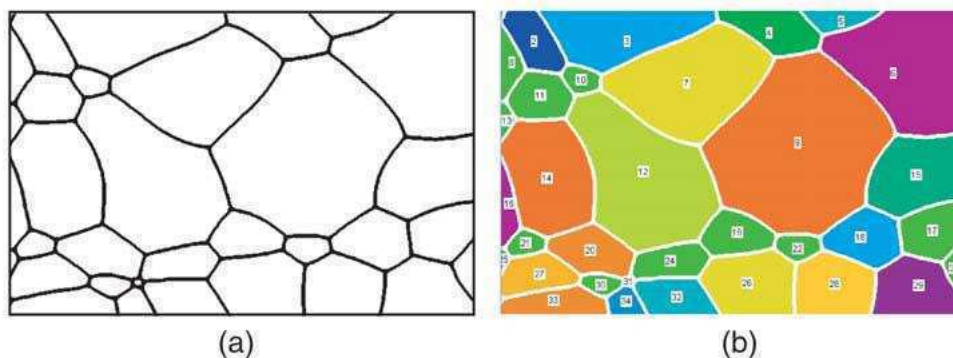


Figura 3.4: Exemplo de rotulação.

Basicamente existem duas classes de parametrização. A primeira classe é a medida de atributos da imagem como um todo, tais como: número de objetos, área total dos objetos, entre outros. Esta classe é chamada de field features. A segunda, analogamente a primeira, é a classe de medidas de atributos de uma região da imagem, referentes a objetos independentes. É chamada de region features. Entretanto, pode existir como resultado da extração atributos a necessidade de aplicação de novos atributos de parametrização, separando os objetos em classes de similaridade, em função dos parâmetros medidos.

3.1.6 Classificação e Reconhecimento

O objetivo da Classificação e Reconhecimento é automatizar a identificação dos objetos segmentados na imagem. Têm-se duas subdivisões no processo de classificação de formas: o aprendizado e o reconhecimento propriamente dito.

Em sua grande maioria, os sistemas de reconhecimento tomam parâmetros provenientes da etapa de extração de atributos para construir um espaço de medidas de dimensão N .

Os sistemas de aprendizado, por sua vez, são responsáveis por definir uma função discriminante que separe eficientemente todas as formas representadas neste espaço de medidas [5].

4 Materiais e métodos

Com o objetivo de parametrizar o detector de corona do Laboratório de Isolamentos Elétricos do DEE com a finalidade de criar um método mais rápido e confiável de se detectar o efeito corona e relacioná-lo com a intensidade de campo elétrico e com isto tentar identificar defeitos ou situações de riscos por ruptura externa nos isolamentos auto-regenerativos. Assim, ensaios de corona serão realizados utilizando eletrodos de diversas configurações. Os ensaios serão monitorados com a câmara DayCor® e para tanto serão gerados vídeos para análise posteriores.

O intuito é analisar o efeito corona e suas implicações para os isolamentos a partir de imagens obtidas com a câmara ultravioleta DayCor®, de modo a se extrair atributos que possibilitem estabelecer uma relação entre as imagens captadas e a intensidade do campo elétrico associado.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho foram os eletrodos do tipo: ponta fina, ponta arredondada e ponta plana; e o dielétrico ensaiado foi o ar. Todos os eletrodos utilizados são feitos de bronze, exceto o ponta plana, e se apresentam na Figura 4.1.

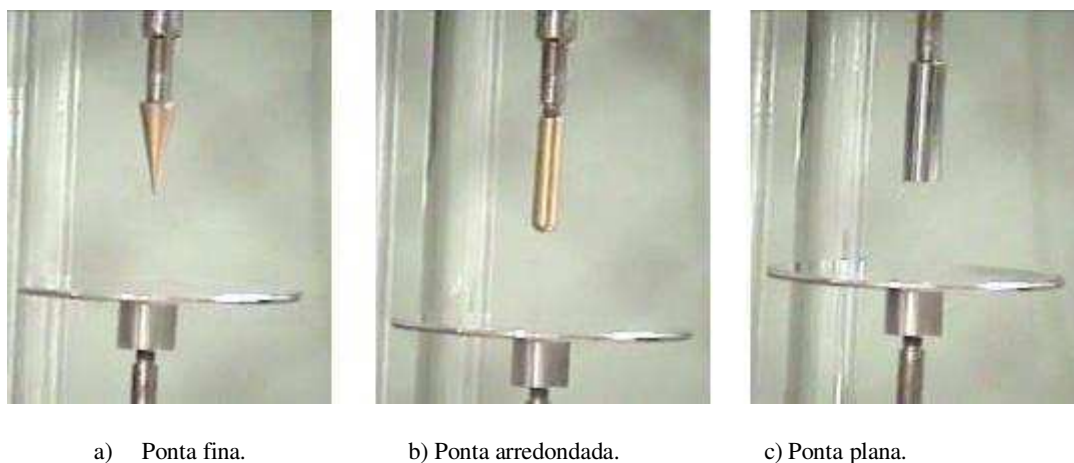


Figura 4.1: Tipos de eletrodos utilizados: a) Ponta fina. b) Ponta arredondada. c) Ponta plana.

O meio dielétrico existente entre os eletrodos (gap) é o ar. Os ensaios foram realizados para espaçamentos de: 50 mm, 55 mm e 60 mm. As temperaturas no Laboratório de Alta Tensão, no momento dos ensaios, variaram entre 28°C e 31°C, a umidade relativa do ar, entre 65% e 70% e pressão atmosférica foi de 963,0 mmHg.

