



Universidade Federal  
de Campina Grande

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

LIDJA NAYARA TAVARES ALVES

ALGORITMO EM PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA  
AUXILIAR A CLASSIFICAÇÃO DA HIDROFOBICIDADE EM  
ISOLADORES ELÉTRICOS

Campina Grande, Paraíba  
Junho de 2016

LIDJA NAYARA TAVARES ALVES

ALGORITMO EM PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS  
PARA AUXILIAR A CLASSIFICAÇÃO DA HIDROFOBICIDADE  
EM ISOLADORES ELÉTRICOS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Junho de 2016

LIDJA NAYARA TAVARES ALVES

ALGORITMO EM PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS  
PARA AUXILIAR A CLASSIFICAÇÃO DA HIDROFOBICIDADE  
EM ISOLADORES ELÉTRICOS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade  
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Marcos Alves e Arizonete Tavares.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por cada etapa vencida para chegar até aqui, nas quais Ele sempre esteve ao meu lado. Agradeço a Nossa Senhora, minha mãezinha, por todas as vezes que me colocou em seu colo e intercedeu por mim.

Aos meus pais, Marcos e Arizonete, por todo o esforço realizado na minha educação, pelos valores morais, pelo apoio e amor que sempre me dão. Simplesmente agradeço por ter pais incríveis.

Agradeço à minha irmã, Gabriella por ser um exemplo de determinação e coragem.

Agradeço ao meu orientador, Professor Tarso Vilela, pela paciência e orientação.

Agradeço aos mestres e funcionários do DEE-UFCG, dos quais levarei lições para a vida inteira, não apenas enquanto profissional, mas também como ser humano.

Agradeço a todos os meus familiares, pelo carinho, estímulo e incentivo.

Agradeço a Antonio Neto por todo apoio, ensinamento, força e paciência na realização deste trabalho.

Agradeço a Raphael Borges por toda a ajuda e ensino durante a realização do ensaio em laboratório.

Aos técnicos do LAT por todo o suporte para a realização do ensaio. Em especial a Igor, por toda a assistência na montagem do ensaio.

Por fim, aos amigos que tanto partilharam as diversas situações em minha vida ao longo da graduação.

*“Nas grandes batalhas da vida  
o primeiro passo para a vitória  
é o desejo de vencer.”*

Mahatma Gandhi.

## RESUMO

Em 1992 foi elaborado o guia do STRI (*Swedish Transmission Research Institute*) no qual até os dias de hoje a classificação da hidrofobicidade está baseada. O guia STRI estabelece três métodos para a classificação: método do ângulo de contato, método da tensão superficial e o método de pulverização. Dentre os métodos de classificação, o método de pulverização consiste no método mais indicado para trabalhos em campo, devido sua facilidade. Entretanto, o método de pulverização classifica a hidrofobicidade de forma subjetiva, por meio da experiência do operador. Desta forma, neste trabalho é apresentada uma ferramenta computacional baseada em processamento digital de imagens capaz de auxiliar quantitativamente a classificação da hidrofobicidade em isoladores elétricos de alta tensão com revestimento polimérico. Para tanto, a ferramenta desenvolvida extrai parâmetros das imagens obtidas dos isoladores ensaiados em laboratório pelo método da pulverização e elabora a quantificação destes parâmetros. São parâmetros extraídos: quantidade de regiões molhadas; tamanho das regiões molhadas e da região seca do isolador; e a distribuição percentual destas áreas. Além de ser elaborada uma ferramenta de extração e quantificação no auxílio da classificação, este trabalho aspira uma fundamentação para estudos futuros vislumbrando o desenvolvimento de uma ferramenta para a classificação da hidrofobicidade de forma objetiva e automática.

**Palavras-chave:** Hidrofobicidade, isoladores, processamento digital de imagens, revestimento polimérico, STRI.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fotos de isoladores para linhas de transmissão de energia: (a) isolador de vidro; (b) isolador de porcelana (c) isolador de compósito. ....	14
Figura 2. Exemplos típicos de superfícies com HC 1-6 exposto no guia STRI. ....	19
Figura 3. Etapas de um sistema de PDI e ADI. ....	20
Figura 4. Representação de uma imagem digital bidimensional. ....	22
Figura 5. Isolador de vidro revestido por material polimérico. ....	26
Figura 6. Arranjo do ensaio(a) sem iluminação e (b) com iluminação. ....	27
Figura 7. Frasco de pulverização contendo água destilada e corante. ....	28
Figura 8. Classificação HC1 (a) sem corante e (b) com corante. ....	29
Figura 9. Fluxograma das rotinas do algoritmo. ....	30
Figura 10. Fluxograma do processamento de imagens e extração de parâmetros para o caso 1. ....	33
Figura 11. Processamento do caso 2: (a) imagem original; (b) imagem final. ....	34
Figura 12. Gráfico de distribuição percentual da área analisada no caso 2. ....	34
Figura 13. Processamento do caso 3: (a) imagem original; (b) imagem final. ....	35
Figura 14. Gráfico de distribuição percentual da área analisada no caso 3. ....	35
Figura 15. Processamento do caso 4: (a) imagem original; (b) imagem final. ....	36
Figura 16. Gráfico de distribuição percentual da área analisada no caso 4. ....	36
Figura 17. Processamento caso 5: (a) imagem original; (b) imagem final. ....	37
Figura 18. Gráfico de distribuição percentual da área analisada no caso 5. ....	37

