



Universidade Federal
de Campina Grande

CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS DE FÁCULAS DE IMAGENS ULTRAVIOLETAS DE ISOLADORES POLIMÉRICOS

KAL-EL BASÍLIO BRITO

Campina Grande, Paraíba.

Março de 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS DE FÁCULAS DE IMAGENS ULTRAVIOLETAS DE ISOLADORES POLIMÉRICOS

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR:
PROFESSOR EDSON GUEDES DA COSTA, D. SC.

Campina Grande, Paraíba.

Março de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B862E Brito, Kal-El Basílio.
Extração de atributos de imagens ultravioletas de isoladores poliméricos / Kal-El Basílio Brito. – Campina Grande-PB, 2017.
70 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2017.
"Orientação: Prof. Dr. Edson Guedes da Costa".
Referências.

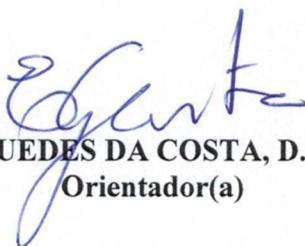
1. Algoritmo de Extração de Atributos. 2. Detecção Ultravioleta. 3. Isoladores Poliméricos. 4. Processamento Digital de Imagens. I. Costa, Edson Guedes da. II. Título.

CDU 621:004.932(043)

**"EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS DAS FÁCULAS DE IMAGENS ULTRAVIOLETAS DE
ISOLADORES POLIMÉRICOS"**

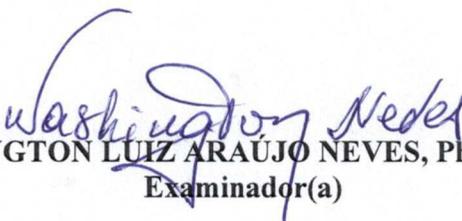
KAL-EL BASÍLIO BRITO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/03/2017



EDSON GUEDES DA COSTA, D.Sc., UFCG
Orientador(a)

TARSO VILELA FERREIRA, D.Sc., UFCG
Examinador(a)



WASHINGTON LUIZ ARAÚJO NEVES, Ph.D., UFCG
Examinador(a)



HELDER ALVES PEREIRA, Dr., UFCG
Examinador(a)



ANDRÉ DANTAS GERMANO, Dr., UFCG
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB

“Não há problema que não possa ser solucionado pela paciência.”

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Rosa Maria Basílio Brito e ao meu pai Ben-Hur de Oliveira Brito pela vida, pelo amor e pelo suporte incondicional durante toda minha existência.

Ao professor orientador Edson Guedes da Costa pela paciência e pelo zelo.

Aos professores do LAT Tarso Vilela Ferreira e Andre Dantas Germano pela atenção e pela dedicação.

Aos meus amigos Rodolfo Medeiros, Cândido Neto, Rajiv Albino, Leonardo Campos, Herbet Filipe, Martins Borburema, Hugo Monteiro e Rodolpho Martins pela parceria, pela disposição em ajudar e pelas boas risadas.

A Fernando Barbosa pela grande responsabilidade de ser meu melhor amigo.

A Manuela Queiroz pelo enorme apoio durante a etapa mais crítica da realização do trabalho.

Aos também alunos do LAT Antonio Neto, Bruno Dias, Marconni Freitas, Marcus Tullius Florentino, Filipe Lucena, Raphael Borges, Pedro Venske, Girlene Ribeiro, Henrique Santana, João Marcelo, Adriano Costa, Renata Garcia, Lenilson Andrade, Iago Batista e Alfredo Neto pelo apoio no desenvolvimento das atividades e pelos momentos de descontração e café.

Ao corpo técnico do LAT, nas pessoas de Jennefer Pequeno e Higor da Costa, pelo auxílio na realização de experimentos.

À COPELE, CAPES e CNPq pelo auxílio financeiro.

Ao Contribuinte Brasileiro que, compulsoriamente, financia a mim e todos os outros estudantes de Instituições Públicas Brasileiras.

RESUMO

Em inspeção, com câmara sensível à radiação ultravioleta, são fornecidas apenas informações acerca do local onde estão concentradas as descargas corona e uma estimativa de intensidade dessas decargas em equipamento de alta tensão. Nesse intuito, uma metodologia de extração de atributos das fâculas de imagens ultravioletas de isoladores poliméricos de 230 kV foi desenvolvida. Para isso, foram usados vídeos captados pela câmera de detecção ultravioleta como material. Essas informações, quando adequadamente dispostas, podem servir de entrada a um sistema de auxílio à tomada de decisão que poderá classificar, finalmente, os isoladores em padrões predefinidos. Na metodologia do trabalho, desenvolveram-se várias rotinas de processamento digital de imagens para, inicialmente, adequar as imagens e, posteriormente, quantificar os atributos de interesse extraídos. As rotinas de adequação de imagens buscam segmentar o *shape* do isolador do plano de fundo, segmentar em uma imagem as fâculas, que representam descargas causadas pelo efeito corona, integralizar as fâculas de vários quadros em apenas uma imagem, eliminar o que vier a ser considerado ruído e segmentar o *shape* do isolador em partes de interesse. As rotinas de quantificação de atributos são destinadas a calcular a área, o perímetro, o fator de forma e a persistência das fâculas, além de sua distância às partes de interesse do isolador polimérico de 230 kV. Como resultado do desenvolvimento das rotinas, é apresentado um algoritmo para extração de atributos de fâculas. Finalmente, é feita uma análise de sensibilidade dos parâmetros usados no algoritmo no intuito de delimitar suas condições de uso. Dois estudos da aplicação do algoritmo foram realizados, em que, para cada um deles foram processados 64 combinações de número de quadros e de limite de ruído. Foram apresentadas as superfícies dos atributos de área, perímetro, fator de forma e persistência das fâculas em função dos dois parâmetros citados. A fim de determinar qual par ordenado (número de quadros, limite de ruído) seria adequado, adotou-se como métrica buscar o menor valor de gradiente das superfícies dos atributos. Concluiu-se que a metodologia de extração de atributos de fâculas de imagens ultravioletas de isoladores, para aprimoramento da classificação de isoladores foi desenvolvida com sucesso e a contribuição do trabalho se apresenta na metodologia para extração de atributos e na determinação do número de quadros e limite de ruído adequados para vídeos ultravioletas.

Palavras-chaves: Algoritmo de Extração de Atributos, Detecção Ultravioleta, Isoladores Poliméricos, Processamento Digital de Imagens

ABSTRACT

On inspection with ultraviolet sensitive camera, it is only supplied information on where the corona discharges are concentrated and an estimative of intensity of these discharges in high voltage equipment. For this purpose, it was developed a methodology of faculae attribute extraction of ultraviolet images from 230 kV polymeric insulators. In order to do this, videos captured by the ultraviolet detection camera were used as work material. The methodology of the work consists of the development of several digital image processing routines, initially, to adapt images and, later, to quantify the attributes of interest extracted. The image adaptation routines seek to segment the shape of the insulator from the background, to segment in an image the faculae that represent discharges caused by corona effect, to integrate faculae from multiple frames in only one image, to eliminate what is to be considered noise and to segment the shape of the insulator into parts of interest. The attribute quantification routines are destined for faculae area, perimeter, form factor and persistence, in addition to their distances of the 230 kV polymeric insulator parts of interest. As a result of the development of these routines an algorithm for attribute extraction is presented. Finally, a sensitivity analysis of the parameters used in the algorithm is made, with the intention to delimit its use conditions. Two case studies of the application of the algorithm were performed, for each of them 64 combinations of number of frames and noise limit were processed. Presenting the surfaces of area, perimeter, shape factor and persistence of the faculae attributes in function of the two cited parameters. In order to determine which number of frames and noise limit would be suitable, it was adopted as metric to look for the lowest gradient value of the attributes surfaces. In conclusion the methodology for extracting attributes from the UV image faculae of insulators to improve the classification of insulators was successfully developed and the contribution of the work is presented in extracting attributes and determining suitable number of frames and noise limits for UV videos.

Keywords: Attributes Extraction Algorithm, Digital Image Processing, Polymeric Insulators, Ultraviolet Detection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Espectros de interesse <i>versus</i> comprimento de onda	12
Figura 2.2. Princípio de funcionamento da câmera UV	13
Figura 2.3. RGB e suas bandas R, G e B.....	14
Figura 2.4. Exemplos de imagem (a) vetorial e (b) matricial.....	16
Figura 2.5. Distância do píxel central pela forma (a) de, (b) d4 e (c) d8.....	18
Figura 2.6. Partes constituintes de um isolador polimérico.....	20
Figura 3.1. Segmentação da fâcula.....	24
Figura 3.2. Evolução das descargas com o aumento da tensão aplicada.....	24
Figura 3.3. Imagens de fâculas com ganho UV de 60 para as tensões de: (a) 10 kV, (b) 30 kV, (c) 50 kV e (d) 70 kV.....	25
Figura 3.4. Relação entre diâmetro da fâcula e risco de ruptura.....	26
Figura 3.5. Segmentação da imagem do isolador em partes de interesse.....	26
Figura 3.6. Etapas de PDI utilizadas para rotulação de fâculas.....	27
Figura 3.7. Imagem (a) captada com CoroCAM 504 e (b) processada.....	28
Figura 3.8. Fâculas de isoladores submetidos a diversos níveis de tensão.....	28
Figura 3.9. Etapas de PDI utilizadas para segmentação de fâculas em experimento haste-plano.....	29
Figura 3.10. Etapas de PDI para determinação de fâcula e seu contorno.....	30
Figura 3.11. Imagens UV obtidas (a) em ensaio, (b) segmentadas e (c) após eliminação de ruído.....	30
Figura 3.12. Gráfico da área da fâcula versus distância de aquisição.....	31
Figura 3.13. Contabilização de descargas gerados por gotas.....	32
Figura 3.14. Etapas do PDI para extração de atributos de superfícies hidrofóbicas.....	32
Figura 4.1. Fotografia do Daycor II fabricado pela <i>Ofil Systems</i>	35
Figura 4.2. Fotografias do (a) isolador polimérico e (b) diagrama esquemático com as dimensões.....	36
Figura 4.3. Quadros obtidos de um vídeo de ensaio de isolador poliméricos de 230 kV.....	37
Figura 4.4. <i>Shape</i> do isolador ensaiado.....	37
Figura 4.5. Quadro extraído de (a) vídeo do ensaio (b) fâcula segmentada.....	38
Figura 4.6. Integralização das fâculas.....	39
Figura 4.7. Integralização das fâculas em um dos isoladores.....	41
Figura 4.8. Fâculas integralizadas em um isolador (a) com ruído e (b) sem ruído.....	41
Figura 4.9. Superfícies de fâculas no <i>shape</i> do isolador.....	42
Figura.4.10. Bordas da fâcula.....	43
Figura 4.11. Segmentação das partes de um isolador.....	44
Figura 4.12. Endereçamento das partes de interesse.....	45
Figura 4.13. Diagrama das rotinas implementadas.....	46
Figura 4.14. Resultado do aumento do limite de ruído de (a) 20%, (b) 40%, (c) 60% e (d) 80%.....	47
Figura 4.15. Gradiente de área, perímetro e persistência e somatório.....	48

Figura 5.1. <i>Shape</i> do isolador para o Caso 1.....	50
Figura 5.2. Resultado da fâcula com o uso de 100 quadros e limite de ruído de (a) 20% (b) 30% (c) 40% (d) 50% (e) 60% (f) 70% (g) 80% e (h) 90% para o Caso 1.....	50
Figura 5.3. Resultado da fâcula com limite de ruído de 50% com o uso de (a) 20 (b) 40 (c) 60 (d) 80 (e) 100 (f) 120 (g) 140 e (h) 160 quadros para o Caso 1.....	51
Figura 5.4. Superfície da area para o Caso 1.....	52
Figura 5.5. Superfície do perímetro para o Caso 1.....	52
Figura 5.6. Superfície do fator de forma para o Caso 1.....	53
Figura 5.7. Superfície da persistência para o Caso 1.....	53
Figura 5.8. Gradiente da área para o Caso 1.....	54
Figura 5.9. Gradiente do perímetro para o Caso 1.....	54
Figura 5.10. Gradiente da persistência para o Caso 1.....	55
Figura 5.11. Soma dos Gradiente de área, perímetro e persistência para o Caso 1.....	55
Figura 5.12. Resultados de (a) fâculas em isoladores poliméricos de 230 kV resultantes e (b) segmentação para o Caso 1.....	56
Figura 5.13. <i>Shape</i> do isolador para o Caso 2.....	57
Figura 5.14. Superfície da area para o Caso 2.....	57
Figura 5.15. Superfície do perímetro para o Caso 2.....	58
Figura 5.16. Superfície do fator de forma para o Caso 2.....	58
Figura 5.17. Superfície da persistência para o Caso 2.....	59
Figura 5.18. Gradiente da área para o Caso 2.....	59
Figura 5.19. Gradiente do perímetro para o Caso 2.....	59
Figura 5.20. Gradiente da persistência para o Caso 2.....	60
Figura 5.21. Soma dos Gradiente de área, perímetro e persistência para o Caso 2.....	60
Figura 5.22. Resultados de (a) fâculas em isoladores poliméricos de 230 kV resultantes e (b) segmentação para o Caso 2.....	61
Figura 5.23. Falsa segmentação do plano de fundo: (a) quadro do vídeo UV, (b) segmentação de fâcula e (c) integralização das fâculas em um imagem.....	62
Figura 5.24. Falsa segmentação de legendas e elementos da câmera UV: (a) quadro do vídeo UV, (b) segmentação de fâcula e (c) integralização das fâculas em um imagem.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Relação dos trabalhos citados na Revisão Bibliográfica.....	33
Tabela 5.1. Atributos para o Caso 1 com 80 quadros e limite de ruído de 80%.....	56
Tabela 5.2. Atributos para o Caso 2 com 80 quadros e limite de ruído de 80%.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CF	Contabilização de fâculas.
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco.
$d4$	Distância <i>city block</i> .
$d8$	Distância <i>chessboard</i> .
de	Distância euclidiana.
Dn	Imagem da descarga no quadro n .
EF	Eliminação de ruídos.
f	Representação do valor do píxel, função de fr , fg e fb .
fb	Componentes representam as intensidades de azul.
fg	Componentes representam as intensidades de verde.
fr	Componentes representam as intensidades de vermelho.
I	Imagem com integralização das fâculas.
IAT	Isoladores de alta tensão.
IR	Infravermelho.
PDI	Processamento Digital de Imagem.
RGB	Camadas Vermelha (<i>Red</i>), Verde (<i>Green</i>) e Azul (<i>Blue</i>).
RU	Ruído ultrassônico.
SC	Segmentação dos contornos de fâculas.
SR	Segmentação de regiões de interesse.
T	Transformada (operação aplicada à imagem a ser processada).
UV	Ultravioleta.

SUMÁRIO

1	Introdução	8
1.1	Contextualização.....	8
1.2	Motivação	9
1.3	Objetivos.....	10
1.4	Estrutura do Trabalho	10
2	Fundamentação Teórica.....	11
2.1	Detecção do Efeito Corona	11
2.2	Processamento Digital de Imagens	13
2.3	Isoladores Poliméricos	19
3	Revisão Bibliográfica	23
3.1	Monitoramento de UV em Alta Tensão.....	23
3.2	Quadro Sinóptico da Revisão Bibliográfica	32
4	Material e Métodos	35
4.1	Material.....	35
4.2	Métodos	36
5	Resultados.....	49
5.1	Análise de Sensibilidade: Número de Quadros e Limite de Ruído	49
5.2	Recomendações para Tratamento de Vídeos UV	62
6	Conclusão.....	64
6.1	Trabalhos Futuros	65
	Referências	66
	Anexo	70

1 INTRODUÇÃO

Nesta introdução serão apresentadas a contextualização desta dissertação e sua motivação. O objetivo geral e os específicos também são apresentados. Além disso, é mostrada a estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Um dos tipos de energia mais versáteis e de uso consolidado pela humanidade é a energia elétrica. A sociedade, tal qual estruturada atualmente, depende de grandes quantidades desse tipo de energia e, para suprir as diversas necessidades, faz-se uso de sistemas elétricos. Tais sistemas são capazes de transmitir, com baixas perdas, grandes blocos de energia, sendo essenciais para o desenvolvimento e manutenção do modo de vida moderno.

O desempenho do sistema elétrico de alta tensão, em especial das linhas de transmissão, está diretamente relacionado ao funcionamento de seus isoladores. A introdução de tecnologias confiáveis, que possibilite alertar às equipes de manutenção quanto ao processo degenerativo de isoladores, representa, portanto, uma ação estratégica importante para a operação das linhas de transmissão.

Destaca-se o monitoramento de isoladores como importante medida a ser tomada pelas concessionárias. Dentre as diversas técnicas, podem ser destacadas: inspeção visual, medição de corrente de fuga, detecção de infravermelho (IV), detecção de ruído ultrassônico (RU) e detecção de ultravioleta (UV).

A inspeção visual é a técnica de monitoramento mais comum devido à sua facilidade de aplicação, que é normalmente realizada a olho nu ou usando binóculos. Porém, apresenta como desvantagens a distância de observação para inspeções realizadas em campo e a subjetividade do analista humano.

Na medição de corrente de fuga também são fornecidas importantes informações relacionadas ao estado de degradação de isoladores, porém é uma técnica invasiva, o que dificulta sua aplicação.

A detecção de infravermelho é realizada utilizando termovisores, que convertem a energia infravermelha, proveniente de fontes de calor, em escala de cores, na qual a ocorrência de aumento na temperatura é um indicativo de anomalia no isolador. Uma das desvantagens da termovisão ocorre quando os defeitos nos equipamentos não acarretam aumento de temperatura, desse modo, eles não podem ser identificados por essa técnica.

A detecção de ruído ultrassônico está sujeita a captação de emissões de natureza desconhecida, que podem descaracterizar o sinal captado pelo equipamento, tornando medições em ambientes não controlados inadequadas para diagnóstico de isoladores.

A técnica de medição de ultravioleta, utilizando uma câmera de detecção UV, assim como a detecção de infravermelho e de ruído ultrassônico, é não invasiva e, além disso, apresenta simplicidade e rapidez na detecção do efeito corona provocado pela elevação do campo elétrico, destacando-se frente às outras técnicas apresentadas.

1.2 MOTIVAÇÃO

Informações relacionadas à intensidade do campo elétrico, o qual permite a ocorrência do efeito corona, são relevantes para estimação da possibilidade de ruptura do isolamento. A inspeção com a câmara UV fornece apenas informações acerca do local no isolador onde estão concentradas as descargas corona e uma estimativa de intensidade das descargas, baseada na correlação entre píxeis na imagem bidimensional e os fótons emitidos.

Contudo, com base nas informações obtidas, é possível extrair mais informações relevantes para o diagnóstico do isolamento inspecionado. Para tanto, torna-se necessário utilizar os quadros dos vídeos capturados durante as inspeções com a câmera UV e empregar um algoritmo de processamento digital de imagem (PDI) adequado para a extração de atributos.

Assim, neste trabalho, é proposta uma metodologia baseada em PDI para extração de atributos das fâculas de imagens de isoladores, utilizando vídeos registrados por uma câmera sensível a radiação UV. As fâculas são representações gráficas de interesse em uma imagem, e, para esta dissertação, a fâcula, na maioria das vezes, está relacionada a aparição de descargas nos quadros dos vídeos.

Os atributos extraídos, quando adequadamente dispostos, servirão de entrada a um sistema de auxílio à tomada de decisão que aprimorará a classificação das condições

operativas dos isoladores, indicando o grau de severidade da ação do campo elétrico sob os materiais constituintes dos isoladores.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma metodologia de extração de atributos das fâculas de imagens ultravioletas para aprimoramento da classificação de isoladores.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Desenvolver uma métrica eficiente para adequação de imagens UV;
- ii. Estudar, avaliar e quantificar os efeitos dos atributos das fâculas nas imagens UV;
- iii. Determinar, por meio de uma análise de sensibilidade, o limite de ruído e número de quadros adequados para vídeos UV de ensaio de isolador.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte forma, no capítulo 2, a fundamentação teórica é apresentada com base nos principais temas envolvidos: detecção do efeito corona, processamento digital de imagens e isoladores poliméricos.