4.2 Métodos

A montagem do circuito de medições de descargas parciais e de descargas corona está mostrada esquematicamente na Figura 4.2. Para a realização dos ensaios foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Detector Digital de DPs (LDIC);
- Computador portátil contendo o software LDIC;
- Capacitor de acoplamento C_k ;
- Impedância de Medição Z_m (LDM-5);
- Resistências (282 k Ω);
- Indutor;
- Transformador (10 kVA e tensão até 100 kV);
- Câmera de Faixa Ultra-Violeta (Daycor);
- Câmera Digital.

Para o estudo do efeito corona, serão testadas três configurações de eletrodos com diferentes espaçamentos (gaps) entre si. Os eletrodos estão simbolizados na Figura 4.2 pelo capacitor C_t . O capacitor C_k , a impedância Z_m , o cabo coaxial, o medidor de descargas parciais e o computador portátil contendo o software de análise das DP são utilizados apenas para a coleta de dados das descargas parciais.

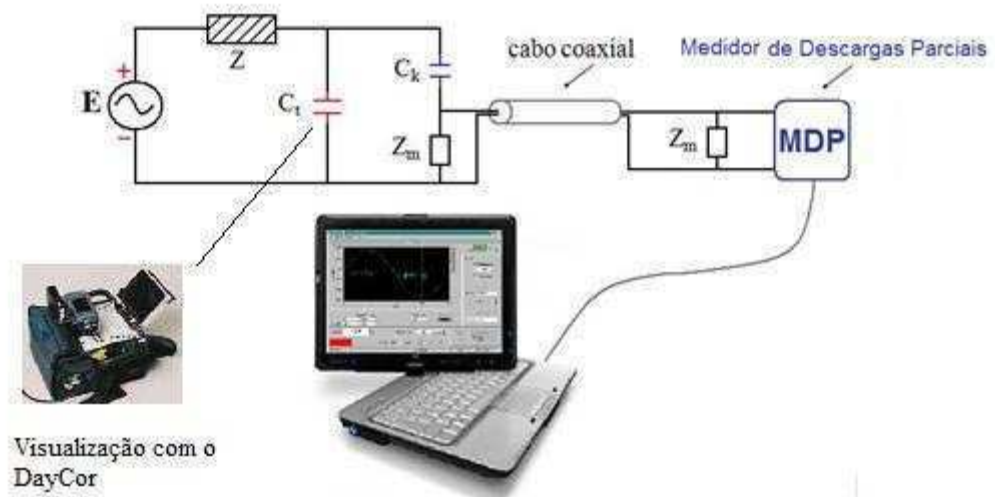


Figura 4.2: Circuito de medição de descargas parciais e de corona.

Para cada tipo de eletrodo e valor do gap definidos, será aplicada tensão que irá desde a tensão de inicio da descarga corona até a tensão máxima suportável (eminência de ruptura do ar) com passo de 1 kV.

O tempo de aplicação da tensão, para cada passo de 1 kV, será de 5 minutos. Durante o tempo de aplicação da tensão, realizar-se-á a análise com o DayCor® (Figura 4.3), onde serão captados vídeos com duração de 15 segundos, divididos da seguinte maneira;

- 1º Vídeo: primeiros 15 segundos;
- 2º Vídeo: 1 minuto até 01min15s;
- 3º Vídeo: 4min45s até 5min.



Figura 4.3: Câmara ultra-violeta DayCor®

O DayCor® captará vídeos dos ensaios e com o auxílio de uma câmera digital (encontrada facilmente no mercado) esses vídeos serão gravados para posteriormente passarem pelo processamento.

Os vídeos obtidos serão divididos em diversas imagens. As imagens separadas serão tratadas de duas formas: a primeira será o tratamento de imagem propriamente dito que será realizado com uma rotina computacional utilizando filtros e funções do MatLab®, a segunda, denominada de análise direta, realizará uma análise da quantidade de pontos luminosos fornecidos pela câmara ultravioleta DayCor® em seu display quando do momento de sua utilização.

5 Resultados

Conforme descrito em Materiais e Métodos, foram obtidos três vídeos para cada configuração, ou seja, três vídeos de duração de 15 (quinze) segundos para cada eletrodo com um determinado espaçamento. Apenas o terceiro vídeo foi utilizado nas análises em virtude da necessidade de se esperar um intervalo tempo até o estabelecimento do corona em um determinado nível.

Os vídeos captados pelo DayCor® foram divididos em quantidades diferentes de imagens em função da análise a qual estas foram submetidas, isto é, o tratamento imagens propriamente dito ou a análise direta.

O intuito da análise do efeito corona a partir do tratamento de imagens e da análise direta dos dados fornecidos pelo DayCor® é relacionar o nível de corona com a quantidade de pixels observadas no tratamento da imagem e verificar se esta relação é compatível com a relação do nível de corona e a quantidade de pontos luminosos realizada pelo DayCor®.

5.1 Tratamento de imagens

Com os vídeos obtidos conforme descrito em Materiais e Métodos buscou-se a sua análise. Inicialmente cada vídeo foi dividido em 200 (duzentas) imagens e após uma inspeção visual foram escolhidas as 10 (dez) imagens com maior nível de corona. No Matlab®, essas imagens foram escurecidas de modo a diminuir o efeito dos reflexos da luz nos objetos presentes no laboratório e realçar apenas o efeito corona.

Em seguida, as 10 (dez) imagens escurecidas passaram por uma série de filtros que selecionaram a parte de incidência do corona e tornaram preto todo o restante da imagem. Após isso, elas foram transformadas em imagens binárias, ou seja, representadas por matrizes binárias, onde o valor 1 foi atribuído à região mais clara da imagem, e o valor 0 a toda parte mais escura.

a) Imagem escurecida.

b) Imagem binária.