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Objetivos.....	12
2	Fundamentação Teórica.....	13
2.1	Isoladores.....	13
2.2	Isoladores e Hidrofobicidade no Setor Elétrico.....	14
2.3	Hidrofobicidade.....	17
2.4	Classificação da Hidrofobicidade.....	17
2.4.1	Método de Pulverização.....	18
2.5	Processamento Digital de Imagens.....	20
2.5.1	Imagem Digital.....	21
2.5.2	Segmentação.....	23
2.5.2.1	Limiarização ( <i>Thresholding</i> ).....	24
2.5.2.2	Detecção de Bordas.....	24
2.5.2.3	Segmentação Orientada a Regiões.....	24
2.5.3	Filtros Morfológicos.....	25
3	Metodologia.....	26
3.1	Material.....	26
3.2	Ensaio de Hidrofobicidade.....	27
3.2.1	Arranjo.....	27
3.2.2	Método de pulverização.....	28
3.3	Procedimento computacional.....	29
3.3.1	Rotina de Limiarização.....	30
3.3.2	Rotina de Uniformização.....	30
3.3.3	Rotina de Binarização.....	31
3.3.4	Rotina de Rotulação e quantificação.....	31
4	Resultados.....	32
4.1	Casos de Estudo.....	32
5	Conclusão.....	39
	Referências.....	41

# 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas alguns pesquisadores têm dado atenção ao emprego de novos materiais para serem utilizados em isoladores elétricos de alta tensão. Alguns exemplos de materiais utilizados em isoladores elétricos são: porcelana, borracha de silicone, poliuretano, epóxi, mica e vidro (HACKAM, 1999). De maneira geral, os isolantes poliméricos têm sido empregados em diversas aplicações, em função do baixo custo de fabricação e fácil moldagem (THOMAZINI, 2009). Estes materiais, naturalmente apresentam grande repulsividade à água porque possuem baixa energia de superfície, devido a presença de grupos metil na superfície, ou seja, são naturalmente hidrofóbicos (ALTAFIM *et al.*, 2006).

Os materiais poliméricos também têm sido utilizados no isolamento elétrico de forma a proporcionar maior resistência ao surgimento das descargas disruptivas. Suas características hidrofóbicas evitam a formação de películas de água na superfície do isolador, fazendo com que a água permaneça em gotas separadas, umas das outras, por áreas secas (LIEBERMANN, 2002). Todavia, apresentam a desvantagem de serem facilmente suscetíveis ao envelhecimento causado pelas influências climáticas, a qual degrada sua superfície, reduzindo sua hidrofobicidade.

A hidrofobicidade pode ser determinada empregando o processamento digital de imagens (PDI) e tomando como referência o guia da STRI (*Sweden Transmission Research Institute*). Porém, este guia aborda a classificação de uma forma parcialmente subjetiva, não sendo observado um modelamento da propriedade.

Por processamento digital de imagem (PDI) entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar essa técnica é melhorar o aspecto visual de certas características estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996). A função primordial do PDI é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação.

Portanto, neste trabalho é apresentado um algoritmo utilizando processamento digital de imagem para a avaliação da hidrofobicidade, aplicado aos isoladores elétricos

de alta tensão, a fim de auxiliar a determinação da classificação dos níveis de hidrofobicidade referenciados no guia STRI. Atualmente esta avaliação é feita de forma subjetiva pelo operador.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver uma ferramenta baseada em processamento digital de imagens para auxiliar a classificação da hidrofobicidade de isoladores elétricos com superfície polimérica.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Avaliar a aplicabilidade da classificação da hidrofobicidade e do guia STRI;
- Extrair parâmetros a partir das imagens dos isoladores empregados nos ensaios em laboratório;
- Quantificar as regiões molhadas e elaborar a distribuição das porcentagens das áreas de interesse nas imagens dos isoladores ensaiados;
- Desenvolver habilidades de processamento digital de imagem na plataforma *Matlab*.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados fundamentos sobre temas necessários ao entendimento do trabalho proposto, tais como: isoladores elétricos; hidrofobicidade; método de pulverização; e conceitos fundamentais sobre ferramentas computacionais com ênfase em PDI, uma vez que, o cerne do algoritmo a ser desenvolvido habita no processamento digital de imagens.