No capítulo 3 é descrita a revisão bibliográfica, versando sobre as contribuições sob monitoramento de equipamentos de alta tensão por detecção de radiação UV, dirigida principalmente para isoladores.

Em seguida, no capítulo 4, é apresentada a metodologia, com destaque para os vídeos realizados pela câmera de detecção UV e a especificação dos isoladores poliméricos ensaiados, bem como o algoritmo de extração de atributos e suas rotinas.

O capítulo 5 é destinado à apresentação, à análise e à discussão dos resultados obtidos. Adicionalmente, uma análise de sensibilidade é feita para dois estudos de caso, além da apresentação das recomendações para tratamento de vídeos UV.

Por fim, no capítulo 6, são descritas as conclusões do trabalho e apresentadas as sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo serão mostrados os conceitos já consagrados na literatura, visando auxiliar a compreensão da metodologia adotada, dos resultados e das conclusões obtidas. Na primeira seção, são apresentados conceitos como efeito corona e faixas de comprimentos de onda de interesse para captação do fenômeno por câmera de detecção de radiação UV. Na segunda seção, são apresentados os conceitos de PDI, as operações envolvendo imagens e suas principais etapas. Na última seção são apresentados os isoladores poliméricos, suas partes constituintes, vantagens e desvantagens da sua utilização.

2.1 DETECÇÃO DO EFEITO CORONA

Em campos elétricos não uniformes, várias manifestações de descargas luminosas e audíveis são observadas antes de ocorrer a ruptura de rigidez dielétrica completa. Essas descargas podem ser transitórias ou estáveis e são conhecidas como descargas corona. O fenômeno é de particular importância para engenharia de alta tensão, visto que a aparição de campos elétricos não uniformes é inevitável. A descarga corona é responsável por consideráveis perdas de energia em linhas de transmissão e muitas vezes leva à deterioração do isolamento pela ação combinada dos íons de descarga produzidos bombardeando a superfície e a ação de compostos químicos, que são formados pela descarga corona, além de poder causar interferência nos sistemas de comunicação devido à emissão de irradiação (KUFFEL *et al.*, 2010).

As descargas corona emitem irradiação na faixa de comprimentos de onda correspondente ao espectro ultravioleta, os quais variam entre 230 e 405 nm. A caracterização por imageamento espectral é realizada com comprimentos de onda na faixa do UV, entre 200 e 280 nm, bem como na faixa do espectro visível que corresponde a comprimentos de onda entre 400 e 700 nm (HALLIDAY, 2005).

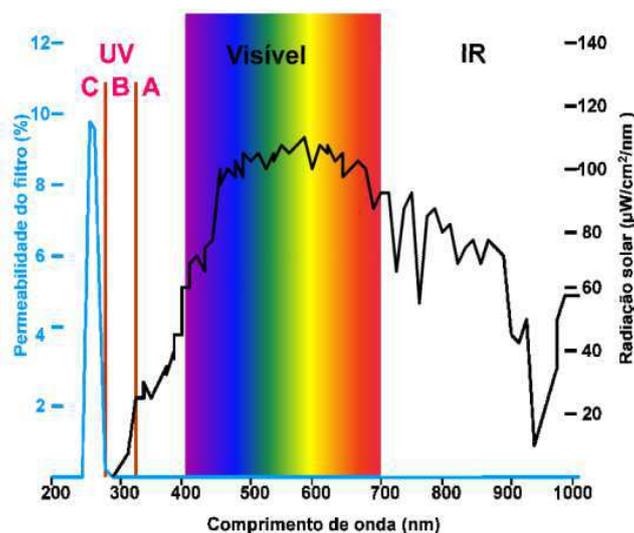
Equipamentos detectores de corona captam a irradiação emitida entre 240 e 280 nm, que apesar de ser uma faixa em que a intensidade de emissão é relativamente menor,

é justamente a faixa em que a radiação UV proveniente do sol é filtrada pela camada de ozônio.

Desse modo, não há dúvida entre o efeito corona proveniente do isolador e a radiação solar, permitindo que inspeções possam ser realizadas durante o dia (LINDNER *et al.*, 1999).

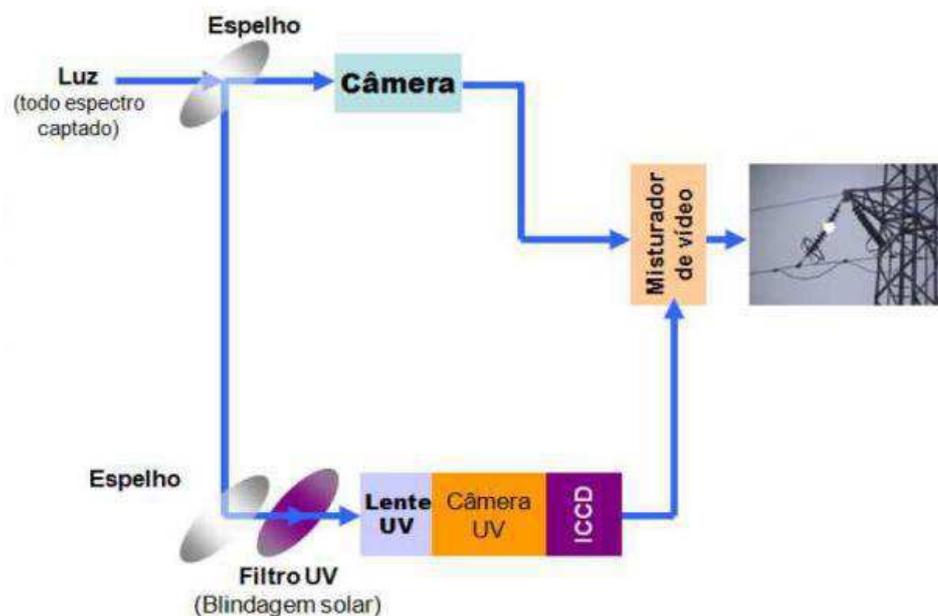
Na Figura 2.1 é mostrada parte do espectro eletromagnético, destacando-se a luz visível, a radiação solar e a permeabilidade do filtro detector. O equipamento utilizado na detecção do efeito corona deve possuir filtros que rejeitem comprimentos de onda acima de 280 nm, correspondente à radiação solar (representada pela curva de cor preta) permitindo, assim, que sejam tratados apenas sinais referentes ao efeito corona (contida na janela do filtro, representada pela curva de cor azul).

Figura 2.1. Espectro de interesse *versus* comprimento de onda.



Na Figura 2.2 é possível verificar, de forma básica, o princípio de funcionamento do detector UV. As câmeras, internas ao detector, são projetadas para que se registrem a mesma imagem e gerem dois sinais de vídeo. Os sinais podem ser exibidos separadamente ou de forma, composta permitindo a localização do ponto onde ocorre a descarga (LINDNER *et al.*, 1999).

Figura 2.2. Princípio de funcionamento da câmera UV.



Fonte: adaptado de LINDNER, 2004.

A câmera UV, ou detector corona, possui uma detecção mínima de descarga de 1,5 pC a 2 pC para uma distância de 8 m e pode ser utilizada para medir descargas corona a uma distância de 3 m a 100 m, com boa relação sinal-ruído. Além disso, o detector dispõe de um sistema de contagem de ocorrências de descargas (fótons emitidos devido à irradiação UV), e, desse modo, quantifica a intensidade de descargas corona em uma determinada região em número de pontos de descarga por minuto (OFIL, 2003).

Como uma das suas características, possibilita a variação do ganho UV de 0 a 250 em passos de 10. O aumento do ganho melhora a detecção da irradiação ultravioleta. Em contrapartida, amplifica o ruído ambiente (OFIL, 2003). A variação do ganho UV e a distância ao ponto de observação alteram, consideravelmente, os resultados obtidos, sendo necessária a fixação desses dois parâmetros para a realização de análise comparativa para um mesmo lote de amostras ensaiadas.

A câmera UV gera vídeos cujos quadros podem passar por etapas de processamento digital de imagens, facilitando, assim, a análise das imagens obtidas.

2.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Por processamento digital de imagens, entende-se a manipulação de uma imagem por computador, de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo,

ao se aplicar processamento digital de imagens, é melhorar, ou enfatizar, aspectos visuais, possibilitando e fornecendo, ao analista humano, subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

A seguir são apresentados os conceitos de imagens coloridas. As operações envolvendo imagens, transformadas no domínio espacial e da frequência. A representação de imagens de forma vetorial e matricial. As etapas de PDI que serão utilizadas no trabalho também são descritas.

2.2.1 IMAGENS COLORIDAS

Matematicamente, uma imagem digital colorida no sistema *RGB* (que é o acrônimo das cores vermelha (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*)), pode-se considerar um píxel como um vetor, conforme (2.1):

$$f(x, y) = (fr(x, y), fg(x, y), fb(x, y)), \quad (2.1)$$

cujas componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul da cor. Pode-se considerar, portanto, que uma imagem colorida é a composição de três imagens monocromáticas, $fr(x, y)$, $fg(x, y)$, $fb(x, y)$, denominadas, respectivamente, de banda vermelha (ou banda *R*), banda verde (ou banda *G*), e banda azul (ou banda *B*) da imagem colorida (JÄHNE, 2002). Um exemplo da representação é mostrado na Figura 2.3.

Figura 2.3. *RGB* e suas bandas *R*, *G* e *B*.



Fonte: OLIVEIRA NETO *et al.*, 2014.

2.2.2 OPERAÇÕES ENVOLVENDO IMAGENS

Em geral, as técnicas de processamento de imagens podem ser aplicadas no domínio do espaço ou no domínio da frequência. Na abordagem, com operações no domínio do espaço, trabalha-se diretamente com os píxeis da imagem. Dependendo da

aplicação, as operações em um determinado píxel podem ser realizadas considerando seu valor e os valores dos píxeis de sua vizinhança, as quais podem ser n-4 (para os píxeis endereçados acima, abaixo e dos lados do píxel) ou n-8 (para os da vizinhança n-4 mais os de sua diagonal) (BATISTA, 2002).

Outra abordagem, no domínio da frequência, consiste em aplicar uma operação matemática, genericamente denominada de transformada, sobre a imagem a ser processada, convertendo-a do domínio do espaço para o domínio da frequência, e processá-la nesse domínio. Pode-se representar uma operação T sobre n imagens, f_1, f_2, \dots, f_n produzindo uma imagem de saída g , como em (2.2) (BATISTA, 2002):

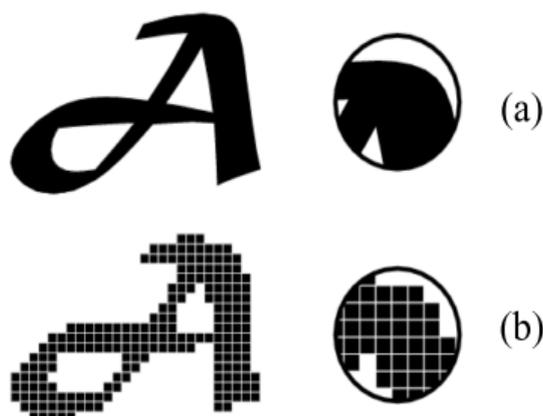
$$g = T[f_1, f_2, \dots, f_n]. \quad (2.2)$$

Geralmente em (2.2) é descrito o que se conhece como operação n -ária, com a imagem de saída sendo produzida a partir de uma ou mais imagens de entrada.

2.2.3 REPRESENTAÇÃO DE IMAGENS

Existem duas maneiras de representar uma imagem: representação vetorial e representação matricial. As representações diferem na natureza dos dados que compõem a imagem. Uma representação vetorial é uma imagem de natureza geométrica, ou seja, definida em função de elementos geométricos e parâmetros, conforme se pode observar na Figura 2.4(a). Por sua vez, uma representação matricial é uma imagem de natureza discreta, ou seja, a imagem é formada de elementos independentes, dispostos na forma de uma matriz. Cada elemento contém uma unidade de informação da imagem, conforme apresentado na Figura 2.4(b). Essa representação não armazena nenhuma informação geométrica dos objetos contidos na imagem, o que torna difícil a manipulação de sua estrutura. No entanto, ela é capaz de representar qualquer tipo de imagem (SCHNEIDER, 2001).

Figura 2.4. Exemplos de imagem (a) vetorial e (b) matricial.



Fonte: SCHNEIDER, 2001.

A partir dos conceitos de imagem colorida no sistema *RGB* e da natureza da representação de imagens, em particular a representação matricial, podem ser apresentadas as etapas do PDI.

2.2.4 ETAPAS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Nos tópicos seguintes serão descritas as principais etapas de PDI relacionadas ao trabalho, e que auxiliaram no desenvolvimento do algoritmo de extração de atributos de fâculas.

i. *Melhoramento de contraste:*

Busca melhorar a qualidade visual da imagem por meio da manipulação dos níveis de cinza. Uma imagem possui valores de intensidade de píxel, variando de 0 a 255 em cada camada. Quanto mais espalhados os píxeis da imagem nesse intervalo, melhor é o seu contraste. O contraste consiste numa diferença local de luminância e pode ser definido como a razão dos níveis de cinza médios do objeto e do fundo (MASCARENHAS & VELASCO, 1989).

O processo de melhoramento de contraste transforma a escala de cinza de forma pontual, ou seja, o novo valor do píxel depende somente de seu valor original. Uma função de transferência mapeia o valor de um píxel para um novo valor. A função é definida por (2.3):

$$g(x, y) = T(f(x, y)), \quad (2.3)$$

em que $f(x,y)$ é o valor do nível de cinza original, T é a função de transferência e $g(x,y)$ é o novo valor do píxel.

ii. *Filtragem:*

Visa extrair informações como as bordas da imagem ou corrigir algumas degradações na imagem, tais como: borrões e ruídos inseridos pelo processo de imageamento ou na transmissão da imagem (GONZALEZ & WOODS, 1992).

iii. *Detecção de bordas:*

As bordas na imagem de interesse caracterizam os contornos dos objetos nela presentes, sendo úteis para a segmentação e identificação de objetos na cena. Com essa orientação, o processo de detecção de bordas permite a análise de descontinuidades nos níveis de cinza de uma imagem. As bordas podem ser entendidas como as posições dos píxeis vizinhos com mudanças bruscas de níveis de cinza. É importante salientar que há diversos métodos de detecção de borda por filtros espaciais, baseado no conceito de gradiente de funções bidimensionais, tais como os gradientes de Roberts, Prewitt e Sobel (BATISTA, 2002). Além disso, há a possibilidade do uso de filtros morfológicos de abertura e de fecho para detecção de bordas.

O filtro de abertura é uma operação que suaviza o contorno, quebra istmos e elimina protuberâncias finas. Aplica-se ao conteúdo de interesse na imagem a operação de erosão seguida pela operação de dilatação. A abertura aumenta espaços entre objetos próximos e também é usada para remover ruídos da imagem.

O filtro de fecho também tende a suavizar os contornos mas geralmente funde partes. Elimina pequenos buracos e preenche fendas em um contorno. É aplicado ao conteúdo de interesse uma operação de dilatação seguida de uma operação de erosão. O fecho preenche ou fecha os vazios.

iv. *Segmentação de imagens:*

Por segmentação, entende-se a extração, ou identificação, dos objetos contidos na imagem, em que um objeto é toda característica com conteúdo semântico relevante para a aplicação desejada. A segmentação faz parte de uma etapa maior que é a classificação da imagem. Sendo feita a divisão da imagem em regiões, sem considerar o processo de classificação (MASCARENHAS & VELASCO, 1989).

v. *Classificação de imagens:*

A classificação é o processo de extração de informações da imagem. Consiste na divisão da imagem em classes, ou seja, segmentação e posterior identificação das classes. Ela pode ser feita de forma não automática, em que um especialista humano extrai informações baseando-se na inspeção visual da imagem, ou de forma automática, feita por um computador (MARIA, 2000).

vi. *Cálculo de distância de píxeis*

Os píxeis de uma imagem possuem endereços, logo se pode calcular a distância entre dois píxeis a partir dessa informação. As formas mais comuns para o cálculo de distância entre dois píxeis são: a euclidiana (*de*), a *city block* (ou *d4*) e a *chessboard* (ou *d8*) (SOARES, 2012). Supondo dois píxeis de endereços (x_1, y_1) e (x_2, y_2) , tem-se o cálculo de:

- i. Distância euclidiana, como em (2.4):

$$de = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}; \quad (2.4)$$

- ii. Distância *city block*, como em (2.5):

$$d4 = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|; \quad (2.5)$$

- iii. Distância *chessboard*, como em (2.6):

$$d8 = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|). \quad (2.6)$$

Na Figura 2.5 são mostradas as distâncias para a vizinhança de um píxel central pelas três formas apresentadas.

Figura 2.5. Distância do píxel central pela forma (a) *de*, (b) *d4* e (c) *d8*.

$2\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$2\sqrt{2}$
$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$
2	1	0	1	2
$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$
$2\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$2\sqrt{2}$

(a)

4	3	2	3	4
3	2	1	2	3
2	1	0	1	2
3	2	1	2	3
4	3	2	3	4

(b)

2	2	2	2	2
2	1	1	1	2
2	1	0	1	2
2	1	1	1	2
2	2	2	2	2

(c)

Fonte: Próprio autor.

Após descrição das principais etapas de PDI, que serão utilizadas para elaboração do algoritmo de extração de atributos, os isoladores poliméricos são apresentados.

2.3 ISOLADORES POLIMÉRICOS

Os isoladores têm como principais funções suportar, mecanicamente, um condutor e os esforços associados, como também, isolar eletricamente regiões de diferentes potenciais elétricos.

Os principais tipos de isoladores utilizados no setor elétrico são os cerâmicos (de porcelana e de vidro) e os não cerâmicos (poliméricos). A utilização de isoladores poliméricos em linhas de transmissão teve início na década de 1980 com o surgimento da primeira versão comercial. Apesar de possuir um material de custo elevado, suas características mecânicas e elétricas propiciavam uma economia durante o período de vida útil e também na instalação e na manutenção do equipamento (HALL, 1993).

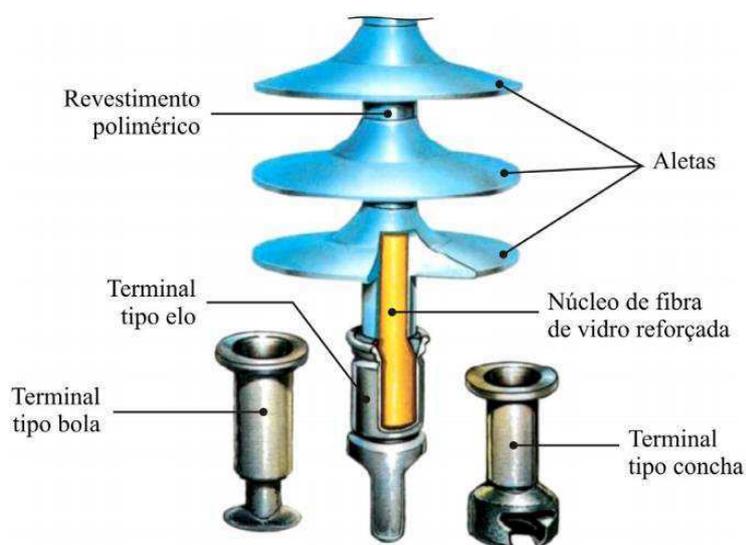
Já em 2005, a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) contava com 15 mil unidades de isoladores poliméricos instaladas desde 69 até 500 kV (GARCIA *et al.*, 2005). Pigni, em 2014, afirma que estimar o total de isoladores poliméricos em uso não é uma tarefa fácil. Entre 2003 e 2010 mais de 5 milhões de unidades foram instaladas na América do Norte, mesma quantidade que se estima haver instalada na China, além de duas milhões de unidades na Rússia. A partir dessas estimativas, acredita-se que no final de 2010 mais de 20 milhões de isoladores poliméricos estavam operando em todo mundo.

A seguir são apresentadas as partes constituintes dos isoladores poliméricos, suas vantagens e desvantagens.

2.3.1 PARTES CONSTITUINTES

Os isoladores poliméricos possuem como principais partes constituintes o núcleo de fibra de vidro reforçado, o revestimento polimérico, as aletas (também denominadas de saias) e as ferragens terminais (KUFFEL *et al.*, 2010). Os detalhes das partes que constituem o isolador polimérico podem ser visualizados na Figura 2.6.

Figura 2.6. Partes constituintes de um isolador polimérico.