Figura 5.1: Eletrodo ponta fina com gap de 50 mm submetido a uma tensão de 17 kV. a) Imagem escurecida e b) imagem binária

As 10 (dez) matrizes binárias foram somadas umas as outras gerando uma única matriz reunindo registros de todas as incidências de corona das imagens consideradas. Nesta nova matriz, valores com frequência de ocorrência menor que 2 (dois) foram descartados como forma de se eliminar o ruído e selecionar apenas a região do corona. Por último, foi feito o levantamento da concentração de pixel na área luminosa que representa o corona.

a) Soma das 10 imagens binárias.

b) Região de ocorrência de corona apenas.

Imagem ponderada com a eliminação de ruídos.



Figura 5.2: Eletrodo ponta fina com gap de 50 mm submetido a uma tensão de 17 kV.

Após o tratamento das imagens obtidas nos ensaios com o eletrodo ponta fina com as várias tensões, foram esboçados gráficos da concentração de pixels versus a tensão aplicada entre os eletrodos ponta fina e plano, para os diversos espaçamentos.

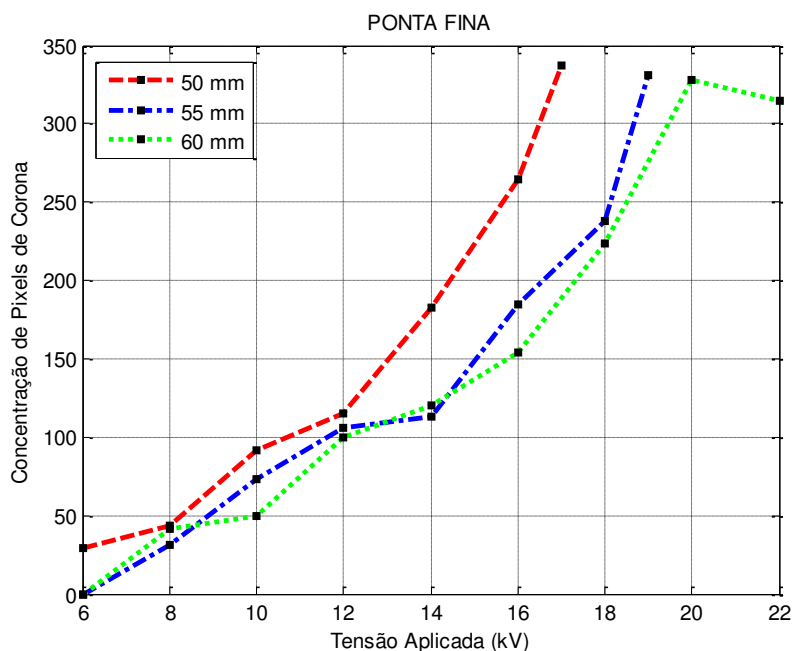


Figura 5.3: Concentração de pixel em função da tensão aplicada. Ponta fina.

A Figura 5.3 apresenta as curvas de concentração de pixels luminosos na imagem tratada (Figura 5.2 b), versus a tensão aplicada para espaçamentos de 50 mm, 55 mm e 60 mm entre os eletrodos ponta fina e plano. A curva vermelha representa os resultados para um espaçamento de 50 mm, a curva azul representa os resultados para um espaçamento de 55 mm e a curva verde representa os resultados para um espaçamento de 60 mm entre os eletrodos ponta fina e plano. A concentração de pixel na tensão de eminência de ruptura para cada gap considerado é mostrada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Concentração de pixels de corona entre os eletrodos ponta fina e plano na tensão de eminência de ruptura.

Gap (mm)	Tensão de eminência de ruptura (kV)	Concentração de pixels de corona (pixel)	Curva na Figura 5.3
50	17	337	Vermelha
55	19	331	Azul
60	22	315	Verde

O nível de corona (representado pela concentração de pixel) na tensão de eminência de ruptura é aproximadamente o mesmo para os 3 (três) gaps considerados, conforme o esperado (Tabela 5.1). Isto se deve à intensidade do campo elétrico entre os eletrodos, na eminência de ruptura, ser igual para os 3 (três) casos.

À medida que o espaçamento entre os eletrodos aumenta, a tensão de eminência de ruptura torna-se proporcionalmente maior e o campo elétrico mantém sempre a mesma intensidade. Para uma mesma tensão, a concentração de pixel na região entre os eletrodos é tanto maior quanto menor for o gap. Assim, na Figura 5.3, para uma tensão de 16 kV, por exemplo, a concentração de pixels de corona para os diferentes espaçamentos entre os eletrodos é mostrada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Concentração de pixels de corona para diferentes espaçamentos entre os eletrodos ponta fina e plano para tensão de 16 kV.

Tensão aplicada = 16 kV		
Gap (mm)	Concentração de pixels de corona (pixel)	Curva na Figura 5.3
50	265	Vermelha
55	185	Azul
60	154	Verde

Após o tratamento das imagens obtidas nos ensaios com o eletrodo ponta arredondada com as várias tensões, foram esboçados gráficos da concentração de pixels versus a tensão aplicada entre os eletrodos ponta arredondada e plano, para os diversos espaçamentos.