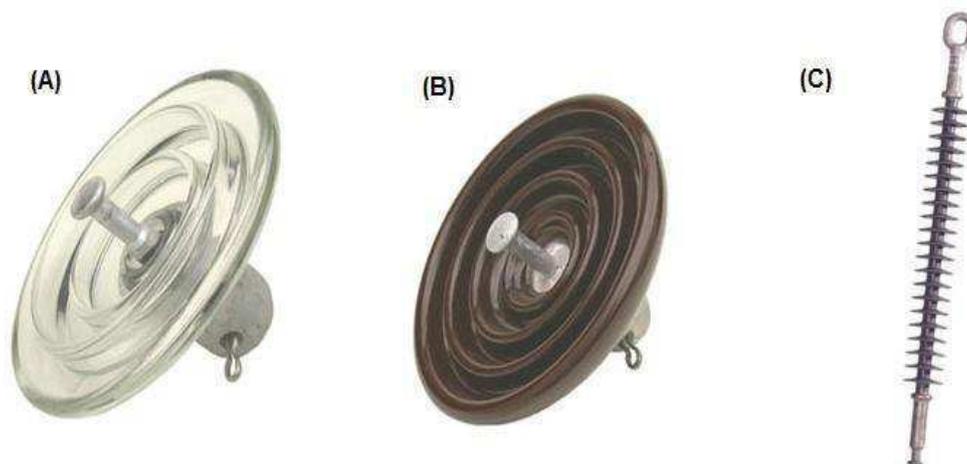
### 2.1 ISOLADORES

Os isoladores em geral são aplicados a sistemas elétricos com a função de manter a distância de isolamento entre duas estruturas com potenciais elétricos diferentes, minimizando a presença de corrente, além de prover a sustentação mecânica dos cabos entre duas estruturas (SARAIVA, 1988; BARROS *et al.*, 2013).

Um isolador elétrico ideal comporta-se como um condensador sem perdas, garantindo uma isolação perfeita. Entretanto, em termos práticos, através do isolador circula uma parcela de corrente resistiva que é responsável por perdas de potência ativa, o que é indesejável considerando a finalidade do equipamento (LIGEIRO, 2013).

Atualmente existem isoladores cerâmicos (porcelana ou vidro) e compósitos (ou poliméricos), que podem apresentar diferentes formatos e dimensões, de acordo com as tensões nominais das linhas de transmissão e distribuição nos quais são empregados. Os isoladores cerâmicos são empregados pelo setor elétrico há mais de um século, enquanto os compósitos há aproximadamente três décadas (MACKEV & SHAH, 1997). Na Figura 1 são mostradas fotos de isoladores de três tipos: vidro, porcelana e compósito.

Figura 1. Fotos de isoladores para linhas de transmissão de energia: (a) isolador de vidro; (b) isolador de porcelana (c) isolador de compósito.



Fonte: SILVA, 2009.

A porcelana e o vidro são materiais inorgânicos bastante utilizados ao longo dos anos e conhecidos por serem resistentes a degradação natural, inertes para a maioria dos compostos químicos e possuírem elevada resistência ao calor resultante de arcos elétricos durante serviço. No entanto, devido à elevada energia superficial, estes isoladores apresentam elevado nível de molhabilidade, onde a umidade tende a se espalhar ao longo da superfície ao invés de formar gotas isoladas, favorecendo o desenvolvimento de correntes de fuga. Além disso, são materiais densos e frágeis, necessitando de estruturas mais reforçadas para comportá-los e estão sujeitos ao vandalismo (KIM *et al.*, 1992; GORUR *et al.*, 1999).

Os isoladores a base de polímeros são constituídos de materiais orgânicos, principalmente hidrocarbonetos. Estes possuem melhores características hidrofóbicas, são leves, menores e os custos associados são reduzidos quando comparados aos de porcelana e de vidro. No entanto, estão mais propensos a deterioração decorrente do aquecimento ocasionado por descargas elétricas, reações químicas e intempéries, podendo resultar em mudanças nas características elétricas e mecânicas irreversíveis ao longo do tempo (GORUR *et al.*, 1999).

## 2.2 ISOLADORES E HIDROFOBICIDADE NO SETOR ELÉTRICO

Nos últimos anos houve uma crescente demanda no consumo de energia elétrica, sucedendo a ampliação do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica mundial. Em função do maior número de linhas de fornecimento de energia, a

possibilidade da interrupção no sistema elétrico se torna cada vez maior, o que faz com que as companhias de energia elétrica busquem medidas para reduzir estas inconveniências. Um dos fatores que provocam a interrupção no fornecimento de energia elétrica está relacionado às falhas no isolamento elétrico. O desempenho dos isoladores elétricos é de fundamental importância em termos de qualidade do serviço, segurança e confiabilidade do sistema (GODOY, 2007; NERI *et al.*, 2005).

Os isoladores cerâmicos existentes suprem de maneira satisfatória os requisitos de mercado, porém o mesmo peca nos quesitos elétrico e ambiental, uma vez que, ao serem colocadas em ambientes altamente poluídos, permitem que sais, sujeira e outros contaminantes sejam depositados em sua superfície (LIEBERMANN, 2002), permitindo que ocorram descargas disruptivas superficiais. Nestes isoladores, a água tende a se espalhar na superfície, podendo formar películas condutivas e, conseqüentemente, intensificar a corrente de fuga.

O aquecimento provocado pela circulação da corrente de fuga provoca a evaporação da umidade, ocasionando a formação de regiões conhecidas como bandas secas. Estas regiões acabam por originar campos elétricos intensos que favorecem o aumento da intensidade dos arcos de superfície. Em uma situação crítica, pode ocasionar o surgimento de descarga disruptiva fase-terra (*flashover*) (ALMIRALL, 2013; BRAINI, 2013). A ocorrência de descargas disruptivas em linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica pode acarretar problemas que danificam os isoladores e seu desempenho adequado, como: a degradação do esmalte dos isoladores de porcelana, interferências eletromagnéticas em equipamentos que utilizem radiofrequência, assim como interrupções na transmissão de energia devido à ruptura dos isoladores em casos extremos (CORREIA, 2007).