Fonte: adaptado de LAPP *Insulators*, 2014.

2.3.2 VANTAGENS DOS ISOLADORES POLIMÉRICOS

Dentre as vantagens do emprego de isoladores poliméricos nas linhas de transmissão, destacam-se:

i. Facilidade de manuseio, instalação e fabricação:

Possuem dimensões compactas (isoladores com massa até 90% menor que os cerâmicos). Além disso, o tempo gasto em seu processo de fabricação é considerado curto, dada a facilidade na usinagem (ou moldagem, a depender do material polimérico empregado), fundição e cura a baixas temperaturas (GORUR *et al.*, 1999).

ii. Bom desempenho sob poluição:

Possuem bom desempenho quando submetidos à poluição, pois sua estrutura carbônica estabelece ligações de baixa energia entre si que proporcionam um comportamento não quebradiço e com baixa energia livre na sua superfície. Assim, sua estabilidade energética superficial permite um comportamento extraordinário quanto à repulsão de água, tornando-a altamente hidrofóbica e com excelente desempenho face à poluição. Logo, o número de lavagens dos isoladores poliméricos face aos isoladores cerâmicos é menor (HACKAM, 1999).

iii. Resistência ao vandalismo:

As aletas à base de polímeros apresentam elasticidade e, associadas à elevada resistência do núcleo central, garantem um desempenho seguro dos isoladores em regiões de vandalismo e, normalmente, não implicam em riscos graves à sua operação. Além disso, como a estrutura não se estilhaça e, conseqüentemente, não provoca um efeito visual impactante, torna-se um alvo bem menos atrativo aos vândalos (FERREIRA, 2007).

2.3.3 DESVANTAGENS DOS ISOLADORES POLIMÉRICOS

Apesar das vantagens de emprego de isoladores poliméricos nas linhas de transmissão justificar seu uso, algumas desvantagens se apresentam:

i. Menor resistência à radiação UV:

A radiação UV é a principal responsável pela degradação do material polimérico, pois deteriora a estrutura química e mecânica de sua superfície, comprometendo suas propriedades dielétricas. Os isoladores poliméricos de uso externo, por estarem expostos às intempéries, estão sujeitos à influência da radiação UV proveniente da luz solar, capaz de degradar o revestimento à base de polímeros após longos períodos de exposição. Além disso, a ocorrência das descargas corona também produz irradiação no espectro UV. A absorção da radiação UV nos isoladores resulta em degradações da estrutura polimérica, reduzindo a resistência a fenômenos como descargas parciais e esforços de tração (QUEIRÓS, 2013).

ii. Difícil identificação de falhas internas:

Diferentemente dos isoladores de vidro, que se estilhaçam quando danificados, os isoladores poliméricos muitas vezes não apresentam sinais aparentes de que há falha interna. Logo, a inspeção visual pode ser inócua, não detectando problemas nesse tipo de isolador, conseqüentemente, requerendo mais atenção quanto à sua manutenção (GORUR *et al.*, 1999).

iii. Comportamento em longo prazo desconhecido:

Por ser revestido com material à base de polímeros, esse tipo de isolador está sujeito a alterações químicas em seu revestimento, seja pelas condições ambientais, ou pela formação de descargas em sua superfície, tornando a avaliação de expectativa

de vida não trivial e seu comportamento em longo prazo desconhecido (HACKAM, 1999).

A Revisão Bibliográfica será apresentada no capítulo a seguir, com os trabalhos relevantes para esta dissertação e suas contribuições para o desenvolvimento do algoritmo de extração de atributos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

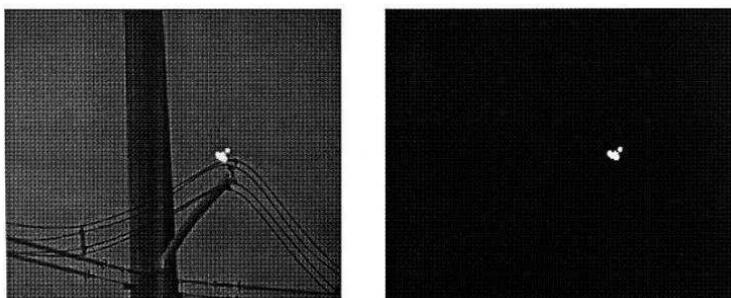
Os trabalhos já realizados em monitoramento de UV em equipamentos de alta tensão e que serviram como base e motivação para elaboração desta dissertação são apresentados a seguir.

3.1 MONITORAMENTO DE UV EM ALTA TENSÃO

Os trabalhos mais recentes em monitoramento de UV em alta tensão são apresentados, selecionando-se as pesquisas do ano de 2005 em diante, evidenciando o câmara UV para contabilização de fâculas. As contribuições de cada trabalho são apresentadas e posteriormente relacionadas a esta dissertação.

Pinnangudi *et al.* (2005) procuraram estabelecer uma correlação entre as imagens UV, obtidas em aquisições realizadas com as câmeras CoroCAM 2 e CoroCAM 3, e a magnitude de descargas corona medida com equipamento convencional. Eles realizaram, por meio de metodologia específica, a integralização dos píxeis no intuito de eliminar aqueles que são considerados ruído. A determinação de píxeis correspondentes ao efeito corona foi realizada verificando-se os locais em que havia uma mudança abrupta na intensidade de luminosidade. A técnica é aprimorada usando duas imagens capturadas pela câmara e considerando regiões de descarga apenas aquelas cujos píxeis de interesse são recorrentes por ambas. Ressaltou-se ainda, no referido trabalho, a aquisição de imagens em ambientes com baixa iluminação para maior efetividade do método. Por fim, foi calculada a área da descarga (da fâcula) e sua intensidade de luminosidade. Os autores concluíram que há uma boa correlação entre a imagem visual e a magnitude da descarga corona e, como resultado da metodologia aplicada, também conseguiram quantificar os atributos a partir de informações extraídas de imagens UV. Na Figura 3.1, pode ser observado o resultado do processamento realizado no trabalho, em que somente as fâculas correspondentes a descarga corona foram segmentadas do restante da imagem.

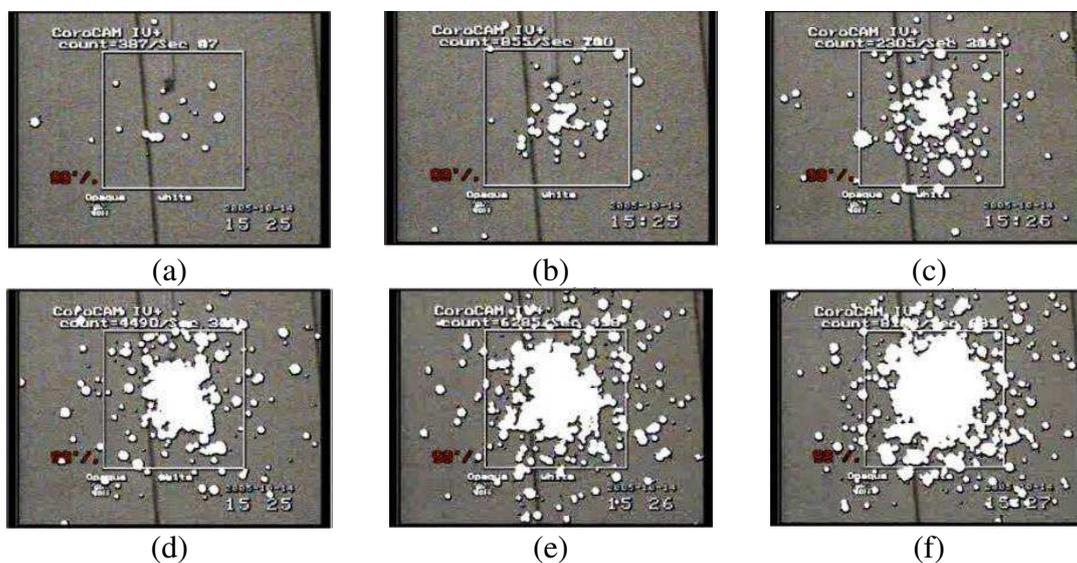
Figura 3.1. Segmentação da fâcula.



Fonte: adaptado de Pinnangudi *et al.*(2005).

Ma *et al.* (2006) propuseram etapas de quantificação do efeito visual da descarga corona por meio de imagens, as quais foram obtidas pela câmera UV modelo CoroCAM IV+. O número de fótons detectados, em um determinado intervalo de tempo, foi utilizado como atributo de quantificação e relacionado ao nível da descarga corona. Eles estabeleceram que a contagem de píxeis, para diferentes configurações de eletrodos, pode evidenciar a evolução das descargas com o aumento da tensão aplicada, com uma regularidade estatística, conforme verificado na Figura 3.2.

Figura 3.2. Evolução das descargas com o aumento da tensão aplicada.



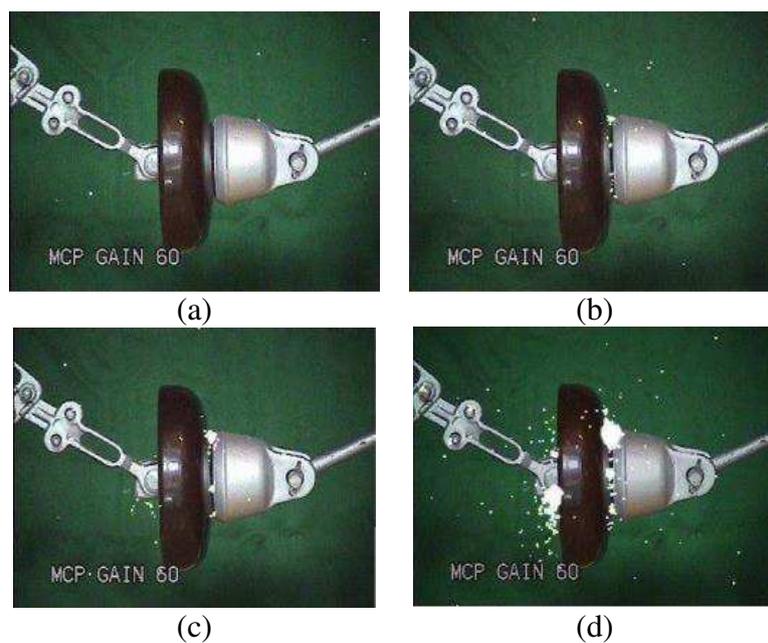
Fonte: adaptado de Ma *et al.*(2006).

Ferreira (2007) propôs uma metodologia de criação de indícios de trilhamento em núcleo de isoladores poliméricos, destacando os indicadores físicos da sua origem e propagação. Os resultados da aplicação da metodologia demonstraram que a presença de umidade junto ao núcleo do isolador polimérico é um fator importante no processo de formação do trilhamento, acelerando-o significativamente.

Além da metodologia de criação de indício de trilhamento, no trabalho, foram analisados diferentes tipos de anéis equalizadores usando, além de termovisor, uma camera de detecção de radiação UV, modelo Daycor II. Foi contabilizado, a partir da contagem de fótons, o nível de irradiação no espectro de UV emitido pelas descargas corona, a fim de avaliar o desempenho de diferentes topologias de anéis equalizadores.

Shong *et al.* (2007) quantificaram a descarga corona e captaram imagens UV de isoladores de suspensão de porcelana de 23 kV, usando a câmera Daycor II. Os pesquisadores utilizaram diversos ganhos para a câmera (30, 60, 90, 120, 150 e 180) e analisaram os seus efeitos para vários níveis de tensão de aplicação (10, 30, 50 e 70 kV). As imagens foram captadas a distância de 5 m dos isoladores. Na Figura 3.3, podem ser observadas as imagens UV, enfatizando o aumento das fâculas para diferentes níveis de tensão e ganho UV de 60.

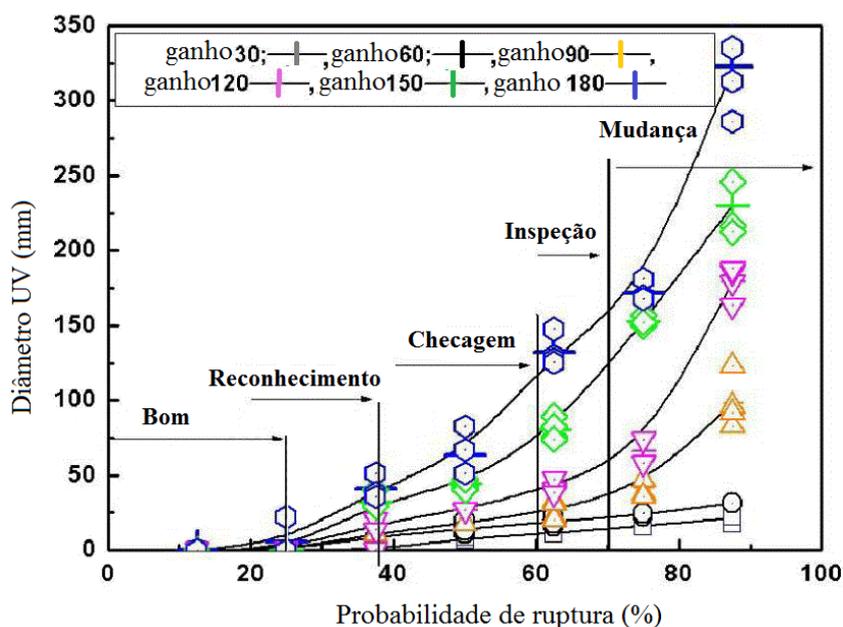
Figura 3.3. Imagens de fâculas com ganho UV de 60 para as tensões de: (a) 10 kV, (b) 30 kV, (c) 50 kV e (d) 70 kV.



Fonte: adaptado de Shong *et al.* (2007).

Shong *et al.* (2007) ainda calcularam e usaram os diâmetros das fâculas como parâmetro indicativo de risco de ruptura superficial dos isoladores. Para cada ganho, os autores determinaram os valores de diâmetro de fâcula que seriam indicativos da ação a ser executada pela equipe de manutenção (reconhecimento, checagem, inspeção e mudança). Na Figura 3.4 é mostrada a relação entre diâmetro da fâcula e risco de ruptura. Não foi relatado, porém, o porquê da escolha desses valores.

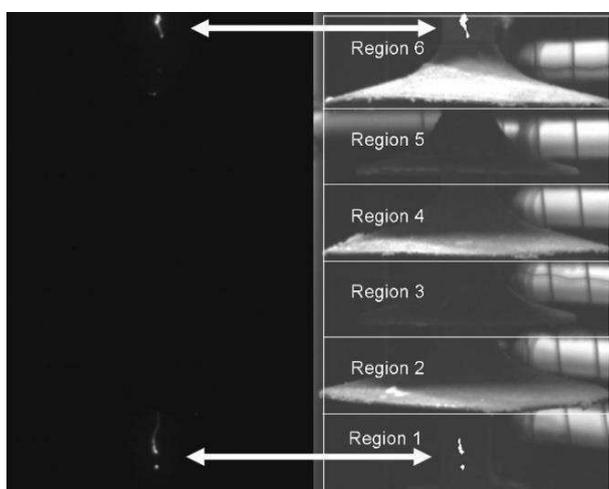
Figura 3.4. Relação entre diâmetro da fâcula e risco de ruptura.



Fonte: adaptado de Shong *et al.* (2007).

Bruce *et al.* (2008) realizaram ensaios elétricos em isoladores poliméricos em uma câmara de névoa salina. Eles fizeram aquisição do sinal de tensão e corrente de fuga e registraram imagens UV do isolador sob ensaio. A segmentação da imagem do isolador em partes foi realizada no intuito de associar as descargas encontradas às regiões de interesse (no caso, cada região sendo composta por uma aleta). Na Figura 3.5 pode ser verificada a segmentação estabelecida para um isolador polimérico. A determinação das partes de interesse contribuiu para estabelecer as distâncias entre fâculas e regiões críticas do isolador.

Figura 3.5. Segmentação da imagem do isolador em partes de interesse.

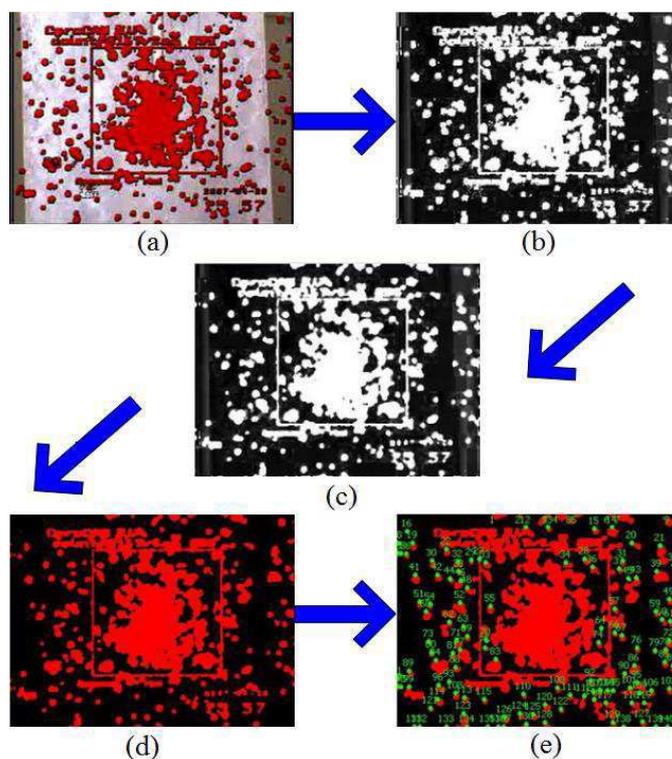


Fonte: adaptado de Bruce *et al.* (2008).

Em sua pesquisa, Zhou *et al.*(2009) e Zhou *et al.*(2011) empregaram câmera UV modelo CoroCAM IV+ para registrar as descargas corona em eletrodos haste-plano e desenvolveram etapas de PDI para quantificá-las. Os autores definiram a área de fâcula como parâmetro de caracterização da intensidade de descargas corona.

Na Figura 3.6(a), a imagem colorida captada é vista, a qual é convertida em escala de cinza, conforme mostrado na Figura 3.6(b). Em seguida são realizadas as etapas de eliminação de ruído, que resulta na Figura 3.6(c), e binarização, conforme mostrado na Figura 3.6(d). Na Figura 3.6(e) é verificada a rotularização das fâculas. Foi constatada na etapa de PDI do trabalho que houve problemas na segmentação das fâculas, notadamente a legenda da imagem, proveniente da câmera UV, foi considerada como fâcula.

Figura 3.6. Etapas de PDI utilizadas para rotulação de fâculas.

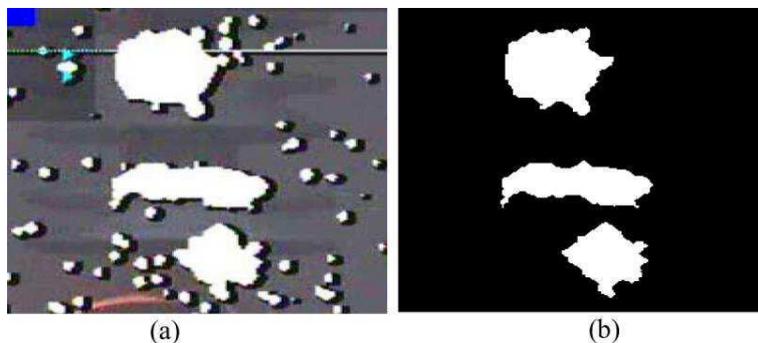


Fonte: adaptado de Zhou *et al.*(2009).

Nos artigos de Fangcheng *et al.* (2010) e Fangcheng *et al.* (2012), os autores descrevem que utilizaram uma câmera CoroCAM 504 para captação de corona, convertendo as imagens obtidas para padrão em escala de cinza. Foram selecionados como fâcula os píxeis que apresentaram de 80% a 90% de intensidade de luminosidade. Após a etapa de eliminação de ruído, foram usados filtros morfológicos de abertura, para eliminar as descargas e suavizar seus contornos. Em seguida, empregaram-se filtros de

fecho, para preencher as lacunas que vieram a aparecer dentro da fâcula principal. Os resultados obtidos nos trabalhos podem ser vistos na Figura 3.7(a) e na Figura 3.7(b).