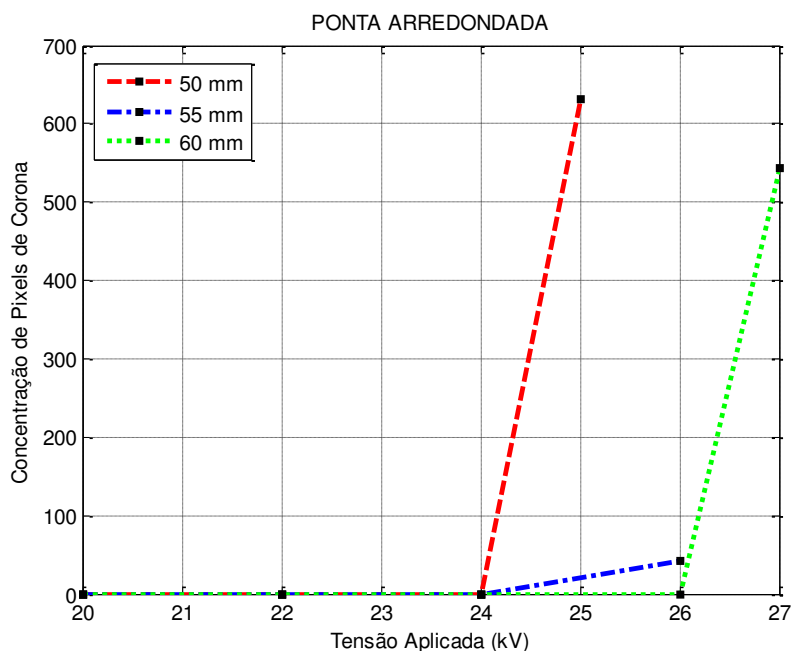


Figura 5.4: Concentração de pixel em função da tensão aplicada. Ponta arredondada.

A Figura 5.4 apresenta as curvas de concentração de pixels luminosos da imagem tratada versus a tensão aplicada para espaçamentos de 50 mm, 55 mm e 60 mm entre os eletrodos ponta arredondada e plano. A curva vermelha representa os resultados para um espaçamento de 50 mm, a curva azul representa os resultados para um espaçamento de 55 mm e a curva verde representa os resultados para um espaçamento de 60 mm entre os eletrodos ponta arredondada e plano. A concentração de pixel na tensão de eminência de ruptura para cada gap considerado é mostrada na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Concentração de pixels de corona entre os eletrodos ponta arredondada e plano na tensão de eminência de ruptura.

Gap (mm)	Tensão de eminência de ruptura (kV)	Concentração de pixels de corona (pixel)	Curva na Figura 5.4
50	25	632	Vermelha
55	26	42	Azul
60	27	544	Verde

Os níveis de corona (representado pela concentração de pixel) na tensão de eminência de ruptura são bastante diferentes entre si, sobretudo para o caso do eletrodo com espaçamento de 55 mm, como está mostrado na Tabela 5.3. O resultado esperado era uma mesma concentração de pixel para os 3 (três) gaps.

A intensidade do campo elétrico entre os eletrodos, na eminência de ruptura, em teoria, deveria ser a mesma para os 3 (três) gaps, visto que o aumento da distância entre os eletrodos é acompanhado de um aumento proporcional da tensão de eminência de ruptura, com isso o campo elétrico se mantém constante, bem como o nível de corona.

Novos ensaios, com a aplicação de tensão a passos de variação menores que 1 kV, bem como a realização do tratamento de imagem com um maior número de imagens podem trazer resultados mais conclusivos.

Após o tratamento das imagens obtidas nos ensaios com o eletrodo ponta plana com as várias tensões, foram esboçados gráficos da concentração de pixels versus a tensão aplicada entre os eletrodos ponta plana e plano, para os diversos espaçamentos.

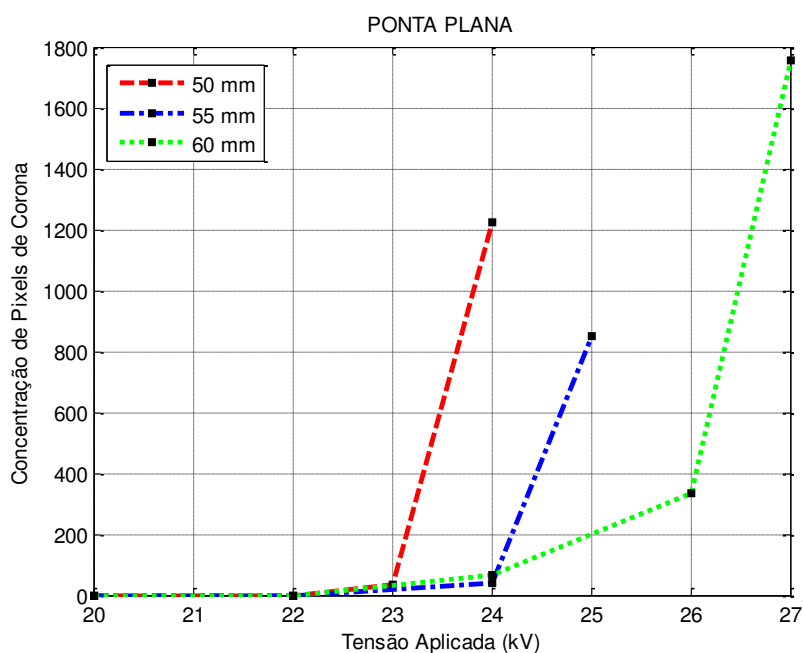


Figura 5.5: Concentração de pixel em função da tensão aplicada. Ponta plana.

A Figura 5.5 apresenta as curvas de concentração de pixels luminosos da imagem tratada versus a tensão aplicada para espaçamentos de 50 mm, 55 mm e 60 mm

entre os eletrodos ponta plana e plano. A curva vermelha representa os resultados para um espaçamento de 50 mm, a curva azul representa os resultados para um espaçamento de 55 mm e a curva verde representa os resultados para um espaçamento de 60 mm entre os eletrodos ponta plana e plano. A concentração de pixel na tensão de eminência de ruptura para cada gap considerado é mostrada na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Concentração de pixels de corona entre os eletrodos ponta plana e plano na tensão de eminência de ruptura.