Com o passar do tempo algumas soluções vêm sendo adotadas para minimizar o problema das descargas disruptivas, sendo a mais comum à inspeção e lavagem periódica dos isoladores para retirada dos depósitos de poluição de sua superfície. Além deste método, estudos sobre revestimentos superficiais, *design* das peças, composições química dos isoladores e diferentes geometrias disponíveis têm sido realizados por diversas empresas no intuito de avaliar e melhorar o desempenho dos isoladores (CORREIA, 2007).

Os materiais poliméricos também têm sido utilizados no isolamento elétrico de forma a proporcionar maior resistência ao surgimento das descargas disruptivas. Suas características hidrofóbicas evitam a formação de películas de água na superfície do

isolador, fazendo com que a água permaneça em gotas separadas, umas das outras, por áreas secas (LIEBERMANN, 2002). Todavia os materiais poliméricos apresentam a desvantagem de serem facilmente suscetíveis ao envelhecimento por irradiação UV, a qual degrada sua superfície, reduzindo sua hidrofobicidade.

A hidrofobicidade é definida como repulsão de um filme de água sobre uma superfície. Quando uma superfície hidrofóbica é molhada, a água tende a formar gotas discretas, não se espalhando pela superfície. Quando uma superfície hidrofílica é molhada, a água não é repelida por ela sendo formado um filme que a recobre. No caso de um dispositivo elétrico, deseja-se uma superfície hidrofóbica, para que a água não seja um caminho de baixa resistência elétrica que provoque a ocorrência de descargas disruptivas (JIZ, 2002).

A hidrofobicidade dos polímeros confere aos isoladores maiores níveis de suportabilidade elétrica. Assim podem ser produzidos dispositivos mais compactos e mais baratos, ao contrário de isolantes confeccionados com materiais hidrofílicos como vidro ou porcelana. Através do guia para classificação de hidrofobicidade (HC) do guia STRI, pode ser observada a diferença de 30% na tensão de *flashover* sob chuva e 60% sob névoa limpa em isoladores de mesma geometria, diferindo apenas no material polimérico de revestimento (THOMAZINI, 2009).

Os isoladores poliméricos, em especial os de borracha de silicone ou isoladores com revestimento de silicone, exibem um comportamento mais favorável frente às correntes de fuga com relação a isoladores cerâmicos (a menos que sua superfície seja convertida de hidrofóbica em hidrofílica). Esta característica superior surge da hidrofobicidade do silicone. A propriedade desse material em repelir a água, impede a formação de películas de água e de zonas contínuas de condução (DENG et al., 1995; LIEBERMANN, 2002; ZHU et al., 2005; SILVA et al., 2010; BEZERRA, 2014). Porém, os isoladores poliméricos mesmo apresentando um melhor desempenho em relação às correntes de fuga, se comparados aos isoladores cerâmicos, ainda não são solução definitiva para minimizar a ocorrência de *flashover*, sendo ainda motivo de pesquisas (OLIVEIRA, 2008).

A aplicação de revestimentos poliméricos, em especial os de borracha de silicone, aos isoladores cerâmicos tem se mostrado como uma alternativa bastante atraente por possuir um custo relativamente baixo e não necessitar manutenções frequentes. Além disso, características como hidrofobicidade são aperfeiçoadas,

melhorando o desempenho elétrico dos isoladores e minimizando correntes de fuga sob condições normais de operação (STASIAK, 2009).

## 2.3 HIDROFOBICIDADE

A hidrofobicidade é uma propriedade físico-química utilizada em diferentes áreas da química, medicina e farmacologia. É um indicador importante do transporte e permeabilidade através de membranas, interações com receptores biológicos e enzimas, toxicidade e potencial biológico (LYMAN, 1990).

Em isoladores elétricos, compósitos ou recobertos, é desejável um alto índice de hidrofobicidade nas suas superfícies para melhorar resultados de desempenho. Porém, esta propriedade pode ser alterada devido à exposição da superfície ao ambiente externo e às descargas elétricas (KIKUCHI, 1999).

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO DA HIDROFOBICIDADE

Segundo a norma internacional IEC 62073 TS Ed. 1.0 (guia para medida da molhabilidade da superfície de isoladores elétricos) existem três métodos para medição da hidrofobicidade, diferindo na precisão, simplicidade, tamanho da área de superfície e aplicabilidade, são descritos neste padrão e são como se segue:

- O método de ângulo de contato;
- O método da tensão superficial;
- O método de pulverização.

Os três métodos são adequados para medição da molhabilidade em laboratório. Em campo, há dificuldades de se utilizar o método de ângulo de contato, enquanto que, os métodos de tensão superficial e pulverização são os mais indicados.

Devido ao método de pulverização ser de grande facilidade, muitas pesquisas na área de hidrofobicidade em isoladores elétricos utilizam a classificação da STRI como referência em seus estudos. Esta classificação é feita em sete divisões (HC1-7), onde HC1 corresponde à completa hidrofobicidade, ou seja, a superfície não é molhada pela

água, e HC7 corresponde à completa hidrofiliçidade, ou seja, a superfície é totalmente molhada pela água.