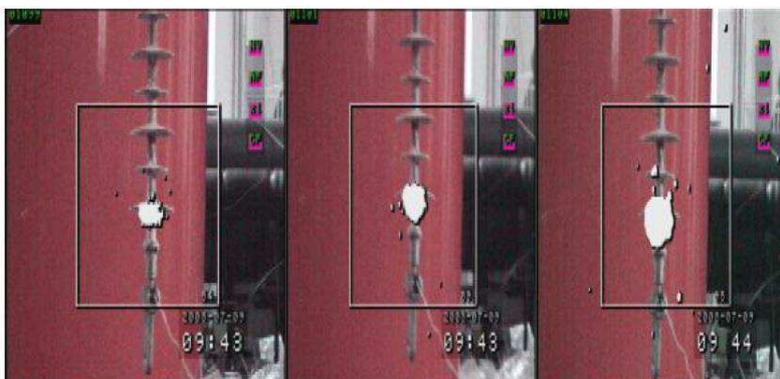
Figura 3.7. Imagem (a) captada com CoroCAM 504 e (b) processada.



Fonte: adaptado de Fangcheng *et al.* (2010).

Fangcheng *et al.* (2012) utilizaram a área e o diâmetro das fâculas como atributos de interesse, mostrando sua relação com o estado de degradação de cinco isoladores poliméricos, quando submetidos a diferentes níveis de tensão. Na Figura 3.8 são apresentados isoladores ensaiados sob as tensões de 8, 10 e 15 kV e suas respectivas fâculas em imagem UV.

Figura 3.8. Fâculas de isoladores submetidos a diversos níveis de tensão.

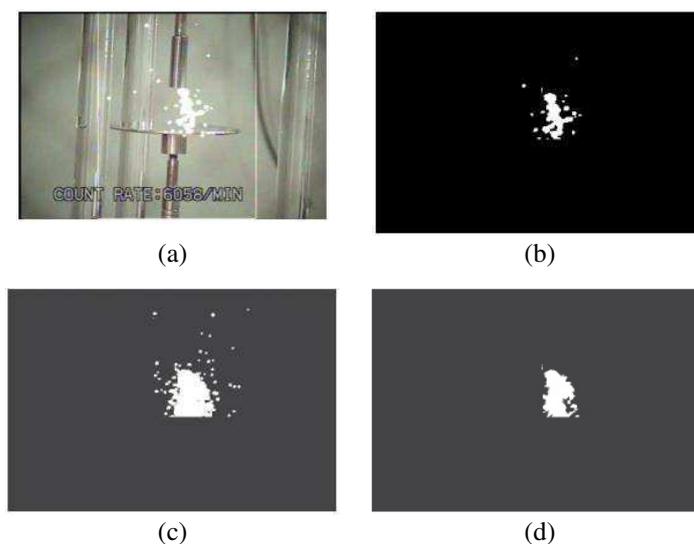


Fonte: adaptado de Fangcheng *et al.* (2012).

Barros (2011) buscou determinar o momento da retirada de isoladores poliméricos de operação a partir da avaliação de medições de descargas parciais e irradiação no espectro ultravioleta. Para a medição da irradiação no espectro UV foi usada a câmera Daycor II. As imagens obtidas foram processadas visando obter a região de ocorrência do corona em termos de concentração de píxeis, sendo contabilizado o número de pontos de descarga por minuto e a concentração de píxeis do corona. No trabalho, ainda foi realizado ensaio com variação do ganho da câmera de detecção UV no intuito de verificar

a sensibilidade da câmera à sua variação de ganho. Constatou-se que a região linear do ganho é entre 120 e 160, sendo o recomendável para campanhas de medição. Barros (2011) ainda capturou 200 imagens UV de cada vídeo e, na etapa de PDI, selecionou as dez imagens com maior aparição de corona. As imagens foram somadas e, da imagem resultante, apenas os píxeis com valores acima de 3 foram caracterizados como descargas corona. Na Figura 3.9, podem ser verificadas as etapas de PDI aplicadas a um experimento haste-plano. Na Figura 3.9(a) é apresentado o quadro obtido pela câmera UV do experimento haste-plano, seguido, na Figura 3.9(b), pela segmentação da descarga do quadro. Na Figura 3.9(c) é mostrado o resultado da soma das dez imagens com maior aparição de descarga corona e, na Figura 3.9 (d), o resultado do processamento de ruído. O autor enfatiza a não existência de trabalhos que possam ser tomados como base para o processamento de ruído, servindo este então como uma orientação inicial.

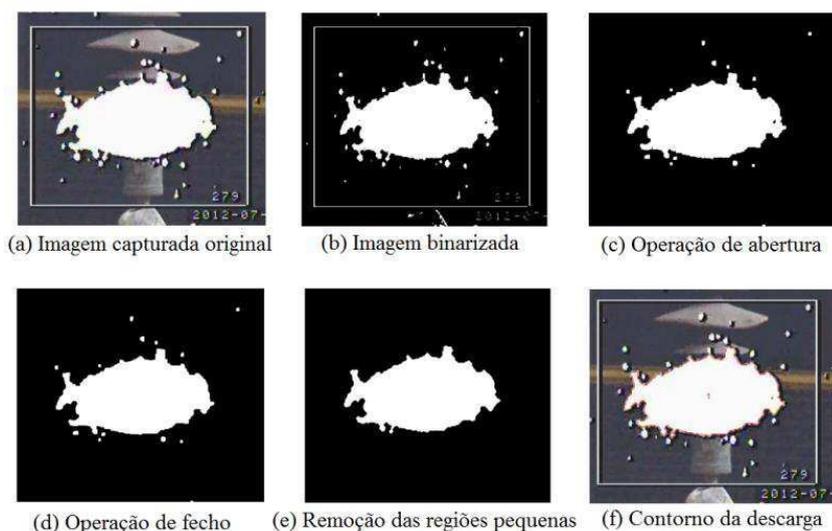
Figura 3.9. Etapas de PDI utilizadas para segmentação de fâculas em experimento haste-plano.



Fonte: adaptado de Barros (2011).

Wang *et al.* (2014), tal qual Fangcheng *et al.* (2012), usaram filtros morfológicos de abertura e de fecho para definir a fâcula principal. Wang *et al.* (2014) ainda usaram um algoritmo de detecção de contorno para definir a região de fâcula. Na Figura 3.10 são apresentadas as etapas de PDI para a determinação de fâcula e seus contornos.

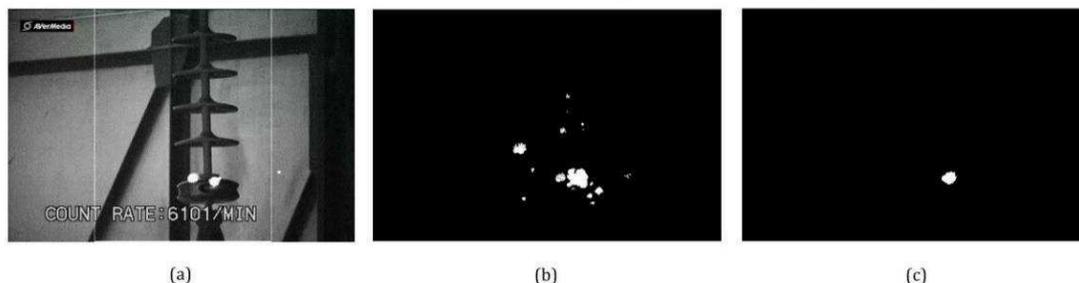
Figura 3.10. Etapas de PDI para determinação de fâcula e seu contorno.



Fonte: adaptado de Wanget *al.* (2014).

Guedes (2015) propôs uma metodologia de classificação para isoladores poliméricos de 230 kV baseada em irradiação no espectro de UV. Na pesquisa, foram ensaiados isoladores em diferentes níveis de degradação e em seguida usou-se uma técnica de PDI para minimizar o ruído existente. A metodologia para extração de atributos usando PDI adotada nesse trabalho é similar à de Barros (2011). No trabalho também é destacada a classificação do estado dos isoladores usando lógica fuzzy. Na Figura 3.11 são mostradas as etapas de segmentação de fâculas realizadas no trabalho de Guedes (2015). Na Figura 3.11(a) é apresentada a imagem obtida em ensaio de isolador polimérico de 230 kV pela câmera UV, na Figura 3.11(b) é apresentado o resultado da segmentação das fâculas, e, na Figura 3.11(c), a eliminação de ruído. Os resultados são obtidos por aplicação da metodologia similar à de Barros (2011).

Figura 3.11. Imagens UV obtidas (a) em ensaio, (b) segmentadas e (c) após eliminação de ruído.



Fonte: adaptado de Guedes (2015).

A distância em que a câmera UV é posicionada para realizar a captura das imagens influencia no número de píxeis da fâcula. Em seu trabalho, Guohua *et al.*(2016)

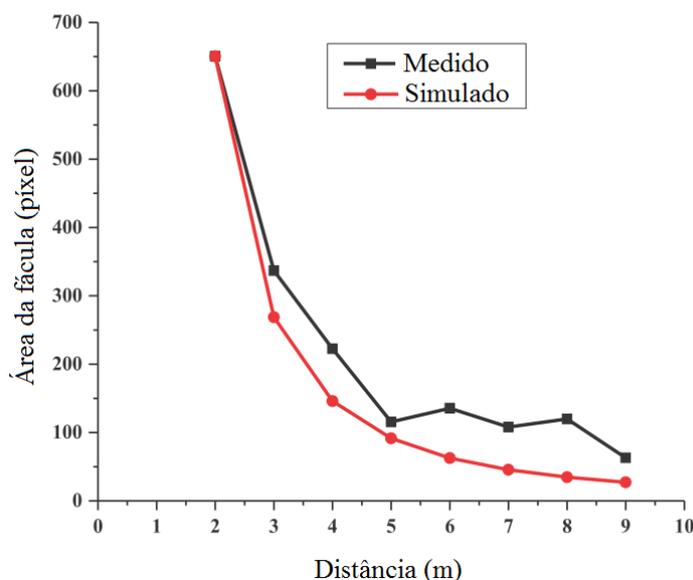
estabeleceram uma relação entre as áreas de fâculas para diferentes distâncias de captura, como sendo a relação apresentada em (3.1):

$$S_2 = \left(\frac{u_1 - f}{u_2 - f} \right)^2 S_1, \quad (3.1)$$

em que, u_1 é a distância da primeira aquisição; u_2 é a distância da segunda aquisição; S_1 é a área de fâcula da aquisição realizada a distância u_1 ; S_2 é a área de fâcula da aquisição realizada a distância u_2 ; f é a distância focal do sistema óptico de luz visível.

Na Figura 3.12, é mostrado o resultado estimado por (3.1) e o resultado medido para uma situação real. Os autores consideraram os resultados satisfatórios e que a relação proposta tem um bom ajuste com as medições.

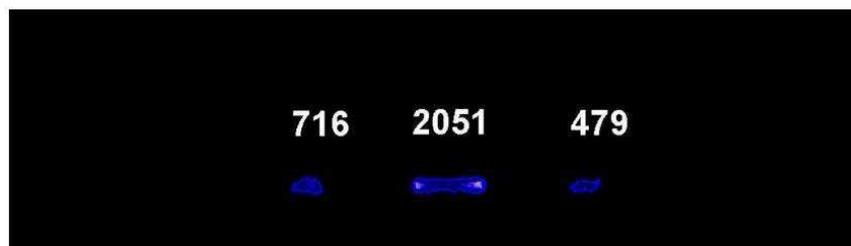
Figura 3.12. Gráfico da área da fâcula *versus* distância de aquisição.



Fonte: adaptado de Guohua *et al.*(2016).

Em sua tese, Souza (2016) identifica o início do efeito corona em isoladores poliméricos, analisando alguns dos fatores que contribuem para sua formação, em particular a deposição de gotas de água em sua superfície associado à presença de poluição. Na etapa de PDI do trabalho, conforme exemplificado na Figura 3.13, é feita a contagem de píxeis de interesse para fâculas geradas na superfície de um isolador polimérico e apresentado logo acima da fâcula.

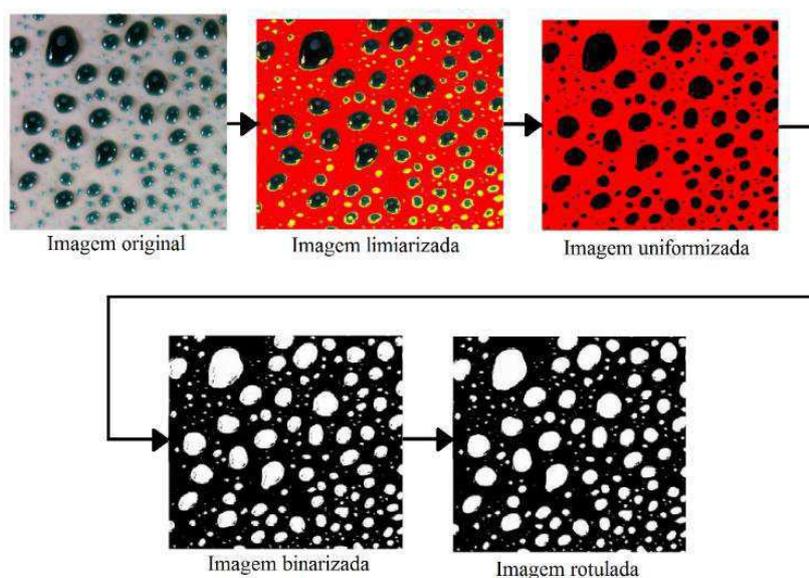
Figura 3.13. Contabilização de descargas geradas por gotas.



Fonte: adaptado de Souza (2016).

Em seu trabalho, Alves (2016) desenvolveu uma ferramenta computacional, baseada em PDI, para auxílio de classificação de hidrofobicidade em isoladores elétricos de alta tensão com revestimento polimérico. No trabalho foram extraídos os atributos: quantidade e tamanho de regiões molhadas, tamanho da região seca e distribuição percentual dessas áreas. Na Figura 3.14, podem ser vistas as etapas de segmentação das regiões molhadas. Na etapa de limiarização, definiu-se a área da superfície do isolador e as áreas de sombra das regiões molhadas. Na etapa de uniformização, destacaram-se as regiões de interesse, no caso, as regiões molhadas. Na etapa de binarização, a imagem colorida *RGB* foi convertida em preta e branca no intuito de usar filtros morfológicos que atuaram na eliminação do ruído. No caso desse trabalho, foi aplicado o filtro mediano. Na etapa de rotulação, é feita a identificação e contagem das regiões já destacadas presentes na imagem.

Figura 3.14. Etapas do PDI para extração de atributos de superfícies hidrofóbicas.



Fonte: adaptado de Alves (2016).

3.2 QUADRO SINÓPTICO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo do texto da Revisão de Bibliográfica, os principais trabalhos que motivaram e serviram de base a esta dissertação foram apresentados. Os efeitos dos atributos das fâculas nas imagens UV foram estudados e as formas de quantificá-los foram avaliadas.

Na Tabela 3.1, são elencados os tópicos de interesse em cada trabalho, destacando-se os trabalhos relacionados a isoladores de alta tensão, contabilização de fâculas, eliminação de ruído de fâculas, segmentação de regiões de interesse e segmentação dos contornos de fâculas.

Tabela 3.1. Relação dos trabalhos citados na Revisão Bibliográfica

Ano	Pesquisadores	IAT ¹	CF ²	ER ³	SR ⁴	SC ⁵
2005	Pinnangudi <i>et al.</i>	×	×	×		
2006	Ma <i>et al.</i>		×			
2007	Ferreira	×	×			
2007	Shong <i>et al.</i>	×	×			
2008	Bruce <i>et al.</i>	×	×		×	
2009	Zhou <i>et al.</i>		×	×		
2010	Fangcheng <i>et al.</i>	×	×	×		
2011	Barros	×	×	×		
2011	Zhou <i>et al.</i>		×	×		
2012	Fangcheng <i>et al.</i>	×	×	×		
2014	Wang <i>et al.</i>	×	×	×		×
2015	Guedes	×	×	×		
2016	Guohua <i>et al.</i>		×			
2016	Souza	×	×	×		
2016	Alves	×	×		×	
2017	Esta dissertação	×	×	×	×	×

¹Isoladores de alta tensão

²Contabilização de fâculas

³Eliminação de ruído de fâculas

⁴Segmentação de regiões de interesse

⁵Segmentação dos contornos de fâculas

Fonte: próprio autor.

Nesta dissertação, a metodologia de extração de atributos das fâculas de imagens ultravioletas será desenvolvida levando em consideração atributos que não foram antes considerados conjuntamente, e, ainda, será realizado uma análise de sensibilidade com relação aos parâmetros relacionados ao número de quadros e limite de ruído.

No capítulo a seguir serão apresentados o material usado na dissertação e os métodos empregados. Em várias etapas da metodologia, as contribuições já citadas nessa revisão bibliográfica serão constatadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste Capítulo serão descritos o material utilizado e a metodologia empregada para atingir os objetivos propostos nesta dissertação. O desenvolvimento de uma metodologia de extração de atributos das fâculas de imagens ultravioletas para aprimoramento da classificação de isoladores será apresentado. Além do desenvolvimento de uma métrica eficiente para adequação de imagens UV e quantificação dos atributos das fâculas.

4.1 MATERIAL

O material usado para o desenvolvimento do trabalho são imagens, em cores, de vídeos UV obtidas de uma câmera especial de detecção de emissões ultravioleta, para tanto, ensaios foram realizados em laboratório com isoladores poliméricos de 230 kV. A captação das imagens foi realizada com uma câmera modelo Daycor II, fabricada pela *Ofil Systems* que pode ser visto na fotografia da Figura 4.1.

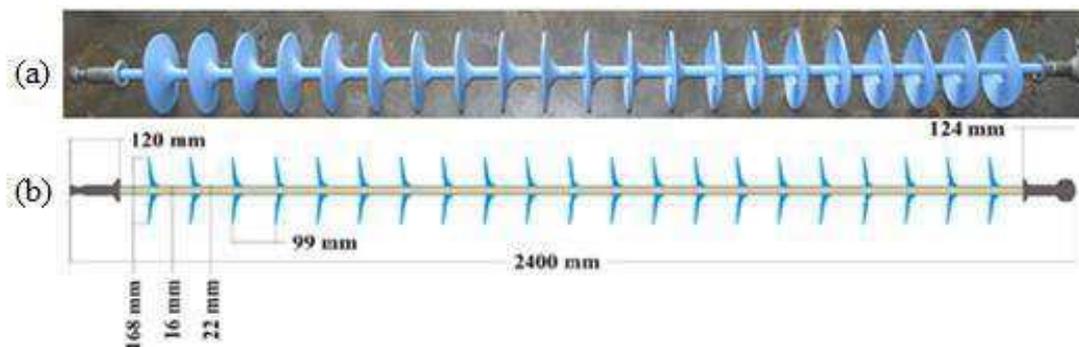
Figura 4.1. Fotografia do Daycor II fabricado pela *Ofil Systems*.



Fonte: BARROS (2011).

A fotografia de um exemplar do modelo de isolador polimérico utilizado nos ensaios, para a obtenção das imagens, pode ser vista na Figura 4.2(a). Um diagrama esquemático do modelo de isolador com as dimensões pode ser visto na Figura 4.2(b).

Figura 4.2. Fotografias do (a) isolador polimérico e (b) diagrama esquemático com as dimensões.



Fonte: adaptado de FERREIRA (2007).

4.2 MÉTODOS

A metodologia do trabalho consiste na elaboração e processamento de um algoritmo computacional que extrai atributos das imagens ultravioleta. A obtenção das imagens foram feitas com a câmera UV, Daycor II. Para tanto isoladores poliméricos foram submetidos à tensão de 132 kV, fase terra. O algoritmo foi alimentado com o vídeo realizado durante ensaio e fornece como resultados imagens e dados numéricos das informações sobre as fâculas.

Nas seções, a seguir, o algoritmo terá seu desenvolvimento lógico explicado e suas principais rotinas detalhadas.

4.2.1 ALGORITMO DE EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS

A entrada do algoritmo é um vídeo, o qual é caracterizado por sua taxa de quadros (que relaciona número de quadro pelo tempo), pela largura e comprimento do quadro (dimensões de cada quadro em píxeis) e pela sua duração. Na Figura 4.3, podem ser vistos vários quadros extraídos de um mesmo vídeo obtido de um isolador ensaiado. Os quadros extraídos serão os objetos de processamento.