Gap (mm)	Tensão de eminência de ruptura (kV)	Concentração de pixels de corona (pixel)	Curva na Figura 5.5
50	24	1223	Vermelha
55	25	850	Azul
60	27	1754	Verde

Os níveis de corona (representado pela concentração de pixel) na tensão de eminência de ruptura são bastante diferentes entre si, sobretudo para o caso do eletrodo com espaçamento de 55 mm, como está mostrado na Tabela 5.4. O resultado esperado era uma mesma concentração de pixel para os 3 (três) gaps.

A intensidade do campo elétrico entre os eletrodos, na eminência de ruptura, em teoria, deveria ser a mesma para os 3 (três) gaps, visto que o aumento da distância entre os eletrodos é acompanhado de um aumento da tensão de eminência de ruptura, com isso o campo elétrico se mantém constante, bem como o nível de corona.

Novos ensaios, com a aplicação de tensão a passos de variação menores que 1 kV, bem como a realização do tratamento de imagem com um maior número de imagens, podem trazer resultados mais conclusivos.

Dentre os 3 (três) tipos de eletrodos ensaiados apenas o ponta fina apresenta resultados condizentes com a teoria. Os valores de concentração de pixel para a tensão de eminência de ruptura estão muito próximos entre si (Tabela 5.1). Além disso, para uma mesma tensão a concentração de pixel é maior nos menores espaçamentos entre os eletrodos, uma vez que o campo elétrico, nessas circunstâncias, é mais intenso nos menores gaps.

Os resultados para os eletrodos: ponta arredondada e ponta plana (Figura 5.4 e Figura 5.5, respectivamente) diferem dos previstos pela teoria. Por essa razão, são necessários novos ensaios com aplicação de uma quantidade maior de níveis de tensão, além de um maior número de imagens tratadas com a finalidade de se obter resultados mais precisos e conclusivos em relação, inclusive, à influência da geometria dos eletrodos nos níveis de corona.

5.2 Análise direta

Na análise direta cada vídeo foi dividido em 16 imagens, aproximadamente 1 imagem para cada segundo. As imagens passaram por uma avaliação do número de pontos luminosos indicados na tela do DayCor no momento de sua captura. Foi feita, então, uma média aritmética com os números de pontos luminosos. A média para cada tipo de eletrodo, espaçamento e nível de tensão aplicada foi armazenada em vetores.

Os vetores contendo as médias dos números de pontos luminosos (corona) fornecidos pelo DayCor foram relacionados com os vetores composto pelos correspondentes valores de tensão na forma de gráficos.

A análise direta das imagens obtidas com o DayCor® nos ensaios com o eletrodo ponta fina resulta nas médias dos números de pontos luminosos fornecidos pela câmera ultravioleta. Foram esboçados gráficos da concentração de pontos luminosos do DayCor® versus a tensão aplicada entre os eletrodos ponta fina e plano.

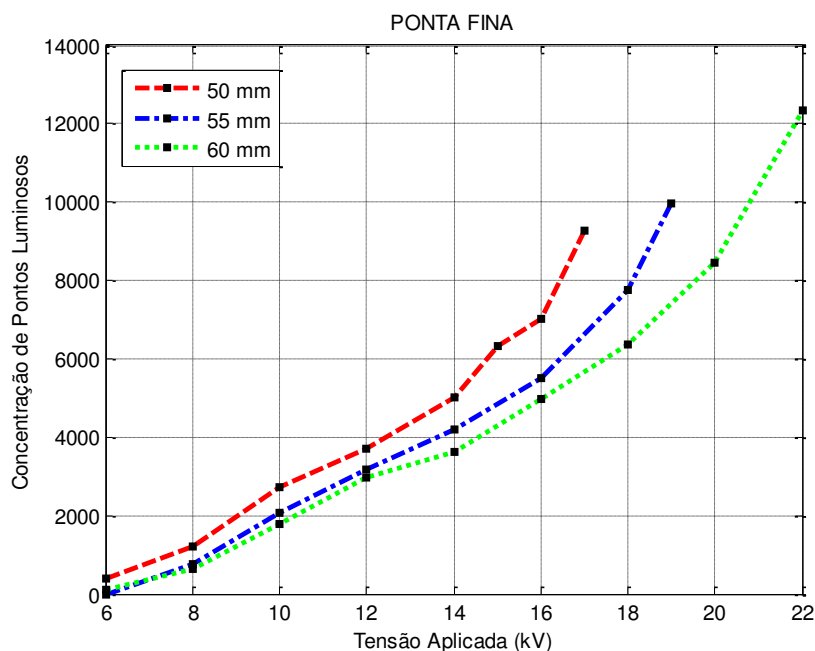


Figura 5.6:Concentração de pontos luminosos em função da tensão aplicada. Ponta Fina.

A Figura 5.6 apresenta as curvas de concentração de pontos luminosos na análise direta das imagens do DayCor® versus a tensão aplicada para espaçamentos de 50 mm, 55 mm e 60 mm entre os eletrodos ponta fina e plano. A curva vermelha representa os resultados para um espaçamento de 50 mm, a curva azul representa os resultados para um espaçamento de 55 mm e a curva verde representa os resultados para um espaçamento de 60 mm entre os eletrodos ponta fina e plano. A concentração de pontos luminosos na tensão de eminência de ruptura para cada gap considerado é mostrada na Tabela 5.5.

Tabela 5.5:Concentração de pontos luminosos entre os eletrodos ponta fina e plano na tensão de eminência de ruptura.