#### 2.4.1 MÉTODO DE PULVERIZAÇÃO

O método de pulverização baseia-se na resposta de molhagem que uma superfície isolante irá proporcionar após exposição a uma fina névoa de água por um período curto, e então, a hidrofobicidade após a exposição à névoa é avaliada.

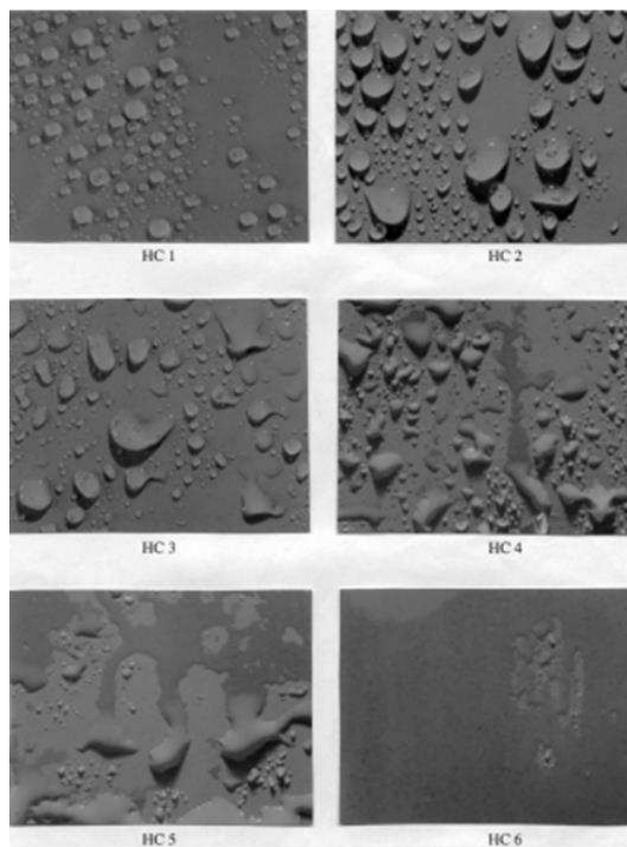
O único equipamento de teste necessário para a realização do ensaio da classificação da hidrofobicidade corresponde a um frasco de pulverização de líquidos (borrifador), o qual pode produzir uma fina névoa de água destilada.

A área de ensaio deve ser preferencialmente de 50 cm<sup>2</sup> a 100 cm<sup>2</sup>. Caso esta exigência não possa ser cumprida, deve-se ser descrito no relatório de medição. A superfície deve ser exposta à névoa por um período de 20 s a 30 s, sendo a névoa aplicada a uma distância de 25 cm ± 10 cm. A classificação da hidrofobicidade deve ser feita 10 s após a névoa ter sido dispersada.

A aparência da superfície do isolador após a exposição da névoa deve ser identificada como uma das sete classes de hidrofobicidade (HC1-7) contida no guia STRI. Na Figura 2 são mostradas imagens das classes de hidrofobicidade (HC1 a HC6). A classe HC7 não é disposta no guia STRI, mas corresponde a superfície completamente recoberta por uma película de água. Os critérios para os diferentes classes são dados no Quadro 1.

Segundo o guia STRI a metodologia fornece valores discretos para o estado de molhagem das superfícies dos isoladores, sendo de verificação rápida e fácil dos isoladores em campo, porém depende da avaliação subjetiva do operador.

Figura 2. Exemplos típicos de superfícies com HC 1-6 exposto no guia STRI.



Fonte: Guide STRI (1992).

Quadro 1. Critérios para Classificação de Hidrofobicidade (HC).

HC	Descrição
1	Formação de gotas discretas. $\theta_r \approx 80^\circ$ ou maior para a maioria das gotas.
2	Formação de gotas discretas. $50 < \theta_r < 80^\circ$ para a maioria das gotas.
3	Formação de gotas discretas. $20 < \theta_r < 50^\circ$ para a maioria das gotas. Normalmente não apresentam mais o formato circular.
4	Formação de gotas discretas e traços de água. Áreas completamente molhadas $< 2\text{cm}^2$ . Área total molhada $< 90\%$ da área testada.
5	Algumas áreas completamente molhadas $> 2\text{cm}^2$ , recobrindo $< 90\%$ da área testada.
6	Áreas molhadas recobrem $> 90\%$ da área testada, ou seja, pequenas áreas não molhadas são observadas.
7	Filme de água contínuo sobre toda a área testada.