Figura 4.3. Quadros obtidos de um vídeo de ensaio de isolador polimérico de 230 kV.



Fonte: próprio autor.

As rotinas do algoritmo foram desenvolvidas na plataforma Matlab® e são descritas a seguir.

i. Segmentação do shape do isolador na imagem:

A primeira rotina desenvolvida foi responsável pela segmentação do *shape* do isolador na imagem. O *shape* é a informação segmentada da imagem com o formato do isolador. O termo estrangeiro *shape* é utilizado para que não haja perda de significado decorrente do uso de sua tradução. Para a rotina, utilizou-se um quadro de vídeo sem fâculas ou com o mínimo de fâculas possível, obtendo-se o *shape*, conforme mostrado na Figura 4.4. No trabalho os *shapes* foram obtidos de maneira assistida, ou seja, com auxílio do analista humano.

Figura 4.4. *Shape* do isolador ensaiado.



Fonte: próprio autor.

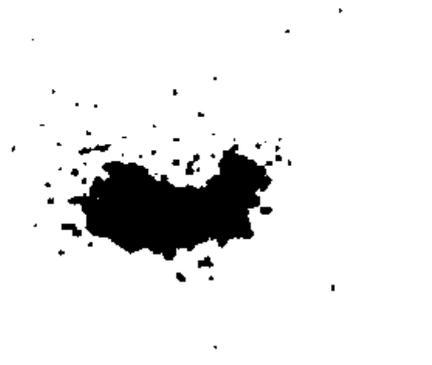
ii. Segmentação das fâculas em cada quadro:

A rotina computacional desenvolvida na etapa foi responsável por definir quais píxeis de cada quadro seriam consideradas como fâculas. Na Figura 4.5(a) é mostrada a entrada e na Figura 4.5(b), a saída da rotina.

Figura 4.5. Quadros extraídos de (a) vídeo do ensaio e de (b) fábula segmentada.



(a)



(b)

Fonte: próprio autor.

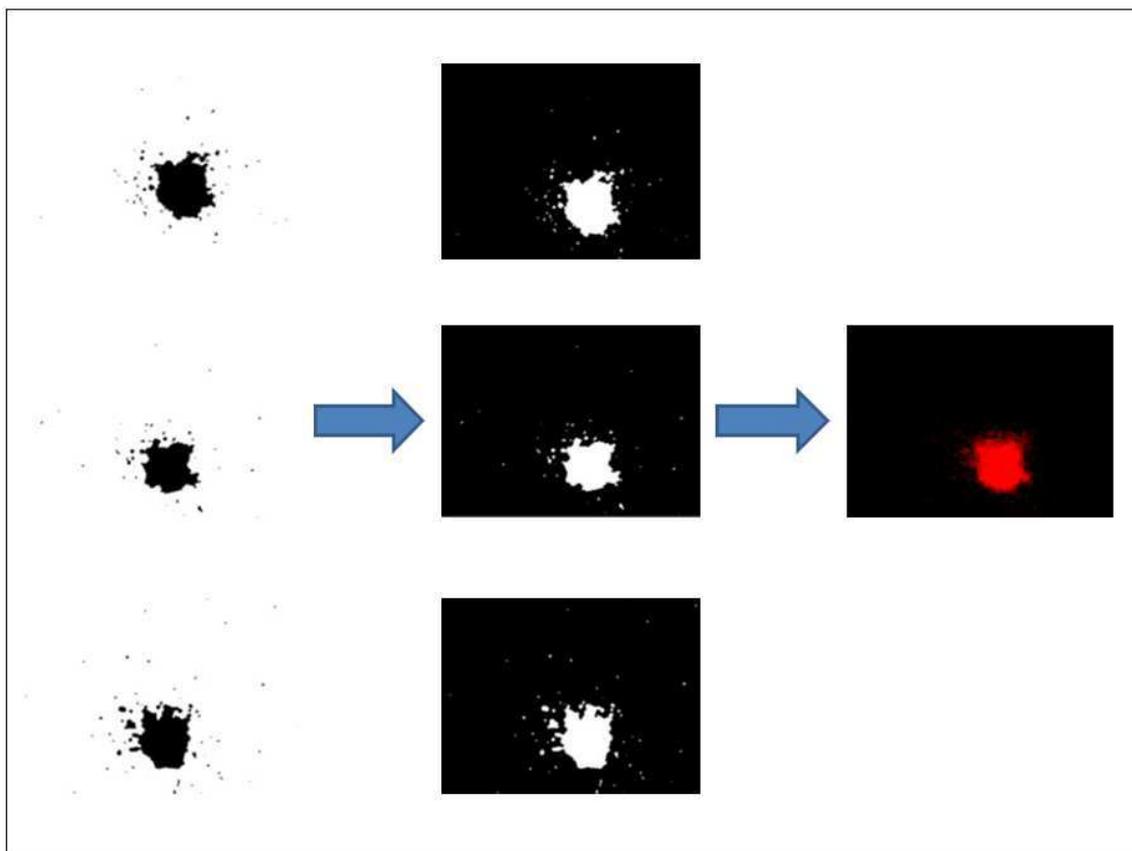
Uma varredura de todos os píxeis da imagem de entrada foi realizada e em cada píxel foi verificado se seu código de cor o caracteriza como um píxel de cor branca. Em caso positivo, em uma nova imagem pré-definida com as mesmas dimensões do quadro de entrada, o píxel de mesmo endereço é definido como de cor preta, de acordo com o código *RGB*. Caso o píxel da imagem de entrada não seja caracterizado como da cor branca, o píxel de mesmo endereço na nova imagem é definido como de cor branca, de acordo com o código *RGB*, gerando a imagem de saída, conforme a Figura 4.5(b).

Os píxeis de descarga na imagem têm código de cor próximo a 255 nas três camadas *RGB*. Assim, foi definido um valor de tolerância para identificar o código de cor de píxeis similares aos de cor branca, ou seja, píxel de descarga, a fim de caracterizá-lo com píxel de cor branca durante o processamento.

iii. *Integralização das fábulas em uma imagem:*

Associado ao processamento da rotina de segmentação das fábulas, em cada quadro foi feita a sua integralização em uma imagem. O objetivo da rotina é reunir, em uma imagem, o efeito das fábulas de todos os quadros, conforme pode ser constatado na Figura 4.6.

Figura 4.6. Integralização das fâculas.



Fonte: próprio autor.

Inicialmente, invertem-se as cores das fâculas e a cor do plano de fundo de maneira a auxiliar a integralização das fâculas, a fâcula será representada na cor branca e o plano de fundo na cor preta.

Para a entrada de apenas um quadro de fâculas na rotina de integralização, a imagem gerada como integralização das fâculas, (chamada de imagem I), é o próprio quadro de fâculas (chamada de imagem $D1$), conforme (4.1):

$$I = D1. \quad (4.1)$$

A integralização dos quadros, de fato, foi feita a partir da entrada do segundo quadro de fâculas. Uma varredura foi feita em todos os píxeis dos dois quadros ($D1$ e $D2$). No endereço de píxel em que seja verificado o código de cor branca, ou seja, presença de fâcula, em um dos quadros foi feito o cálculo da média aritmética dos valores encontrados nos dois quadros, conforme (4.2), sendo esse valor salvo na camada R da imagem I :

$$I = \frac{(D1+D2)}{2}. \quad (4.2)$$

Essa média é calculada para garantir que não haja extrapolação no valor do código de cor (o qual não pode ultrapassar 255 em cada camada). Com a entrada de um terceiro quadro, a integralização deve considerar uma média aritmética de três elementos, conforme (4.3):

$$I = \frac{(D1+D2+D3)}{3}. \quad (4.3)$$

Generalizado para a entrada de n quadros, a integralização deve considerar uma média aritmética de n elementos, conforme (4.4):

$$I = \frac{(D1+D2+\dots+Dn)}{n}. \quad (4.4)$$

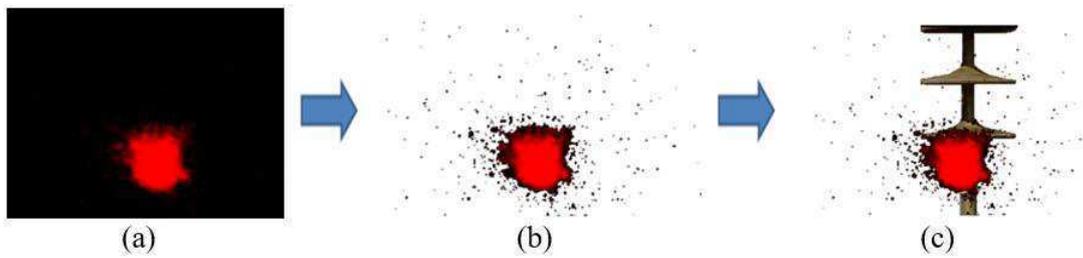
No algoritmo, em um laço iterativo, a rotina de integralização das fâculas é processada logo após a rotina de segmentação das fâculas, ou seja, a cada nova iteração existirá uma imagem integralizada (chamada de I'), que será processada em função de uma imagem integralizada I já existente. Logo, em (4.5) é estabelecida em função dessa imagem já existente I que possui a integralização de $n - 1$ quadros. Nota-se que as relações (4.4) e (4.5) são equivalentes:

$$I' = \frac{n-1}{n}I + \frac{1}{n}Dn. \quad (4.5)$$

Ao final da etapa de integralização, garante-se que, caso se encontrem fâculas em todos os quadros no mesmo endereço de píxel, esse valor será o máximo tolerado, ou seja, 255 na camada *red*.

Para facilitar e auxiliar a visualização é feita outra varredura na imagem I , após concluída a etapa de integralização. Todos os píxeis com código de cor preta, ou seja, píxeis em que não houve aparição de fâculas em nenhum dos quadros, receberão o código de cor branca, conforme pode ser visto nas Figuras 4.7(a) e 4.7(b). Da mesma forma, tem-se como outro resultado a integralização de fâculas junto ao *shape* do isolador, conforme Figura 4.7(c).

Figura 4.7. Integralização das fâculas em um dos isoladores.

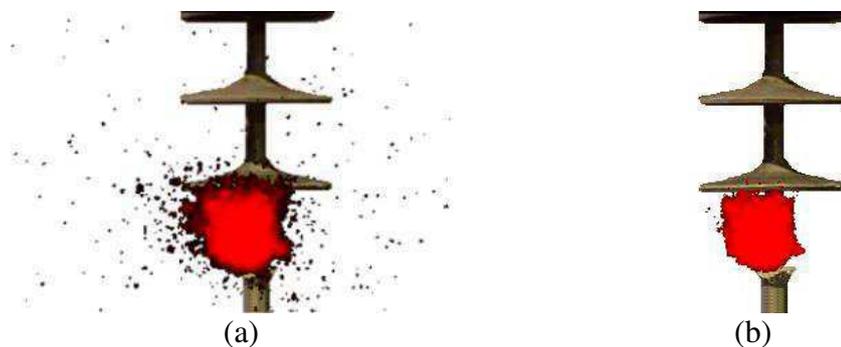


Fonte: próprio autor.

iv. *Eliminação de ruído:*

A rotina de eliminação de ruído é responsável pela retirada das fâculas com aparição menor que um limite a ser estabelecido no total de quadros processados. Isso foi feito por ser entendido que as fâculas com aparição menor que esse valor são ruído e não são necessariamente produzidas pelo efeito corona do isolador. Na Figura 4.8(a) pode ser visto uma fâcula integralizada no *shape* de um isolador e na Figura 4.8(b) a fâcula integralizada e sem ruído

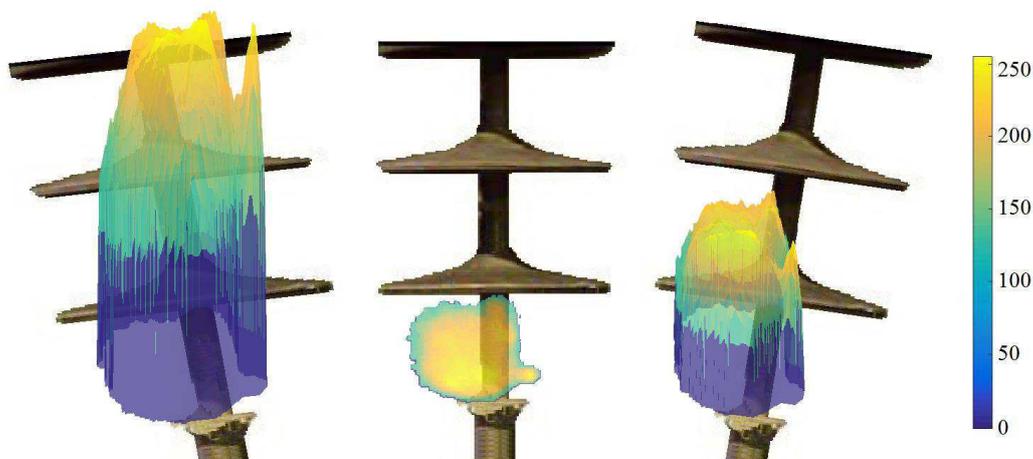
Figura 4.8. Fâculas integralizadas em um isolador (a) com ruído e (b) sem ruído.



Fonte: próprio autor.

Na rotina de eliminação de ruído ainda é impressa a superfície formada pela fâcula integralizada e sem ruídos no *shape* do isolador, ressaltando, assim, as regiões de maior intensidade de fâcula, conforme Figura 4.9.

Figura 4.9. Superfícies de fâculas no *shape* do isolador.



Fonte: próprio autor.

- v. *Cálculo dos atributos de interesse: área, perímetro, fator de forma e persistência das fâculas.*

O cálculo dos atributos a seguir é realizado usando a imagem integralizada e sem ruído, uma vez que esse é o resultado obtido das rotinas de adequação da imagem.

○ *Área:*

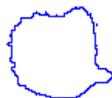
Para o cálculo da área da fâcula é feita uma varredura na imagem e usando um contador é determinado o número de píxeis correspondente à fâcula, conforme (4.6):

$$\text{Área} = \sum \text{Píxeis de fâcula.} \quad (4.6)$$

○ *Perímetro:*

Para o cálculo do perímetro da fâcula é necessário estabelecer quais píxeis da fâcula são correspondentes às bordas. Isso é feito por meio de uma varredura de todos os píxeis da imagem, verificando inicialmente se o píxel tem o código de cor diferente do da cor branca, caracterizando, assim, ser um píxel de fâcula. Se o píxel for correspondente a uma fâcula, é feita a verificação dos píxeis em seu entorno, caso um ou mais píxeis da vizinhança-8 sejam da cor branca, o píxel fica caracterizado como parte da borda da fâcula e é salvo com um código de cor diferente, no caso, a cor azul no código *RGB*. Um exemplo do resultado desta etapa pode ser observada na Figura 4.10.

Figura 4.10. Bordas da fábula.



Fonte: próprio autor.

Depois de varrer toda a imagem e definir todos os píxeis de borda como azuis, faz-se uma nova varredura, usando um contador de píxeis azuis, obtendo dessa maneira o perímetro da fábula em número de píxeis, conforme (4.7):

$$\text{Perímetro} = \sum \text{Píxeis de borda.} \quad (4.7)$$

○ *Fator de Forma:*

O fator de forma foi calculado como a relação entre a área e o perímetro da fábula, conforme (4.8). Essa grandeza é extraída no intuito de diferenciar fábulas com mesmo valor de área, mas com formatos diferentes:

$$\text{Fator de Forma} = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}}. \quad (4.8)$$

○ *Persistência:*

O cálculo da persistência foi desenvolvido para determinar quão persistente a fábula é ao longo do vídeo. De forma analóga ao cálculo da área, foi feita uma varredura para identificar os píxeis correspondentes à fábula, só que o contador agora não irá registrar o número de píxeis encontrados, mas sim o valor do píxel na camada *red*, conforme (4.9):

$$\text{Persistência absoluta} = \sum \text{Valor dos Píxeis de Fábula.} \quad (4.9)$$

Conhecendo o valor da persistência absoluta e da área da fâcula em questão é possível determinar a persistência relativa, como sendo a relação entre a persistência absoluta e a área, conforme (4.10):

$$\text{Persistência relativa} = \frac{\text{Persistência absoluta}}{\text{Área}}. \quad (4.10)$$

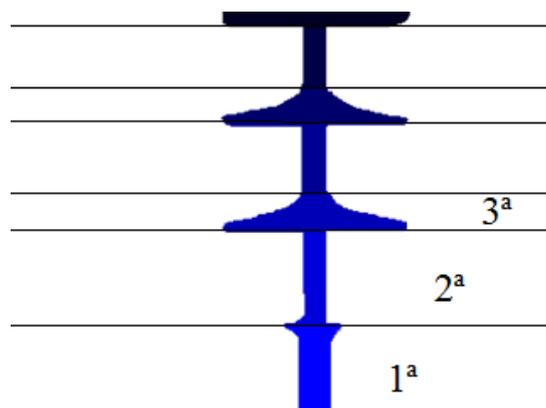
vi. *Cálculo dos atributos de interesse: distância às partes de interesse do isolador polimérico de 230 kV:*

O cálculo das distâncias às partes de interesse tem duas etapas preliminares: uma de segmentação do *shape* do isolador e outra de determinação dos píxels de maior intensidade de fâculas.

○ *Segmentação do shape do isolador:*

A primeira etapa foi feita selecionando de forma assistida as regiões do isolador, a qual é diferenciada por tons de azul, conforme a Figura 4.11. Em seguida, são selecionadas três regiões do isolador, por ordem de importância. Atribuiu-se que a primeira região é a da ferragem fase, a segunda região é a primeira parte do núcleo e a terceira região é a primeira aleta do isolador polimérico.

Figura 4.11. Segmentação das partes de um isolador.



Fonte: próprio autor.

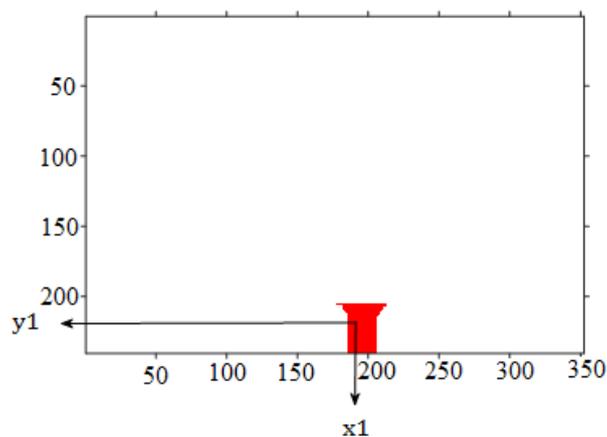
○ *Determinação dos píxels de maior intensidade de fâculas:*

De forma análoga à rotina de eliminação de ruído da imagem integralizada, é feita a determinação dos píxels de maior intensidade de fâcula. Dessa maneira, são selecionadas somente as fâculas que possuem elevada taxa de aparição nos quadros, ou seja, regiões com código de cor próximo a 255, na camada *red*.

o *Cálculo das distâncias:*

Inicialmente é feito o endereçamento das regiões, ou seja, são registradas as coordenadas de aparição da informação de interesse no quadro, conforme exemplificado para região da ferragem fase, na Figura 4.12. O endereçamento é feito para as três regiões de interesse e para a imagem contendo os píxeis de maior intensidade de fâculas.

Figura 4.12. Endereçamento das partes de interesse.



Fonte: próprio autor.

A distância euclidiana é calculada em seguida. Todos os pares ordenados de endereço de uma região de interesse e todos pares ordenados de endereço da região dos píxeis de maior intensidade de fâcula tem sua distância calculada. A menor distância observada no cálculo foi considerada como a distância entre a fâcula e a parte de interesse.