Gap (mm)	Tensão de eminência de ruptura (kV)	Concentração pontos luminosos	Curva na Figura 5.6
50	17	9263	Vermelha
55	19	9984	Azul
60	22	12350	Verde

Os níveis de corona (representado pela concentração de pontos luminosos) na tensão de eminência de ruptura são muito próximos para o caso dos gaps de 50 mm e 55 mm, conforme esperado. Para um espaçamento de 60 mm, porém, a concentração de pontos luminosos é um pouco maior, conforme pode ser visto na Tabela 5.5.

À medida que o espaçamento entre os eletrodos aumenta, a tensão de eminência de ruptura torna-se proporcionalmente maior e o campo elétrico mantém sempre a mesma intensidade. Com a mesma intensidade de campo elétrico entre os eletrodos ponta fina e plano, para os diferentes espaçamentos considerados, o nível de corona também será o mesmo. Fato não observado para eletrodo com espaçamento de 60 mm quando comparado com os outros dois casos (gap 50 mm e gap 55 mm).

Para uma mesma tensão, a concentração de pixel na região entre os eletrodos é tanto maior quanto menor for o gap. Assim, na Figura 5.6, para uma tensão de 16 kV, por exemplo, a concentração de pontos luminosos para os diferentes espaçamentos entre os eletrodos é mostrada na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Concentração de pontos luminosos para diferentes espaçamentos entre os eletrodos ponta fina e plano para tensão de 16 kV.

Tensão aplicada = 16 kV		
Gap (mm)	Concentração de pontos luminosos (pixel)	Curva na Figura 5.6
50	7007	Vermelha
55	5495	Azul
60	4963	Verde

A análise direta das imagens obtidas com o DayCor® nos ensaios com o eletrodo ponta arredondada resulta nas médias dos números de pontos luminosos fornecidos pela câmera ultravioleta. Foram esboçados gráficos da concentração de pontos luminosos do DayCor® versus a tensão aplicada entre os eletrodos ponta arredondada e plano.

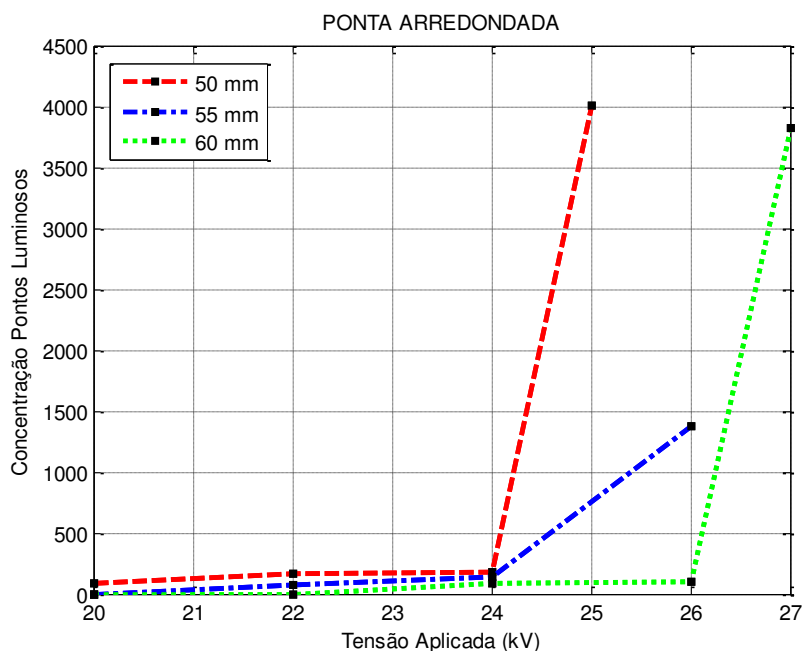


Figura 5.7: Concentração de pontos luminosos em função da tensão aplicada. Ponta arredondada.

A Figura 5.7 apresenta as curvas de concentração de pontos luminosos na análise direta das imagens do DayCor® versus a tensão aplicada para espaçamentos de 50 mm, 55 mm e 60 mm entre os eletrodos ponta arredondada e plano. A curva vermelha representa os resultados para um espaçamento de 50 mm, a curva azul representa os resultados para um espaçamento de 55 mm e a curva verde representa os resultados para um espaçamento de 60 mm entre os eletrodos ponta arredondada e plano. A concentração de pontos luminosos na tensão de eminência de ruptura para cada gap considerado é mostrada na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Concentração de pontos luminosos entre os eletrodos ponta arredondada e plano na tensão de eminência de ruptura.

Gap (mm)	Tensão de eminência de ruptura (kV)	Concentração pontos luminosos	Curva na Figura 5.7
50	25	4009	Vermelha
55	26	1376	Azul
60	27	3817	Verde

Os níveis de corona (representado pela concentração de pontos luminosos) na tensão de eminência de ruptura são muito próximos para o caso dos gaps de 50 mm e 60 mm, conforme esperado (Tabela 5.7). Para os eletrodos com espaçamento de 55 mm, porém, a concentração de pontos luminosos é bem menor, conforme pode ser visto na Tabela 5.7. O resultado esperado era uma mesma concentração de pixel para os 3 (três) gaps.

A intensidade do campo elétrico entre os eletrodos, na eminência de ruptura, em teoria, deveria ser a mesma para os 3 (três) gaps, visto que o aumento da distância entre os eletrodos é acompanhado de um aumento proporcional da tensão de eminência de ruptura, com isso o campo elétrico se mantém constante, bem como o nível de corona.

Novos ensaios, com a aplicação de tensão a passos de variação menores que 1 kV, bem como a realização do tratamento de imagem com um maior número de imagens podem trazer resultados mais conclusivos.