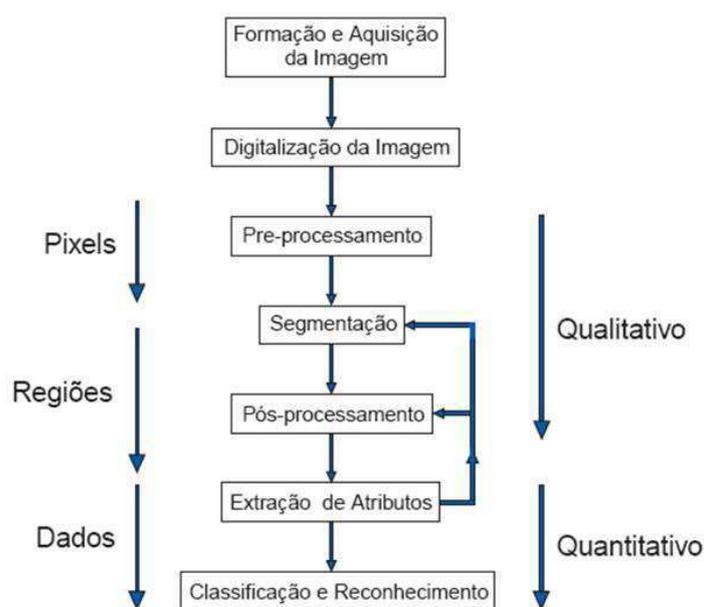
Fonte: Guide STRI (1992).

## 2.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O processamento de imagens tem como funções facilitar a visualização da imagem ou adequá-la para análises quantitativas através de correções de defeitos ou realces das regiões de interesse nas imagens; e a extração e tratamento de dados quantitativos, feitos pelo próprio computador. (GOMES, 2001). Conforme as diferentes funções citadas, o processamento de imagens pode ser entendido como o conjunto de duas técnicas, a saber: (a) Processamento Digital de Imagens (PDI), que consiste no preparo da imagem para posteriores análises, em que são realizadas operações matemáticas que alteram os valores dos pixels; e (b) Análise Digital de Imagens (ADI), que compreende a análise quantitativa do processo a partir da qual as regiões, partículas e objetos identificados na imagem são medidos.

Conforme Esquef e Albuquerque (2003), o processamento de imagens digitais passa por várias etapas, as quais diferem um pouco para cada grupo de estudo, essas etapas consistem em formação e aquisição da imagem, digitalização, pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de atributos e classificação e reconhecimento. Na Figura 3 é mostrado o fluxograma contendo todas as etapas e algumas características de cada fase do processamento.

Figura 3. Etapas de um sistema de PDI e ADI



Fonte: ESQUEF & ALBUQUERQUE, 2003.

As etapas de segmentação, pré-processamento e pós-processamento fazem parte do PDI, enquanto as etapas de extração de atributos e reconhecimento de padrões e

classificação fazem parte da ADI. Vale ressaltar que a sequência é adaptativa para o problema envolvido, ou seja, não há a obrigação de todas as etapas serem realizadas e, além disso, o fluxograma poderá retroceder a qualquer outra etapa, caso o resultado obtido não seja satisfatório.

A formação e aquisição da imagem é a etapa onde é feita sua captura, ou seja, a aquisição dos dados referentes à imagem. Posteriormente é realizada a digitalização, onde os dados da imagem serão convertidos em sinais elétricos inteligíveis ao computador.

No pré-processamento, são feitas alterações em atributos da imagem como contraste, e ainda podem ter alguns filtros, que usam máscaras específicas para alteração de valores dos *pixels* da matriz que representa a imagem digital.

A segmentação acontece quando são particionadas, ou separadas, partes ou objetos constituintes da imagem que terão alguma utilidade. Os objetos a serem destacados da imagem são grupos de *pixels* com determinadas características próprias.

No pós-processamento são corrigidos eventuais defeitos da segmentação. Para tal, utilizam-se normalmente filtros matemáticos chamados de morfológicos que realizam uma análise quantitativa dos *pixels* da imagem.

Para a etapa da extração de atributos, são extraídas as informações úteis da imagem processada. Em tal etapa, acontece a chamada rotulação ou labelização. Após a segmentação, obtém-se uma imagem onde as regiões correspondentes aos “objetos” estão separadas daquelas correspondentes ao “fundo” da imagem. Neste ponto do sistema de processamento, as regiões de interesse estão agrupadas por *pixels* que se tocam. O próximo passo é dar um rótulo (*label*) para cada um desses grupos de *pixels*. O processo de segmentação separa as regiões pertencentes às células daquelas pertencentes às regiões entre células (fundo), criando um delimitador entre elas. A etapa de labelização cria um rótulo que identifica cada uma dessas regiões para que os processos seguintes de tratamento da informação sejam concentrados em cada uma das regiões quer receberam um rótulo (SILVA, 2009).

### 2.5.1 IMAGEM DIGITAL

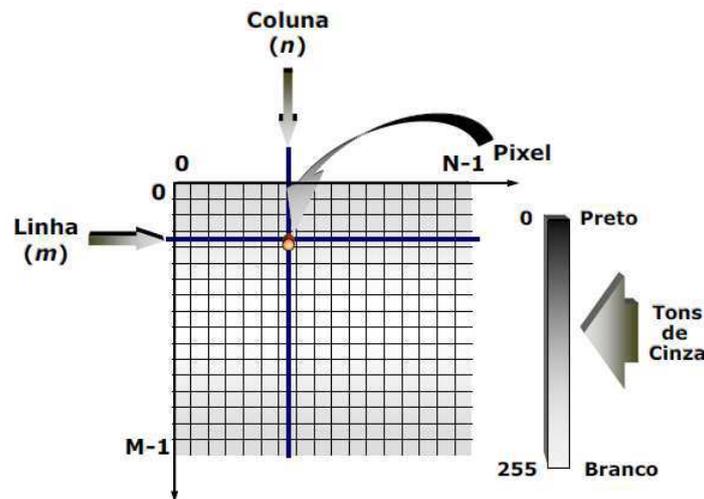
Uma imagem de um objeto real é, em princípio, contínua tanto na sua variação espacial como nos níveis de cinza. Visando o seu processamento computacional a imagem deve ser digitalizada, ou seja, discretizada tanto no espaço quanto na amplitude.