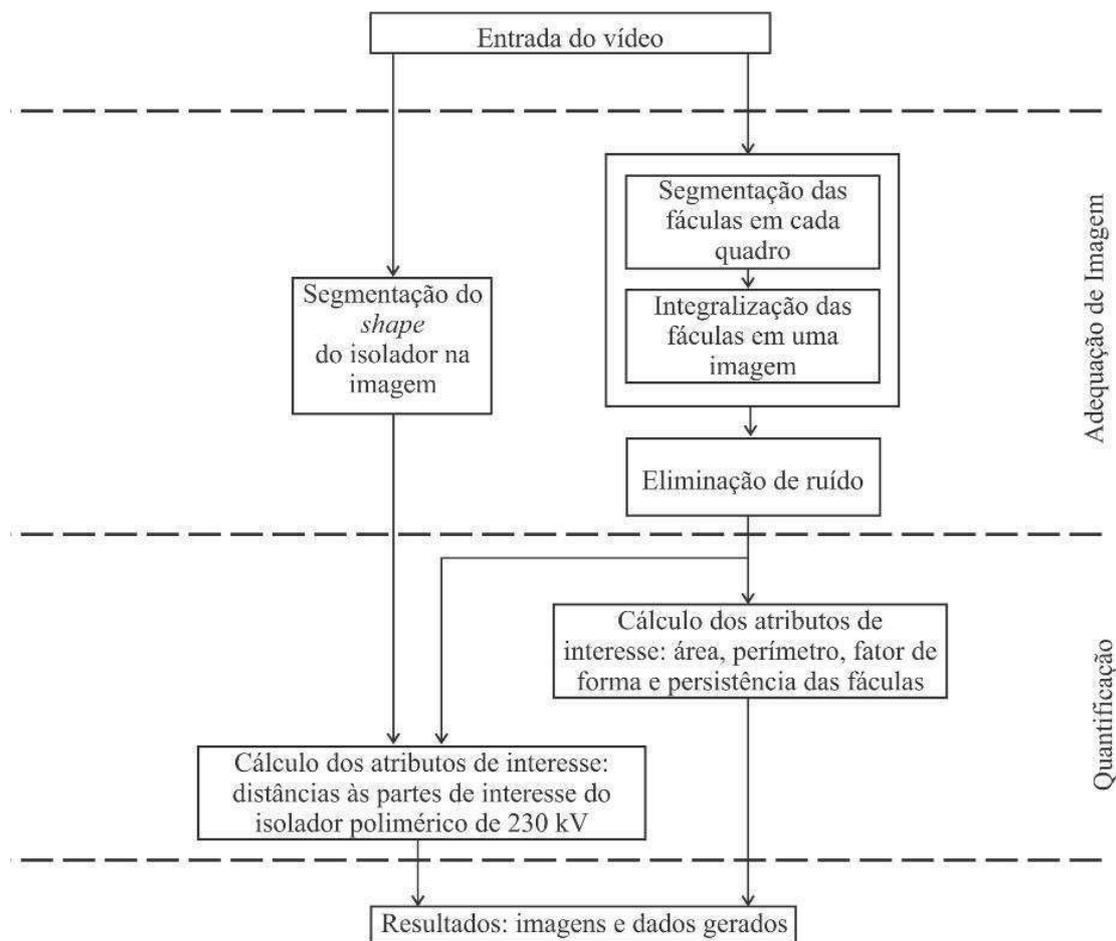
Os dados numéricos das rotinas de quantificação dos atributos de interesse são listados a seguir:

- i. Área;
- ii. Perímetro;
- iii. Fator de Forma;
- iv. Persistência;
- v. Distância à ferragem;
- vi. Distância ao núcleo;
- vii. Distância à primeira aleta.

Cada atributo citado caracteriza as fâculas presentes no isolador com relação ao seu tamanho (i), formato (i, ii, iii), duração (iv) e distância à parte de interesse (v, vi, vii).

O algoritmo, após ter todas as rotinas estabelecidas, pode ser visualizado de maneira esquemática na Figura 4.13, na qual é dividido em etapa de adequação de imagem e quantificação de atributos.

Figura 4.13. Diagrama das rotinas implementadas.



Fonte: próprio autor.

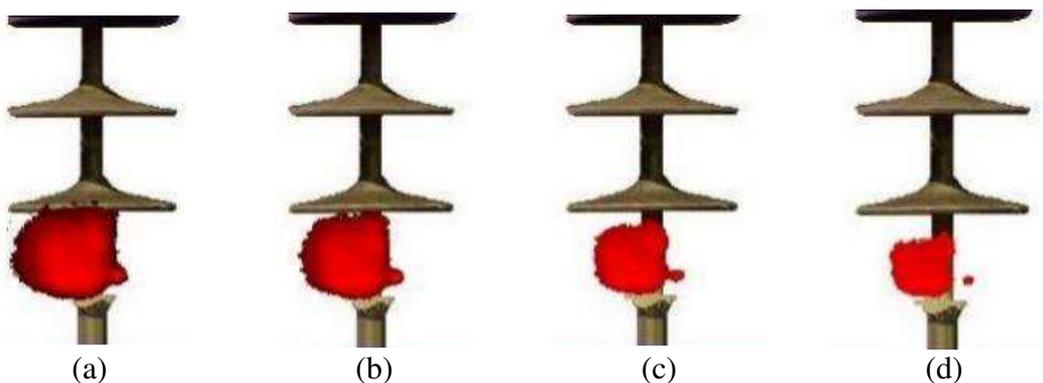
4.2.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Barros (2011) sugeriu que o limite inicial de ruído estabelecido para aparição de fâculas seja de 30%. Nesta dissertação o limite de ruído adequado será determinado conjuntamente com o número de quadros extraídos do vídeo, a partir de uma métrica estabelecida e apresentada em uma análise de sensibilidade. O algoritmo é aplicado para dois vídeos UV de isoladores poliméricos de 230 kV distintos. Variando-se o número de quadros (de 20 até 160, em passo de 20 quadros) e o limite de ruído (de 20% até 90%, em

passo de 10%). Dessa maneira para cada caso serão apresentados, graficamente, 64 resultados.

Aumentando-se o limite de ruído, a fâcula gerada será restrita aos píxeis de maior ocorrência ao longo do vídeo, conforme pode ser verificado na Figura 4.14, em que, da esquerda para direita é aumentado o limite de ruído de 20% até 80%, em passo de 20%.

Figura 4.14. Resultado do aumento do limite de ruído de (a) 20%, (b) 40%, (c) 60% e (d) 80%.

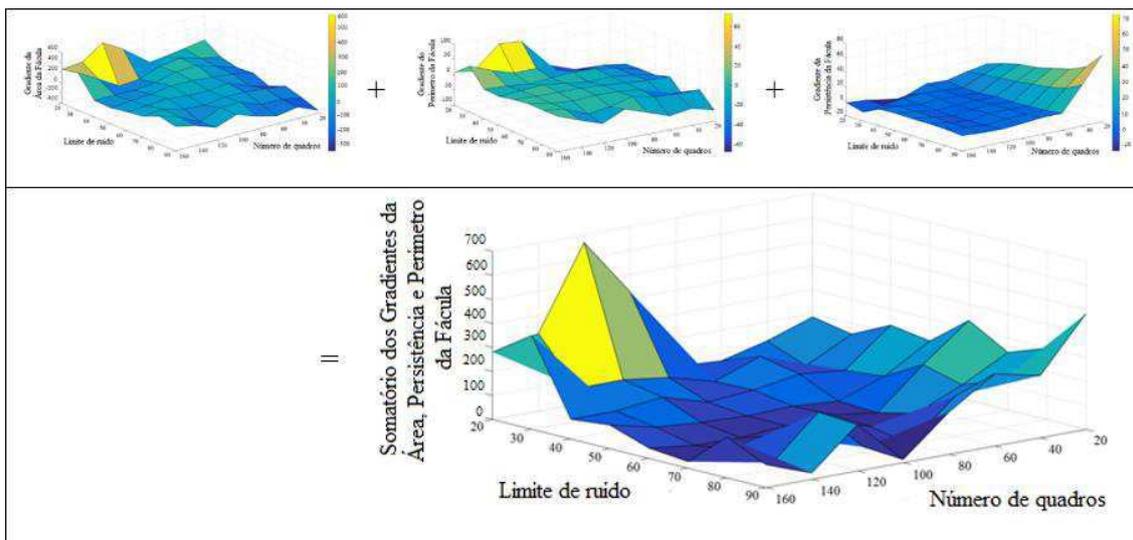


Fonte: próprio autor.

Os resultados de área, perímetro, fator de forma e persistência das fâculas serão apresentados graficamente na análise de sensibilidade no Capítulo de Resultados. A superfície de cada um dos atributos citados são apresentadas, e estabeleceu-se como métrica, para determinação do par ordenado (número de quadro, limite de ruído) adequado, a seleção do ponto que apresentar a menor variação com relação à sua vizinhança, e para isso, é calculado o gradiente das superfícies, selecionado o menor valor absoluto.

O cálculo do módulo do gradiente das superfícies é realizado e seleciona-se o par ordenado que possua menores valores absolutos para a soma das superfícies de área, perímetro e persistência, conforme exemplificado na Figura 4.15. Esta métrica é adotada de maneira a determinar qual o número de quadros e limite de ruído são considerados adequados para um determinado vídeo. Como o atributo fator de forma é dependente dos atributos de área e de perímetro, já considerados no cálculo, este não será incluído no somatório.

Figura 4.15. Gradiente de área, perímetro, persistência e somatório.



Fonte: próprio autor.

No capítulo a seguir serão apresentados os resultados do algoritmo aplicados a dois vídeos de isoladores poliméricos distintos em uma análise de sensibilidade.

5 RESULTADOS

A metodologia de extração de atributos das fâculas de imagens UV foi apresentada no capítulo anterior e sua aplicação foi realizada conjuntamente com uma análise de sensibilidade, na qual variou-se o número de quadros usados de cada vídeo e o limite de ruído aplicado.

O material para aplicação do algoritmo foram dois vídeos de isoladores poliméricos de 230 kV. O primeiro vídeo é de um isolador classificado como envelhecido, enquanto o segundo é de um isolador classificado como novo. Ambos os vídeos foram captados de isoladores sem eletrodos equalizadores, permitindo desta maneira a formação significativa de corona junto a ferragem fase do isolador.

De modo a caracterizar um vídeo UV, o algoritmo de extração de atributos foi aplicado 64 vezes em cada vídeo e os resultados gráficos são apresentados combinando oito variações de número de quadros (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 quadros) e oito variações de limite de ruído (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90%), sendo estes os eixos das abscissas e ordenadas. As cotas dos gráficos representaram os valores de: área, perímetro, fator de forma e persistência de fâculas.

A superfície de cada um dos atributos citados foram apresentadas e determinou-se o par ordenado (número de quadro, limite de ruído) adequado, a partir do ponto que apresentou menor variação com relação à sua vizinhança. Os atributos relacionados a distâncias (à ferragem fase, ao núcleo e à primeira aleta) são apresentados para o par ordenado adequado. Além da apresentação dos resultados, ao final do capítulo, recomendações para tratamento de vídeos UV são descritas.

5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: NÚMERO DE QUADROS E

LIMITE DE RUÍDO

O algoritmo foi aplicado para dois vídeos de isoladores poliméricos de 230 kV distintos, variando-se o número de quadros e o limite de ruído. Os resultados de área, perímetro, fator de forma e persistência das fâculas são apresentados graficamente. Em seguida, para determinação do par ordenado (número de quadro, limite de ruído)

adequado, selecionou-se o ponto que apresentou a menor variação com relação à sua vizinhança.

5.1.1 CASO 1 – ISOLADOR POLIMÉRICO DE 230 kV ENVELHECIDO

Na Figura 5.1 é apresentado o *shape* do isolador de 230 kV do primeiro vídeo.

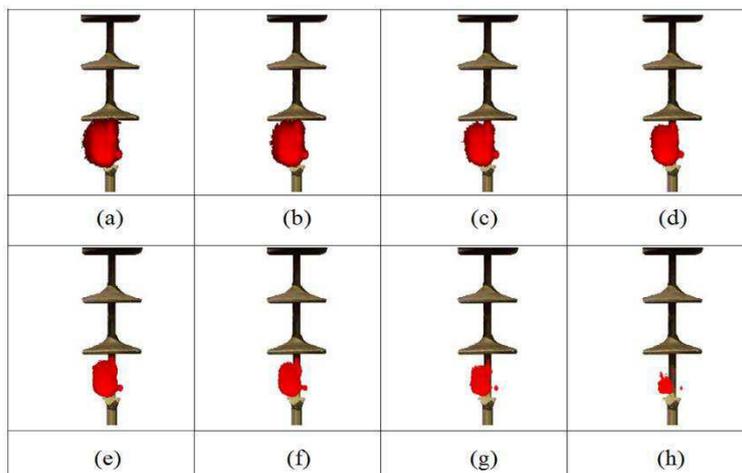
Figura 5.1. *Shape* do isolador para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

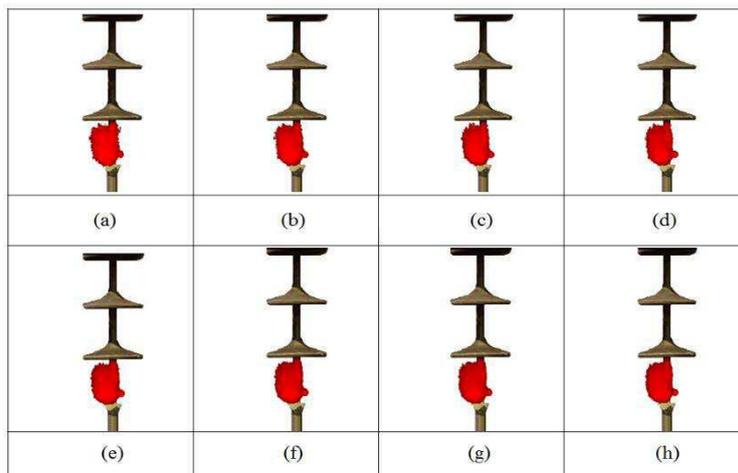
O algoritmo de extração de atributos das fâculas foi executado 64 vezes no vídeo do isolador do caso 1, gerando como resultado desse processamento 448 atributos ($8 \times 8 \times 7$, oito valores de número de quadros, oito valores de limite de ruído e sete atributos). Nas Figuras 5.2 e 5.3 são visualizadas imagens que são partes dos resultados obtidos durante o processamento. Na Figura 5.2 são mostrados os caso em que há variação do ruído e que o número de quadros constante. Na Figura 5.3 há ruído constante e variação no número de quadros.

Figura 5.2. Resultado da fâcula com o uso de 100 quadros e limite de ruído de (a) 20% (b) 30% (c) 40% (d) 50% (e) 60% (f) 70% (g) 80% e (h) 90% para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

Figura 5.3. Resultado da fábula com limite de ruído de 50% com o uso de (a) 20 (b) 40 (c) 60 (d) 80 (e) 100 (f) 120 (g) 140 e (h) 160 quadros para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

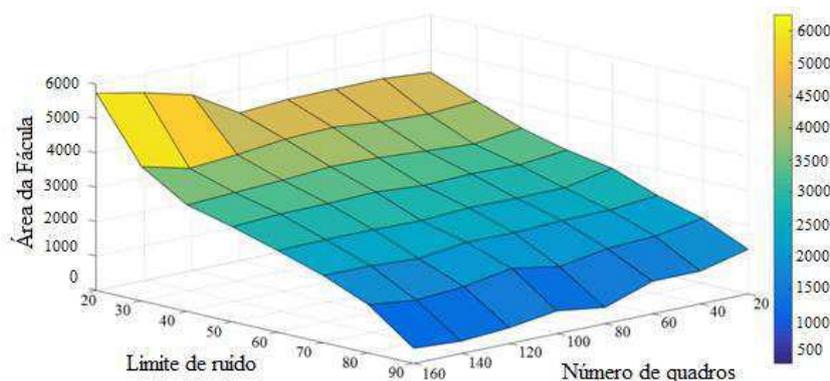
Na Figura 5.2, constatou-se que o aumento no limite de ruído diminuiu a área da fábula, resultado que será verificado também ao analisar a superfície do atributo área. Na Figura 5.3, percebe-se que o formato da fábula tem tendência em se manter constante mesmo com a variação no número de quadros.

i. *Superfície dos Atributos de Interesse*

As superfícies obtidas para os atributos de área, perímetro, fator de forma e persistência das fábulas são mostradas nas Figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7. A apresentação das imagens relaciona variação de número de quadros e limite de ruído com os atributos de interesse, caracterizando as fábulas obtidas.

Como já observado na Figura 5.2 e apresentado na Figura 5.4, há uma diminuição no valor de área da fábula com o aumento do limite de ruído, e, analisando-se em conjunto com a variação do número de quadros, constata-se a formação de uma rampa em que a variação no número de quadros não representa uma grande variação na área da fábula.

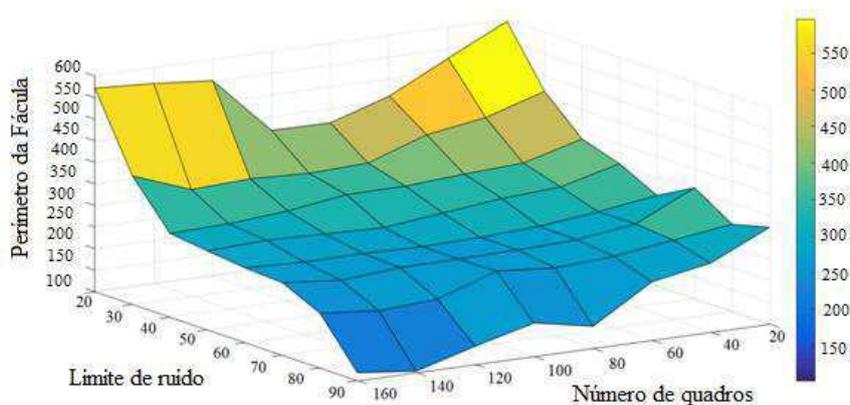
Figura 5.4. Superfície da área para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

Na superfície do perímetro, na Figura 5.5, as variações mais acentuadas ocorrem quando o limite de ruído está abaixo dos 40% e acima de 80%. Para a primeira situação, isso ocorreu devido às pequenas fâculas que ainda são apresentadas na imagem, aumentando o número de píxeis considerados partes do perímetro. O segundo caso ocorreu devido à eliminação de ruído selecionar apenas as regiões da fâcula de maior intensidade, erodindo a fâcula principal, diminuindo consideravelmente o número de píxeis de perímetro. Constatou-se, também, a tendência do perímetro em diminuir com o aumento do limite de ruído.

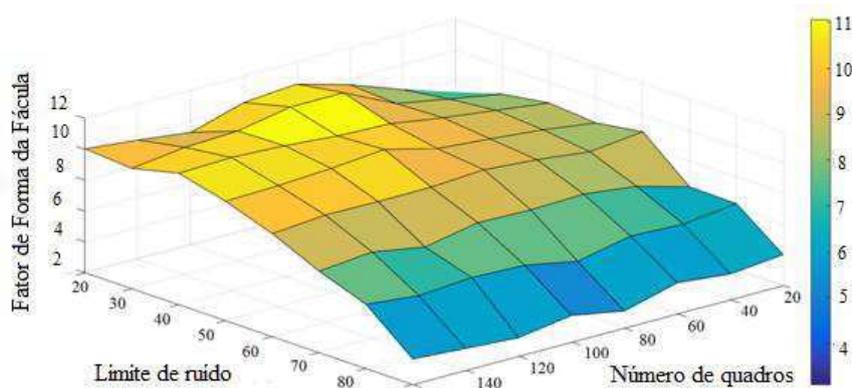
Figura 5.5. Superfície do perímetro para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

Como o fator de forma é a relação entre área e perímetro das fâculas, a análise de sua superfície foi feita a partir das análises realizadas anteriormente. Como as duas superfícies (de área e de perímetro) caracterizaram-se como rampas, a tendência da superfície do fator de forma é possuir um formato mais próximo de um plano de cota constante, conforme Figura 5.6.

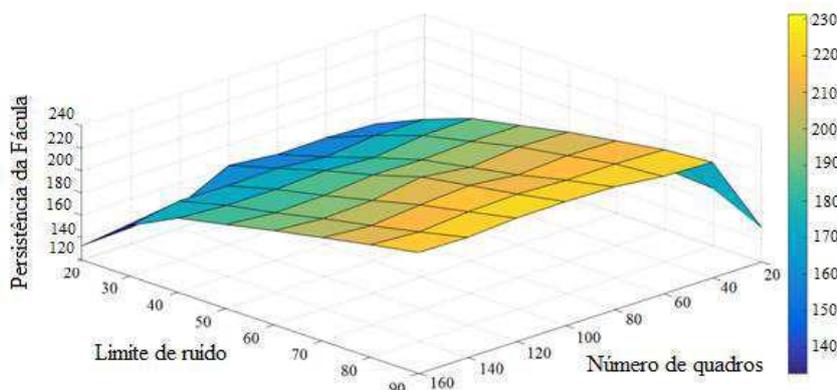
Figura 5.6. Superfície do fator de forma para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

A superfície da persistência, mostrada na Figura 5.7, também caracterizou a fâcula. Um comportamento quase constante em função do número de quadros (a partir do uso de 40 quadros) foi constatado, o que era esperado, uma vez que a fâcula possui comportamento similar a partir de um determinado número mínimo de quadros.