A análise direta das imagens obtidas com o DayCor® nos ensaios com o eletrodo ponta plana resulta nas médias dos números de pontos luminosos fornecidos pela câmera ultravioleta. Foram esboçados gráficos da concentração de pontos luminosos do DayCor® versus a tensão aplicada entre os eletrodos ponta plana e plano.

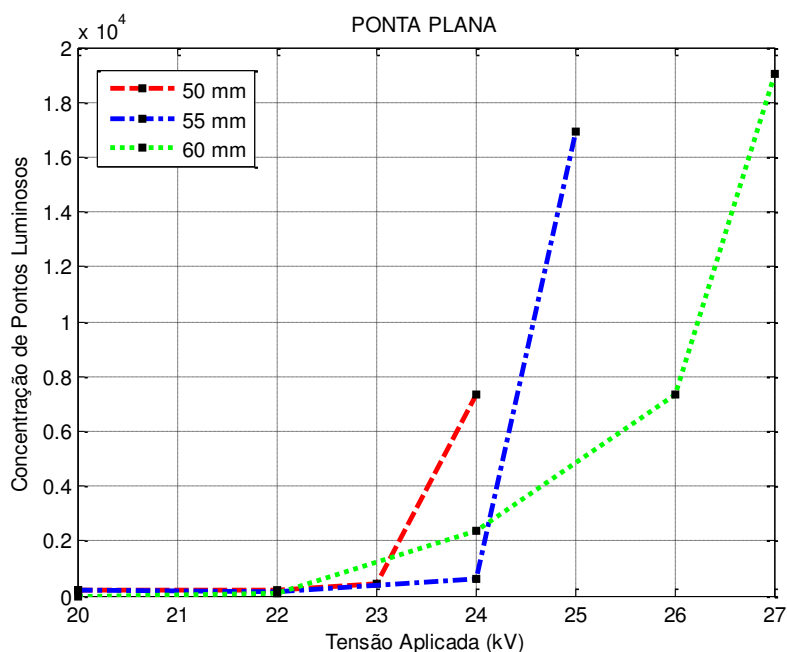


Figura 5.8: Concentração de pontos luminosos em função da tensão aplicada. Ponta plana.

A Figura 5.8 apresenta as curvas de concentração de pontos luminosos na análise direta das imagens do DayCor® versus a tensão aplicada para espaçamentos de 50 mm, 55 mm e 60 mm entre os eletrodos ponta plana e plano. A curva vermelha representa os resultados para um espaçamento de 50 mm, a curva azul representa os resultados para um espaçamento de 55 mm e a curva verde representa os resultados para um espaçamento de 60 mm entre os eletrodos ponta plana e plano. A concentração de pontos luminosos na tensão de eminência de ruptura para cada gap considerado é mostrada na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: : Concentração de pontos luminosos entre os eletrodos ponta plana e plano na tensão de eminência de ruptura.

Gap (mm)	Tensão de eminência de ruptura (kV)	Concentração pontos luminosos	Curva na Figura 5.7
50	24	7352	Vermelha
55	25	16910	Azul
60	27	19010	Verde

Os níveis de corona (representado pela concentração de pontos luminosos) na tensão de eminência de ruptura são bastante diferentes entre si, sobretudo para o caso do eletrodo com espaçamento de 50 mm, como está mostrado na Tabela 5.8. O resultado esperado era uma mesma concentração de pixel para os 3 (três) gaps.

A intensidade do campo elétrico entre os eletrodos, na eminência de ruptura, em teoria, deveria ser a mesma para os 3 (três) gaps, visto que o aumento da distância entre os eletrodos é acompanhado de um aumento proporcional da tensão de eminência de ruptura, com isso o campo elétrico se mantém constante, bem como o nível de corona.

Novos ensaios, com a aplicação de tensão a passos de variação menores que 1 kV, bem como a realização do tratamento de imagem com um maior número de imagens, podem trazer resultados mais conclusivos.

Dentre os 3 (três) tipos de eletrodos ensaiados apenas o ponta fina apresenta resultados condizentes com a teoria. Os valores de concentração de pontos luminosos para a tensão de eminência de ruptura estão muito próximos entre si (Tabela 5.5). A única exceção é para o caso dos eletrodos com espaçamento de 60 mm que possui uma maior concentração de pontos luminosos que os eletrodos com gaps de 50 mm e 55 mm. Além disso, para uma mesma tensão a concentração de pontos luminosos é maior nos menores espaçamentos entre os eletrodos, conforme o esperado, uma vez que o campo elétrico, nessas circunstâncias, é mais intenso nos menores gaps.

Os resultados para os eletrodos: ponta arredondada e ponta plana (Figura 5.7 e Figura 5.8 respectivamente) diferem dos previstos pela teoria e suas curvas apresentam um comportamento bastante diferente das curvas do caso do eletrodo ponta fina. Por essa razão, são necessários novos ensaios com aplicação de uma quantidade maior de níveis de tensão, além de um maior número de imagens tratadas com a finalidade de se obter resultados mais precisos e conclusivos em relação, inclusive, à influência da geometria dos eletrodos nos níveis de corona.

O tratamento aplicado às imagens oriundas da separação dos vídeos captados pelo DayCor® apresentaram resultados (Figuras 5.3, 5.4 e 5.5) bastante semelhantes aos resultados correspondentes da análise direta da quantidade de pontos luminosos indicados no display do DayCor® (Figuras 5.6, 5.7 e 5.8).

Para o eletrodo ponta fina, as curvas da Figura 5.3 são semelhantes, em suas formas, às curvas da Figura 5.6. Em trechos correspondentes, elas apresentam, em geral, o mesmo comportamento.