A digitalização das coordenadas espaciais é chamada amostragem da imagem e a digitalização da amplitude é chamada de quantização dos níveis de cinza (BRITO & CARVALHO, 1998).

Uma imagem monocromática é uma função bidimensional contínua  $f(x,y)$ , na qual  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais e o valor de  $f$  em qualquer ponto  $(x,y)$  é proporcional à intensidade luminosa (brilho ou nível de cinza) no ponto considerado (QUEIROZ & GOMES, 2001). Como os computadores não são capazes de processar imagens contínuas, mas apenas *arrays* de números digitais, é necessário representar imagens como arranjos bidimensionais de pontos.

Cada ponto na grade bidimensional que representa a imagem digital é denominado elemento de imagem ou *pixel*. Na Figura 4, apresenta-se a notação matricial usual para a localização de um *pixel* no arranjo de *pixels* de uma imagem bidimensional. O primeiro índice denota a posição da linha,  $m$ , na qual o *pixel* se encontra, enquanto o segundo,  $n$ , denota a posição da coluna. Observa-se o sentido de leitura (varredura) e a convenção usualmente adotada na representação espacial de uma imagem digital.

Figura 4. Representação de uma imagem digital bidimensional.



Fonte: QUEIROZ & GOMES, 2001.

A intensidade luminosa no ponto  $(x,y)$  pode ser decomposta em: ( $i$ ) componente de iluminação,  $i(x,y)$ , associada à quantidade de luz incidente sobre o ponto  $(x,y)$ ; e a componente de refletância,  $r(x,y)$ , associada à quantidade de luz refletida pelo ponto  $(x,y)$  (GONZALEZ, 2002). O produto de  $i(x, y)$  e  $r(x, y)$  resulta em:

$$f(x, y) = i(x, y) \bullet r(x, y). \quad (1)$$

Onde  $0 < i(x, y) < \infty$  e  $0 < r(x, y) < 1$ . Sendo que,  $i(x, y)$  depende das características da fonte de iluminação, enquanto  $r(x, y)$  dependente das características das superfícies dos objetos.

Em uma imagem digital colorida no sistema *RGB* (*Red, Green, Blue*), um *pixel* pode ser visto como um vetor cujas componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul de sua cor. A imagem colorida pode ser vista como a composição de três imagens monocromáticas, conforme (2).

$$f(x, y) = f_R(x, y) + f_G(x, y) + f_B(x, y) \quad (2)$$

### 2.5.2 SEGMENTAÇÃO

O processo de segmentação tem por objetivo particionar a imagem de modo que seja possível explicitar suas regiões de interesse, agrupando seus *pixels* de forma que eles se destaquem dos demais.

As dificuldades inerentes ao processo de segmentação automática de imagens existem e por isso deve-se considerar que as fronteiras ou bordas das regiões possam não ser muito nítidas e são muitas vezes irregulares e imprecisas. Na segmentação em larga escala, especialmente por processos automáticos, existe uma grande necessidade de controlar o ambiente de captura. Ambientes bem controlados, com grandes contrastes, tendem a facilitar a interpretação de imagens. Ambientes externos, em geral, apresentam mais dificuldades, pois estão sujeitos a variação de iluminação. Além disso, a existência de sombras ou movimento muda os aspectos da região e tende a dar uma falsa impressão acerca da região a ser segmentada (MELO, 2005).

Existem muitas maneiras de segmentar uma imagem, sendo que cada técnica é escolhida de acordo com o problema a ser resolvido. A segmentação pode ser baseada nas discontinuidades ou nas similaridades dos diferentes aspectos da imagem, em limites ou bordas e em áreas ou regiões.

### 2.5.2.1 LIMIAZIZAÇÃO (*THRESHOLDING*)

A limiarização é uma abordagem para a segmentação fundamentada na análise da similaridade de níveis de cinza, de modo a extrair objetos de interesse mediante a definição de um limiar  $T$  que separa os agrupamentos de níveis de cinza da imagem.

Essa operação é interessante quando a imagem apresenta duas classes: o fundo e o objeto. Se a intensidade dos valores dos *pixels* do objeto encontra-se em um intervalo diferente do fundo, uma imagem binária pode ser obtida por meio de uma operação de limiarização (*thresholding*) que agrupa os pontos do primeiro intervalo com o valor 1 e os demais com valor 0, assim, os *pixels* que possuem valores maiores que um determinado tom é considerado objeto e os *pixels* que possuem valores menores que este tom é considerado fundo (AURA CONCI & LETA, 2008)

Há diversas variantes de limiarização. A mais simples delas é a técnica do particionamento do histograma da imagem por um limiar único  $T$ . A segmentação se dá varrendo-se a imagem, *pixel a pixel*, e rotulando-se cada *pixel* como sendo do objeto ou do fundo, em função da relação entre o valor do *pixel* e o valor do limiar. O sucesso deste método depende inteiramente de quão bem definidas estão os valores de intensidade dos *pixels* no histograma da imagem a ser segmentada (QUEIROZ & GOMES, 2001).