Figura 5.7. Superfície da persistência para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

Os gráficos das superfícies de interesse apresentaram as características das fâculas com relação à sua área, perímetro, fator de forma e persistência. Os atributos caracterizam as fâculas e sua variação, em função do número de quadros e limite de ruído servirá para perceber sua variação com relação à sua vizinhança.

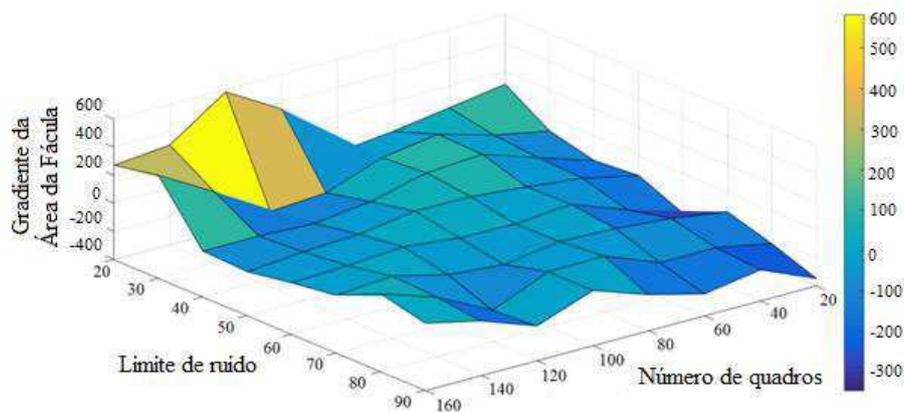
ii. Cálculo do Módulo do Gradiente das Superfícies dos Atributos de Interesse

Determinou-se qual ponto da superfície apresentava menor variação com relação à sua vizinhança, ou seja, qual par ordenado possuía o mínimo de variação tanto para a

mudança no limite de ruído quanto para a mudança no número de quadros. Realizou-se o cálculo do módulo do gradiente da superfície e selecionou-se o par ordenado que possuía menores valores absolutos para área, perímetro e persistência, quando somados.

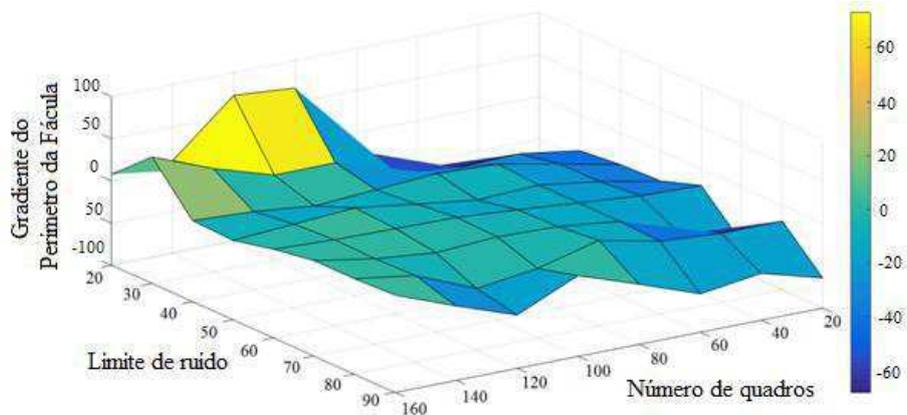
Os resultados são apresentados nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10, para o gradiente das superfícies de área, perímetro e persistência das fâculas, respectivamente.

Figura 5.8. Gradiente da área para o Caso 1.



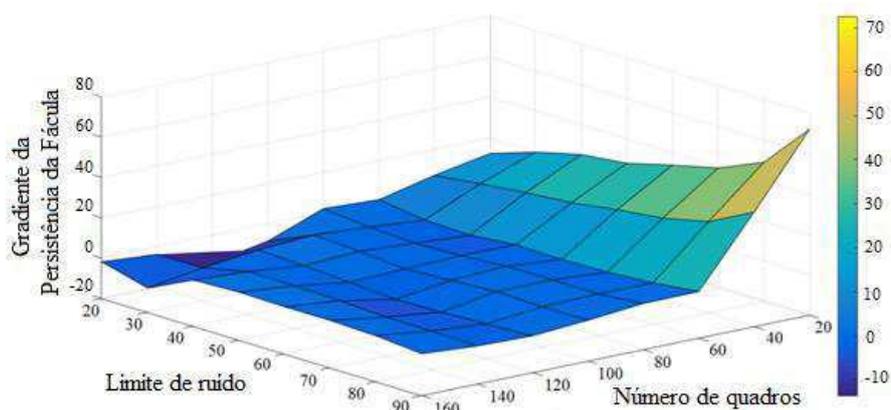
Fonte: próprio autor.

Figura 5.9. Gradiente do perímetro para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

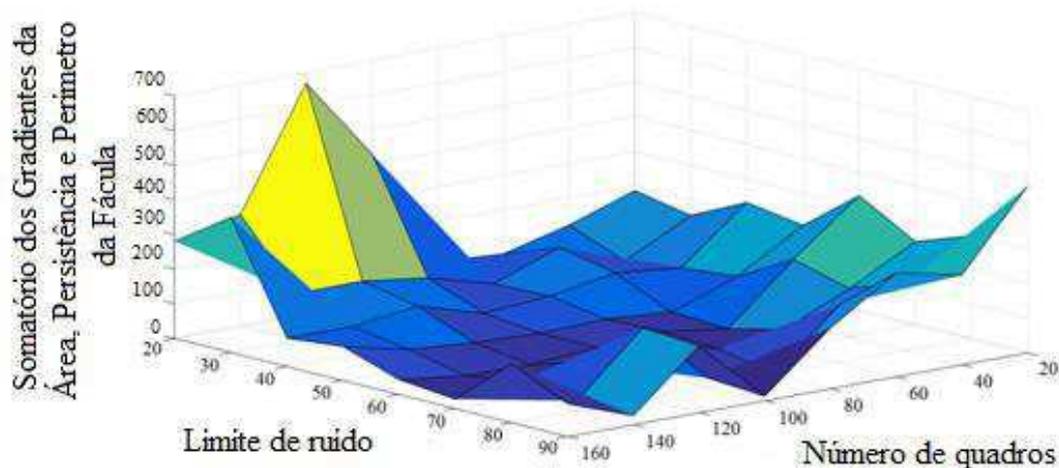
Figura 5.10. Gradiente da persistência para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

Ao somar o módulo das três superfícies de gradiente, obteve-se a Figura 5.11, cujo par ordenado (número de quadros, limite de ruído) que apresentou o menor valor e, conseqüentemente, foi considerado o par ordenado adequado: 80 quadros, 80% de limite de ruído.

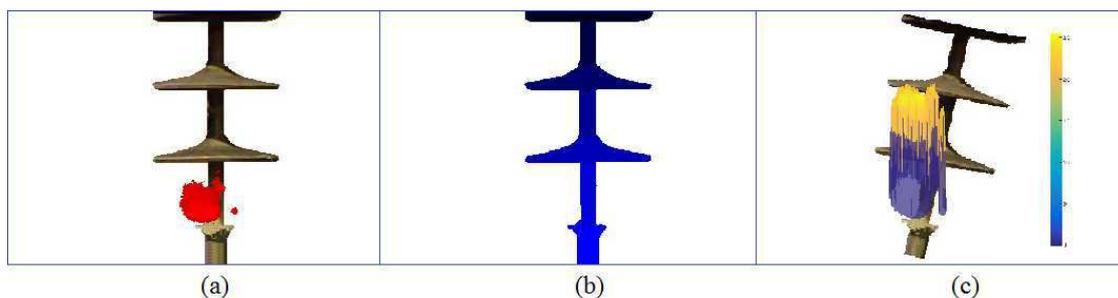
Figura 5.11. Soma dos Gradiente de área, perímetro e persistência para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

Para o par ordenado 80 quadros, 80% de limite de ruído, apresentou-se a fábula junto ao *shape* na Figura 5.12(a). A sua segmentação que é usada para calcular a distância à ferragem fase, ao núcleo e à primeira aleta, é mostrada na Figura 5.12(b) e a superfície da descarga é mostrada na Figura 5.12(c).

Figura 5.12. Resultados de (a) fâculas em isoladores poliméricos de 230 kV resultantes, (b) sua segmentação e (c) a superfície da descarga para o Caso 1.



Fonte: próprio autor.

Finalmente, na Tabela 5.1 são apresentados os atributos calculados para o vídeo do caso 1, considerando o uso de 80 quadros e limite de ruído de 80%.

Tabela 5.1. Atributos para o Caso 1 com 80 quadros e limite de ruído de 80%.

Atributo	Valor
Área	1360 píxeis
Perímetro	257 píxeis
Fator de Forma	5,29
Persistência	221,74
Distância à Ferragem Fase	15 píxeis
Distância ao Núcleo	0
Distância à Primeira Aleta	43 píxeis

Fonte: próprio autor.

5.1.2 CASO 2 – ISOLADOR POLIMÉRICO DE 230 kV NOVO

Na Figura 5.13 é apresentado o *shape* do isolador de 230 kV do segundo vídeo.

Figura 5.13. *Shape* do isolador para o Caso 2.

Fonte: próprio autor.

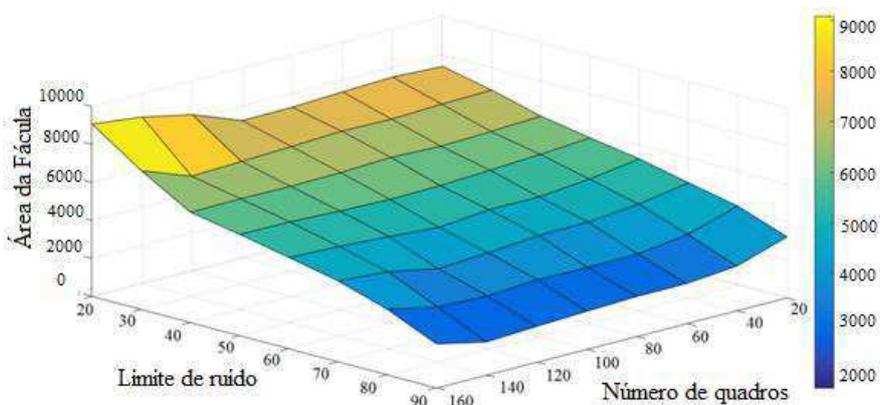
O algoritmo será processado 64 vezes, tal qual para o Caso 1, gerando a combinação de $8 \times 8 \times 7$ atributos.

i. Superfície dos Atributos de Interesse

As superfícies obtidas para os atributos de área, perímetro, fator de forma e persistência das fâculas são apresentadas nas Figuras 5.14, 5.15, 5.16 e 5.17, respectivamente.

Na Figura 5.14, é observado que o formato da superfície é semelhante ao do caso 1 (formato de rampa), variando-se, com relação ao caso 1, somente os valores das cotas do gráfico, que representam as áreas da fâcula.

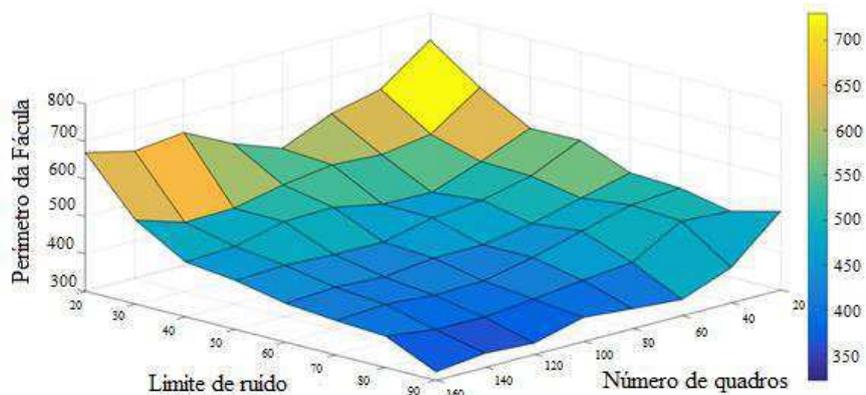
Figura 5.14. Superfície da área para o Caso 2.



Fonte: próprio autor.

Na Figura 5.15, novamente são constatadas variações bruscas nas extremidades do limite de ruído, pelos motivos já apresentados no caso 1. Constata-se, também, a tendência do perímetro em diminuir com o aumento do limite de ruído.

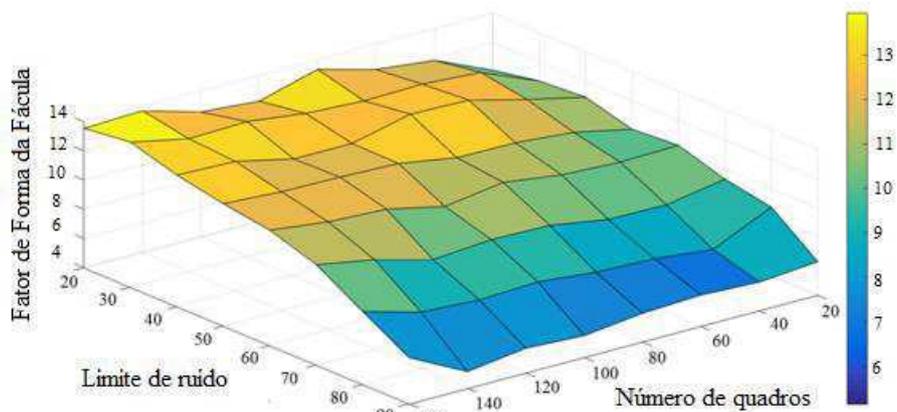
Figura 5.15. Superfície do perímetro para o Caso 2.



Fonte: próprio autor.

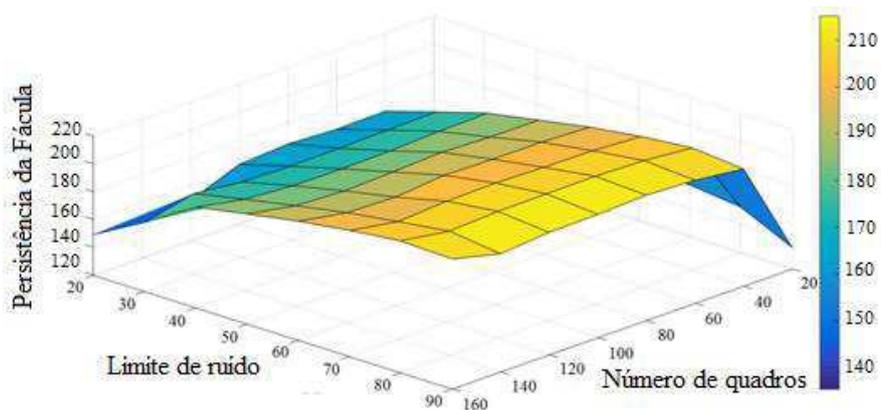
As mesmas considerações realizadas para o caso 1 são aplicadas para a análise da superfície de fator de forma, Figura 5.16, e de persistência da fábula, Figura 5.17.

Figura 5.16. Superfície do fator de forma para o Caso 2.



Fonte: próprio autor.

Figura 5.17. Superfície da persistência para o Caso 2.

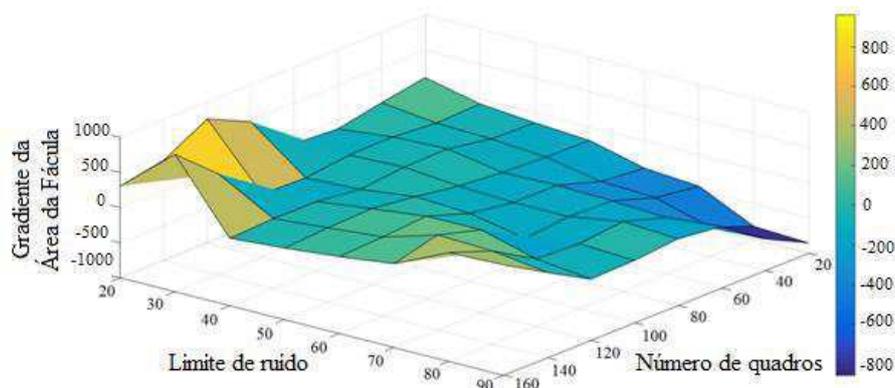


Fonte: próprio autor.

ii. *Cálculo do Módulo do Gradiente das Superfícies dos Atributos de Interesse*

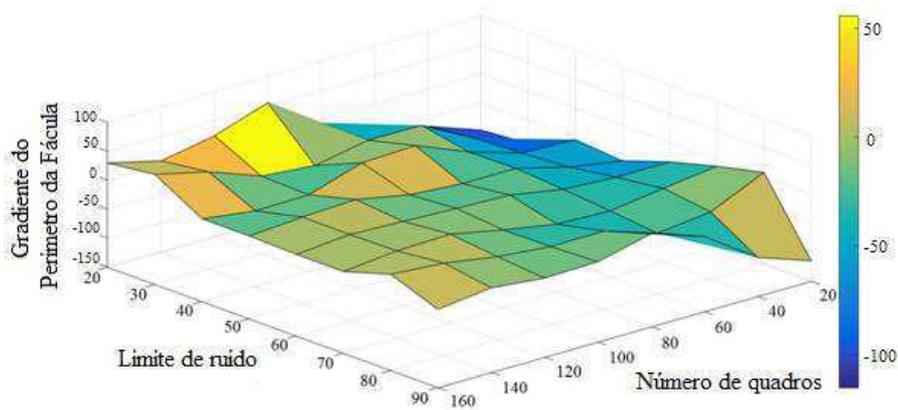
Os resultados são apresentados nas Figuras 5.18, 5.19 e 5.20, para o módulo do gradiente das superfícies de área, perímetro e persistência das fâculas.

Figura 5.18. Gradiente da área para o Caso 2.



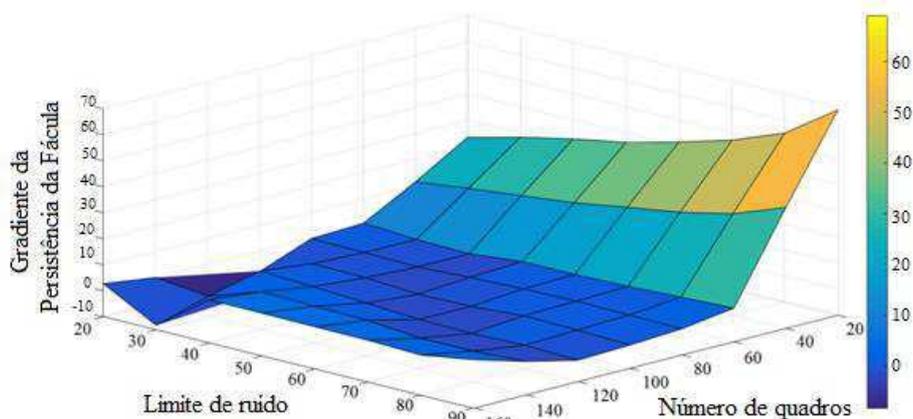
Fonte: próprio autor.

Figura 5.19. Gradiente do perímetro para o Caso 2.



Fonte: próprio autor.

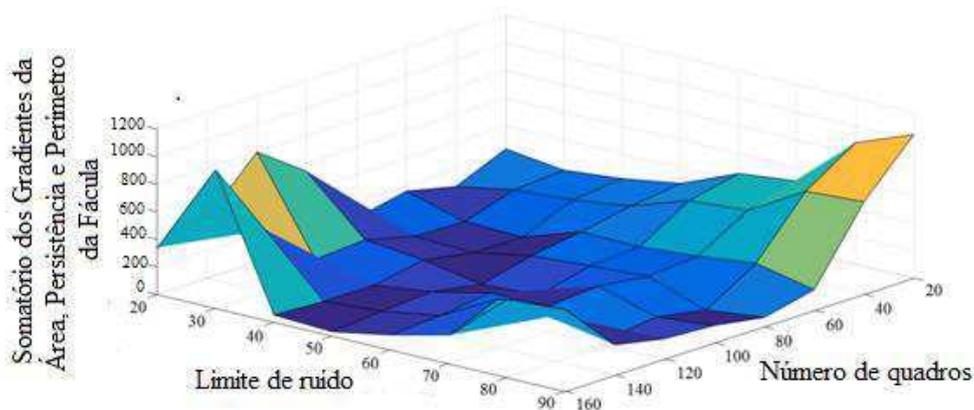
Figura 5.20. Gradiente da persistência para o Caso 2.