Todavia, algumas particularidades merecem destaque. Na Figura 5.3 a curva para o gap de 60 mm apresenta um decaimento na passagem de 20 kV para 22 kV que não possui correspondente na Figura 5.6, onde ocorre o esperado, isto é, a continuação do crescimento. Entretanto, o crescimento na curva para o gap de 60 mm na Figura 5.6 é demasiado grande resultando numa concentração de pontos luminosos muito maior que o nível de concentração apresentado pelos outros dois casos (gap de 50 mm e gap de 55 mm). Ver Figura 5.6.

Na Figura 5.3, a curva verde (gap de 60 mm), em determinados valores de tensão, apresenta concentração de pixels maior que o da curva azul (gap de 55 mm). Este fato não é previsto na teoria e não é observado nas curvas correspondentes na

Figura 5.6. O resultado esperado, para todos os casos, é que a curva para o gap de 50 mm esteja acima da curva para o gap de 55 mm e esta, por sua vez, acima da curva para o gap de 60 mm, conforme observado na Figura 5.6. Um maior número de imagens submetidas às etapas de tratamento e um ensaio com mais níveis de tensão podem trazer resultados melhores.

Os resultados para os eletrodos ponta arredondada e ponta plana apresentaram grandes discordâncias com o previsto na teoria. Os resultados provenientes do tratamento de imagem propriamente dito (Figura 5.4 e Figura 5.5) mostram que a concentração de pixel (e conseqüentemente o nível de corona) entre os eletrodos ponta arredondada e plano, bem como entre os eletrodos ponta plana e plano não é a mesma para os todos os gaps considerados (50 mm, 55 mm e 60 mm) nas suas respectivas tensões de ruptura (Tabela 5.3 e Tabela 5.4). O mesmo ocorre para a concentração de pontos luminosos na tensão de ruptura visualizados no DayCor® (Tabela 5.7 e Tabela 5.8), resultado da análise direta (Figura 5.7 e Figura 5.8).

Em todos os resultados obtidos, os valores de concentração de pixel oriundos do tratamento de imagens apresentam ordem de grandeza aproximadamente 10 (dez) vezes menores que os valores de concentração de pontos luminosos oriundos da análise direta.

A explicação para as discrepâncias observadas nas formas das curvas e na ordem de grandeza de seus valores de concentração de pixel e de pontos luminosos está na quantidade de imagens submetidas ao tratamento de imagens propriamente dito, 10 (dez) apenas. A solução seria utilizar um número maior de imagens. Com um maior número de imagens processadas, resultados melhores e mais conclusivos seriam obtidos. Em contrapartida, o esforço computacional seria muito maior.

Embora observadas algumas discrepâncias nos resultados do tratamento da imagem e na análise dos valores do DayCor, o processamento proposto é considerado satisfatório por apontar um bom caminho nessa parametrização.

6 Conclusão

Embora tenham sido observadas algumas discrepâncias entre os resultados do tratamento da imagem e os da análise direta dos valores fornecidos pelo DayCor®, o processamento proposto é considerado satisfatório. A razoável consonância entre o comportamento das curvas, como também, a relação verificada entre os valores de concentração de pixels e de pontos luminosos são indícios disso.

Todavia o trabalho com processamento de imagens não é trivial. Há uma forte dependência do caso a ser estudado com as técnicas de processamento a serem utilizadas. Inspeções em campo se mostram como grandes desafios para o processamento das imagens dado a grande presença de ruídos. Outros fatores a serem levados em consideração por influenciarem no tratamento da imagem são: a distância do observador ao equipamento inspecionado, a resolução da câmera de captura de imagens, entre outros.

As dificuldades referentes ao processamento de imagem tendem serem superadas com a continuação das pesquisas e dos ensaios. Em assim sendo, outras ferramentas, como as redes neurais, serão utilizadas na parametrização dos valores de descargas corona fornecidos pelo DayCor® com o campo elétrico e seus efeitos.

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho foi exitoso ao proporcionar conhecimentos das etapas de pesquisa e de elaboração de trabalhos técnicos e científicos. O profissional que consegue distinguir bem o planejamento, a execução, a coleta de dados, a análise dos resultados e as conclusões do trabalho e sobretudo, consegue relatar de maneira clara e concisa essas etapas tende a alcançar êxito em todos os trabalhos futuros ao longo de sua carreira.

7 Bibliografia

- [1] Washington Neves, “Capítulo 4 - Mecanismos de Condução e Ruptura em Dielétricos” Apostila de Materiais Elétricos DEE UFCG.
- [2] Bruno Fernando Gianelli, “Caracterização do efeito corona em isoladores poliméricos do tipo bastão submetidos à poluição salínica,” Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências, 2008.
- [3] Ailton Lopes Souza, “Estudo de Modelos para Definição de um Critério de Início de Corona Através da Análise de Experimentos e Simulações Computacionais,” Universidade Federal de Minas Gerais.
- [4] Ailton Lopes Souza, “Estudo do Caráter Estatístico da Tensão de Início de Corona,” Belo Horizonte, MG, Brasil.
- [5] Márcio Portes de Albuquerque e Marcelo Portes de Albuquerque, Processamento de Imagens: Métodos e Análises, Rua Dr. Xavier Sigaud n.150 – 22290-180 – Rio de Janeiro - Brasil.
- [6] Paulo de tarso Medeiros, “Tensão de ruptura de impulso nas misturas de SF6 N2 em campos divergentes,” Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1982.
- [7] Essam Nasser, Fundamentals of Gaseous Ionization and Plasma Electronics. Wiley-Interscience, 1970.
- [8] Ravindra Arora, Wolfgang Mosch, High Voltage Insulation Engineering. New Age International Publishers, 1995.
- [9] M. Goldman, R.S. Sigmond, Corona and Insulation. IEEE Transactions on Electrical Insulation. Vol. 17, N_2, April 1982.