Fonte: próprio autor.

Ao somar o módulo das três superfícies de gradiente, obteve-se a Figura 5.21, cujo par ordenado (número de quadros, limite de ruído) que apresentou o menor valor e, conseqüentemente, foi considerado o par ordenado adequado é: 80 quadros, 80% de limite de ruído, tal qual o caso 1.

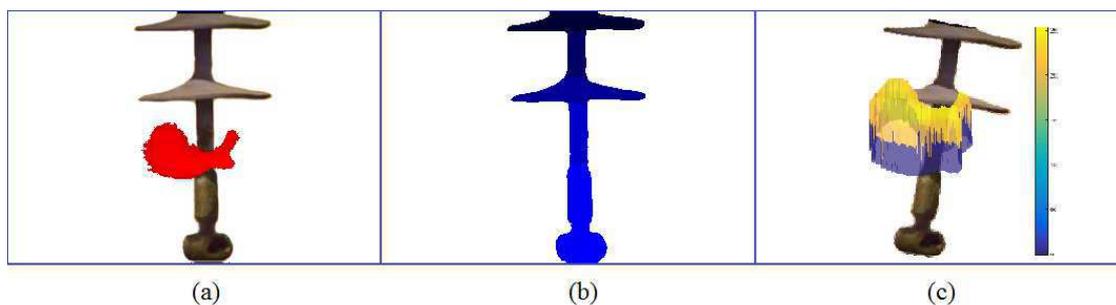
Figura 5.21. Soma dos Gradiente de área, perímetro e persistência para o Caso 2.



Fonte: próprio autor.

Para esse par ordenado, apresenta-se a fácua junto ao *shape* na Figura 5.22(a), a sua segmentação para calcular a distância à ferragem fase, ao núcleo e à primeira aleta na Figura 5.22(b) e a superfície da descarga na Figura 5.22(c).

Figura 5.22. Resultados de (a) fâculas em isoladores poliméricos de 230 kV resultantes, (b) sua segmentação e (c) a superfície da descarga para o Caso 2.



Fonte: próprio autor.

Na Tabela 5.2, são apresentados os atributos obtidos para o vídeo do caso 2, considerando o uso de 80 quadros e limite de ruído de 80%.

Tabela 5.2. Atributos para o Caso 2 com 80 quadros e limite de ruído de 80%.

Atributo	Valor
Área	2943 píxeis
Perímetro	395 píxeis
Fator de Forma	7,45
Persistência	212,16
Distância à Ferragem Fase	0
Distância ao Núcleo	0
Distância à Primeira Aleta	50,8 píxeis

Fonte: próprio autor.

Algumas observações importantes devem ser realizadas com relação à determinação dos pares ordenados adequados. Não se pode afirmar que os valores encontrados para os casos 1 e 2 são adequados para todos os tipos de vídeos usados. O que foi evidenciado ao realizar a análise de sensibilidade é a métrica utilizada para tal.

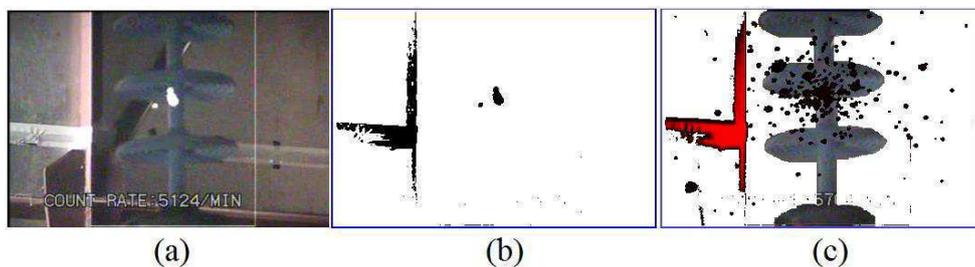
No caso 1, do isolador envelhecido, o módulo do gradiente da superfície de área, perímetro e persistência foram mínimos para o par ordenado: 80 quadros, 80% de limite de ruído. Enquanto que no caso 2, do isolador novo, o módulo do gradiente mínimo da superfície de área foi: 40 quadros, 20% de limite de ruído. Da superfície de perímetro foi: 140 quadros, 20% de limite de ruído. Na superfície da persistência tiveram dois mínimos: 140 quadros, 50% de limite de ruído e 140 quadros, 70% de limite de ruído. Sendo somente o mínimo do somatório no par ordenado: 80 quadros, 80% de limite de ruído.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRATAMENTO DE VÍDEOS UV

As segmentações realizadas pelo algoritmo baseiam-se na premissa de que o plano de fundo, isolador e fâcula tem códigos de cor bem definidos nas três camadas *RGB*, de maneira que não haja interseção entre elas.

Assim como notado em Pinnangudi *et al.*(2005), ambientes com baixa iluminação propiciam cores bem definidas para todos os elementos a serem segmentados no quadro. Para o vídeo UV de um determinado ensaio em laboratório, a claridade proveniente de uma porta aberta confundiu-se com o sinal das descargas provocado pelo efeito corona, gerando uma falsa segmentação do plano de fundo na região de fâculas. Na Figura 5.23(a) é visto o quadro original captado pela câmera UV. Na Figura 5.23(b) é apresentado o resultado da segmentação das fâculas, notadamente com elementos do plano de fundo sendo classificados como descargas. Na Figura 5.23(c) é mostrada a integralização das fâculas, em que claramente é verificado que as fâculas mais intensas são na verdade provenientes do plano de fundo, que não correspondem às descargas corona.

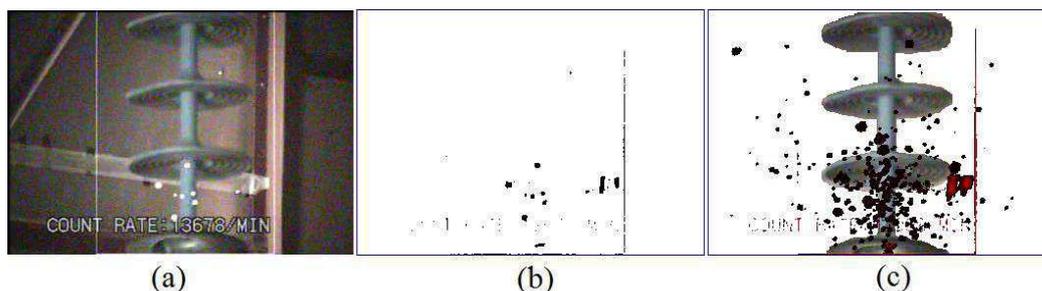
Figura 5.23. Falsa segmentação do plano de fundo: (a) quadro do vídeo UV, (b) segmentação de fâcula e (c) integralização das fâculas em um imagem.



Fonte: próprio autor.

A falsa segmentação também se apresentou devido a elementos provenientes da legenda e da própria câmera UV, como nos trabalhos de Zhou *et al.*(2009) e Zhou *et al.*(2011). Na Figura 5.24(a) é visto o quadro original captado pela câmera UV. Na Figura 5.24(b) é apresentado o resultado da segmentação das fâculas, notadamente com elementos que não caracterizam fâculas sendo classificados como tal. Na Figura 5.24(c) é mostrada a integralização das fâculas, em que uma linha paralela ao núcleo do isolador seria a fâcula mais intensa. Na verdade, as fâculas são provenientes de elementos de legenda da câmera UV e ainda de um ponto de reflexão do plano de fundo, que não corresponde às descargas corona.

Figura 5.24. Falsa segmentação de legendas e elementos da câmera UV: (a) quadro do vídeo UV, (b) segmentação de fâcula e (c) integralização das fâculas em um imagem.



Fonte: próprio autor.

Os casos de falsa segmentação são provenientes da aquisição de vídeo feita de maneira não controlada. Ao aplicar o algoritmo de extração de atributos em vídeos UV com código de cores não bem definidos, há a ocorrência de falsa segmentação, gerando resultados inadequados, conforme apresentado nesta seção. Neste sentido são apresentadas recomendações para tratamento de vídeos UV:

- i. Na aquisição do vídeo: estabelecer condições de baixa luminosidade, ou na qual os elementos a serem segmentados tenham cor bem definida (no caso o isolador e o plano de fundo não se confundam entre si, nem com a descarga).
- ii. No tratamento pós-aquisição do vídeo: eliminar da etapa de PDI os píxeis que venham a apresentar esse tipo de problema. Eliminação feita assistidamente, ou seja, realizada de maneira subjetiva por um analista humano.
- iii. Durante a execução do algoritmo: buscar maneiras de minimizar este problema desassistidamente, ou seja, reconhecê-lo de maneira automática. Essa maneira é a mais complexa.

As conclusões do trabalho são descritas no capítulo a seguir. Além disso, serão apresentadas as propostas de trabalhos futuros e as publicações relacionadas ao desenvolvimento desta dissertação.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia de extração de atributos das fâculas de imagens UV tendo com fonte primária isoladores poliméricos submetidos à tensão aplicada de 132 kV. A metodologia de extração de atributos é aplicável no aprimoramento da classificação do estado operacional dos isoladores. Os dados numéricos extraídos e as imagens geradas são atributos que caracterizam de maneira satisfatória a fâcula, servindo para sua identificação.

A área, o perímetro, o fator de forma, a persistência, a distância à ferragem fase, a distância ao núcleo e a distância à primeira aleta do isolador são atributos determinados para caracterizar a influência das descargas na classificação do estado operacional dos isoladores.

As amostras utilizadas na pesquisa são as imagens integralizadas e filtradas, que são geradas de maneira a identificar a fâcula resultante. Na pesquisa, rotinas de PDI foram desenvolvidas para adequar as imagens obtidas de modo eficiente e quantificar os atributos. A partir dos resultados, evidenciou-se que o algoritmo permite a extração de atributos de maneira satisfatória e que pode ser aplicado a vídeos captados com câmera UV. Desse modo, foi definida uma métrica para quantificar as fâculas, evitando-se a realização de contagem de píxeis de maneira arbitrária.

A metodologia, representada pelo estudo, avaliação e quantificação dos efeitos dos atributos das fâculas nas imagens UV, foi proposta, desenvolvida e testada. Desse modo, pode-se concluir que a metodologia de extração de atributos resultou na consolidação do algoritmo, cujos resultados foram verificados em análise de sensibilidade.

Na análise de sensibilidade foi proposta, e desenvolvida uma métrica satisfatória, que conseguiu determinar, para dois estudos de caso, quais valores de número de quadros e limite de ruídos são adequados para vídeos UV de isoladores ensaiados.

Como pode ser visto, a contribuição desta dissertação é a proposição, desenvolvimento e validação de uma metodologia de extração de atributos aplicável no aprimoramento da classificação do estado operacional dos isoladores.

Uma outra contribuição que pode ser associada à pesquisa são as publicações relacionadas ao trabalho as quais são apresentados em anexo.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

A fim de melhorar os resultados obtidos e aprofundar as investigações no trabalho, pode-se apontar como propostas de continuidade:

- i. Considerar o uso de imagens dinâmicas, ou seja, obtidas com vídeo em movimento, de modo a tornar sua aplicação mais genérica.
- ii. Analisar quais outros atributos podem ser associados à fâcula UV e extraí-los.
- iii. Analisar o uso dos atributos das fâculas por sistemas inteligentes de classificação, de maneira a determinar o estado de degradação de isoladores devido aos problemas associados a UV.
- iv. Buscar maneiras de minimizar o problema de falsa segmentação desassistidamente, ou seja, reconhecê-lo de maneira automática pelo algoritmo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. N. T. **Algoritmo em Processamento Digital de Imagens para Auxiliar a Classificação da Hidrofobicidade em Isoladores Elétricos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Junho de 2016.
- BARROS, W. P. P. **Análise do Efeito Corona para Diagnóstico de Isoladores Poliméricos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Junho de 2011.
- BATISTA, L. V. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. Nota de Aula, 2005. Disponível em <<http://www.di.ufpb.br/leonardo/pdi/PDI2005.pdf>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2015.
- BRUCE, G. P.; ROWLAND, S. M.; ROBERTSON, J. **A Technique for the Optical Detection and Analysis of Dry Band Arcs on a Composite Insulator**. In: Annual Report Conference on Electrical Insulation Dielectric Phenomena, p. 220-223, 2008.
- GARCIA, R. W. S.; GONZALEZ, E. G.; MELLO, D. R.; PAIVA, P. L. S.; MACIEL, D.; FERREIRA L. F. P.; COSTA, E. G. **Desenvolvimento de Metodologia para Monitoração de Isoladores Poliméricos**. In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE), Curitiba - PR, 16 a 21 de outubro de 2005.
- FANGCHENG L.; RI-JUN D.; HAI-DE, L; HU, J. **Comparison of Two UV Imaging Parameters's in the Insulator Fault Diagnosis**. In: International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, p. 1400 - 1403, 2012.
- FANGCHENG, L.; WANG, S.; HEMING, L. **Insulator Pollution Grade Evaluation Based on Ultraviolet Imaging and Fuzzy Logic Inference**. In: Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference.p. 1-4, 2010.
- FERREIRA, T. V. **Estudo do Trilhamento de Núcleo em Isoladores Poliméricos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Maio de 2007.
- FLORENTINO, M. T. B. **Análise de Sensibilidade do Método dos Vetores de Energia dos Centroides das Sub-bandas Espectrais Aplicado ao Monitoramento de Isoladores Poliméricos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Agosto de 2015.
- GILL, P. **Electrical Power Equipment Maintenance and Testing**. CRC Press – 2ª edição, pg. 39, 2008.
- GONZALEZ, R.; WOODS, P. **Digital Image Processing**. Prentice Hall, 2ª edição. 2002.

GORUR, R. S.; CHERNEY, E. A.; BURNHAM, J. T. **Outdoor Insulators**. Phoenix, Arizona, 1999.

GUEDES, C.P.G. **Classificação das Condições de Degradação de Isoladores Poliméricos pelos Níveis de Radiação UV e Lógica Fuzzy**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Julho de 2015.

GUOHUA, J.; YIZHOU, Z.; YUMING, D.; YUANFU, L.; JIANCHENG L. **An optical system in solar-blind UV for corona discharge detection**. In: IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR), p. 321 - 325, Junho de 2016.

HACKAM, R. **Outdoor HV Composite Polymeric Insulators**. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 6, no. 5, pp. 557-585, Outubro de 1999.

HALL, J. F. **History and Bibliography of Polymeric Insulators of outdoor Applications**. IEEE Transaction on Power Delivery. Vol. 8, no.1, pp. 376-385, Janeiro de 1993.

HALLIDAY, D. RESNICK, J. W. **Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna**. 8ª edição, LTC, pp. 2, Rio de Janeiro, 2009.

JÄHNE, B. **Digital Image Processing**. Springer-Verlag, 5ª edição, 2002.

KUFFEL, E.; ZAENGL, W. S.; KUFFEL, J. **High Voltage Engineering Fundamentals**. 2ª edição, 2010.

LAPP INSULATORS. **Rodurflex High-voltage Insulators**. Disponível em <<http://www.lappinsulator.com/downloadcenter/catalogs.asp>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2015.

LINDNER, M. **Third UV Inspection User's Group Meeting**. Orlando, Florida, USA, 2004.

LINDNER, M.; ELSTEIN, S.; LINDNER, P.; TOPAZ, J. M.; PHILLIPS, A. J. **Daylight Corona Discharge Imager**. In: High Voltage Engineering Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467), Vol. 4, pp 349 – 352, August 1999.

MA, B., ZHOU, W.; WANG, T.; DING Y. **Study on Corona Discharge Test under the Power Frequency Voltage of the Severe Non-Uniform Electric Field Based on the UV-light Imaging Technology**. In: Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics. Pg 253-259, 2006.

MARIA, L. G. F. **Processamento Digital de Imagens**. Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Junho de 2000.

MASCARENHAS, N. A.; VELASCO, F. R. D. **Processamento Digital de Imagens**. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. Instituto de Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE). Janeiro de 1989.

NIGRI, A. I. **Desempenho de Linhas de Transmissão. Ponto de Vista da Manutenção.** In: (XVSNPTEE) Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, 1999.

OFIL LTD. **Daycor®II, The Most Advanced Daytime Corona Imager, The Indispensable Predictive Maintenance Tool to Enhance Electrical Utility Reliability,** 2003

OLIVEIRA NETO, A.B.; ALVES, L. N. T.; LUCENA, M. D.; FERREIRA, T. V. **Um Algoritmo Baseado em PDI para Localização de Regiões Propícias à Instalação de Usinas Solares.** In: V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Foz do Iguaçu. Abril de 2014.

PIGINI, A. **HV composite insulators: Market size & reliability.** Disponível em <<http://www.inmr.com/composite-insulators-market-size-reliability/>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2016.

PINNANGUDI, B.; GORUR, R. S.; KROESE, A. J. **Quantification of Corona Discharges on Nonceramic Insulators.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 12 no. 3, p. 513-523, Junho de 2005.

QUEIRÓS, J. P. M. **Análise Comparativa do Comportamento Dielétrico dos Isoladores Poliméricos com Isoladores em Materiais Convencionais.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2013.

SCHNEIDER, B. O. **Apostila de Computação Gráfica.** Departamento de Ciência da Computação. Universidade Federal de Lavras. Agosto de 2001.

SHONG, K.; KIM, Y.; KIM, S. **Images Detection and Diagnosis of Corona Discharge on Porcelain Insulators at 22.9kV D/L.** In: 2007 IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives. p. 462-466, 2007.

SOARES, F. A. A. M. N. **Processamento Digital de Imagens.** Capítulo 2. Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, 2012. 35 slides. Apresentação em Power-point

SOUZA, A. L. **Efeito Corona em Isoladores Poliméricos Sob Condições Adversas.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Fevereiro de 2016.

SPRING, G.; CAMARA, R. C. M.; SOUZA, U. M.; FREITAS, J. G. **Integrating Remote Sensing and GIS by Object Oriented Data Modeling.** Computers & Graphics, 1996, pp. 395-403.

WANG, S.; FANGCHENG, L. **Estimation of discharge magnitude of composite insulator surface corona discharge based on ultraviolet imaging method.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 21, no. 4, pp. 1697-1704, Agosto de 2014.

ZHOU, W.; LI, H.; YI, X.; TU, J.; YU, J. **A criterion for UV detection of AC corona inception in a rod-plane air gap.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 18, no. 1, pp 232 - 237, 2011.

ZHOU, W.; WU, J.; MAO, M.; MA, B.; YI, X. **Research on Quantification of AC Corona Discharge Intensity of Rod-plane Gap Based on UV Digital Image Processing.** In: Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. Pg 1-5, 2009.

ANEXO

Durante o desenvolvimento desta pesquisa alguns trabalhos relacionados ao tema foram publicados e estão listados a seguir.

Congresso Nacional:

- **Avaliação de Degradação de Isoladores Poliméricos Baseada em Imagens Ultravioletas**, dos autores: K. B. Brito, E. G. Costa, A. B. Oliveira Neto, B. A. Dias e T. V. Ferreira. In: Simbósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), realizado em Natal em maio de 2016.

Congresso Internacional:

- ***Attribute Extraction for Automatic Classification of Polymeric Insulators Based On Ultraviolet Imaging***, dos autores: A. B. Oliveira Neto, K. B. Brito, B. A. Dias, E. G. Costa e T. V. Ferreira. In: 19th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), realizado em Pilsen, República Tcheca em agosto de 2015.

Além destes, o seguinte resumo foi aceito:

Congresso Internacional:

- ***Faculae Attribute Extraction for Classification of Polymeric Insulators Ultraviolet Images***, dos autores: K. B. Brito, E. G. Costa, A. B. Oliveira Neto, M. T. B. Florentino, B. A. Dias e T. V. Ferreira. In: 20th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), a ser realizado em Buenos Aires, Argentina em agosto de 2017.