### 2.5.2.2 DETECÇÃO DE BORDAS

A detecção de bordas possibilita a análise de discontinuidades nos níveis de cinza de uma imagem. As bordas na imagem de interesse caracterizam os contornos dos objetos nela presentes, sendo bastante úteis para a segmentação e identificação de objetos na cena. As bordas podem ser entendidas como as posições dos *pixels* vizinhos com mudanças bruscas de níveis de cinza.

### 2.5.2.3 SEGMENTAÇÃO ORIENTADA A REGIÕES

A segmentação orientada a regiões se fundamenta na similaridade dos níveis de cinza da imagem. O crescimento de regiões é um procedimento que agrupa *pixels* ou sub-regiões de uma imagem em regiões maiores. A variante mais simples da segmentação orientada a regiões é a agregação de *pixels*, que se fundamenta na definição de uma semente, conjunto de pontos similares em valor de cinza, a partir do

qual crescem as regiões anexando a cada ponto semente os *pixels* que apresentem propriedades similares (nível de cinza, textura ou cor).

### 2.5.3 FILTROS MORFOLÓGICOS

O modelo morfológico para a análise de imagens fundamenta-se na extração de informações a partir de transformações morfológicas, nos conceitos da álgebra booleana e na teoria dos conjuntos e reticulados. O princípio de morfologia digital se embasa no fato de que a imagem é um conjunto de pontos elementares (*pixels* ou *voxels*) que formam subconjuntos elementares bidimensionais ou tridimensionais. Os subconjuntos e a inter-relação entre eles formam estruturalmente a morfologia da imagem (QUEIROZ & GOMES, 2001).

A técnica da morfologia matemática dispõe de duas operações básicas: a erosão e a dilatação. A operação de erosão permite separar objetos que se tocam, enquanto a operação de dilatação permite preencher furos no interior de um objeto ou mesmo ligá-los. Como as duas operações são interativas, é possível realizar uma sequência de  $N$  operações de erosão e dilatação sucessivas ou mesmo alternadas. A operação de abertura, uma erosão seguida de uma dilatação, permite eliminar pequenas partículas na imagem e suavizar o contorno dos objetos. Inversamente, a operação de fechamento, uma dilatação seguida de uma erosão, permite fechar canais estreitos que separam objetos, ou suprimir os pequenos furos no seu interior.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho é apresentada nesta seção, enfatizando-se os materiais empregados e a montagem experimental, a elaboração de algoritmos compondo o procedimento computacional e a parametrização adotada para cada característica avaliada no contexto de hidrofobicidade.

#### 3.1 MATERIAL

Com o intuito de determinar os níveis de hidrofobicidade classificado no guia STRI foram utilizados isoladores de vidro temperado - ANSI classe 52-3, tipo suspensão, fabricados pela Sediver, revestidos de borracha de silicone acrescida de microcargas de alumina tri-hidratada Hydrogard-GP e uma nova carga extraída de uma planta típica da região Nordeste do Brasil.

Na Figura 5 pode ser visualizada a imagem de um dos isoladores de vidro revestidos utilizados neste trabalho.

Figura 5. Isolador de vidro revestido por material polimérico.



Fonte: NÓBREGA, 2016.

## 3.2 ENSAIO DE HIDROFOBICIDADE

### 3.2.1 ARRANJO

O arranjo é composto basicamente por um sistema óptico, o isolador e um sistema de iluminação. O sistema óptico é composto por uma câmera digital com o *zoom* ampliado de 10 vezes, com posicionamento fixo para todas as imagens, como pode ser visto na Figura 6(a). O sistema de iluminação é constituído por três lâmpadas fluorescente de 20 W posicionadas a aproximadamente 120° uma da outra, no mesmo plano horizontal, como observado na Figura 6(b), tendo como objetivo proporcionar melhor contraste das gotas e eliminação de sombras.

Figura 6. Arranjo do ensaio(a) sem iluminação e (b) com iluminação.



(a)



(b)

Fonte: Própria autora.

A intensidade luminosa do ambiente foi ajustada para ser menor que a intensidade da lâmpada, possibilitando que a gota de água depositada na superfície não reflita luz difusa, e, portanto, não comprometa a qualidade da medição.

### 3.2.2 MÉTODO DE PULVERIZAÇÃO

O método de pulverização baseia-se na resposta de molhagem da superfície do isolador após exposição a uma névoa fina de água por um curto período. Com o objetivo de se obter o nível HC1 até o nível HC6, o isolador foi submetido ao desgaste por ensaio de névoa salina e imersão em água.

O equipamento necessário para a realização do ensaio consiste em um dispositivo que pode produzir uma neblina fina, tal como uma garrafa de pulverização comum. O frasco de pulverização continha água destilada acrescido de corante artificial alimentício, da marca MIX, como pode ser visto na Figura 7.

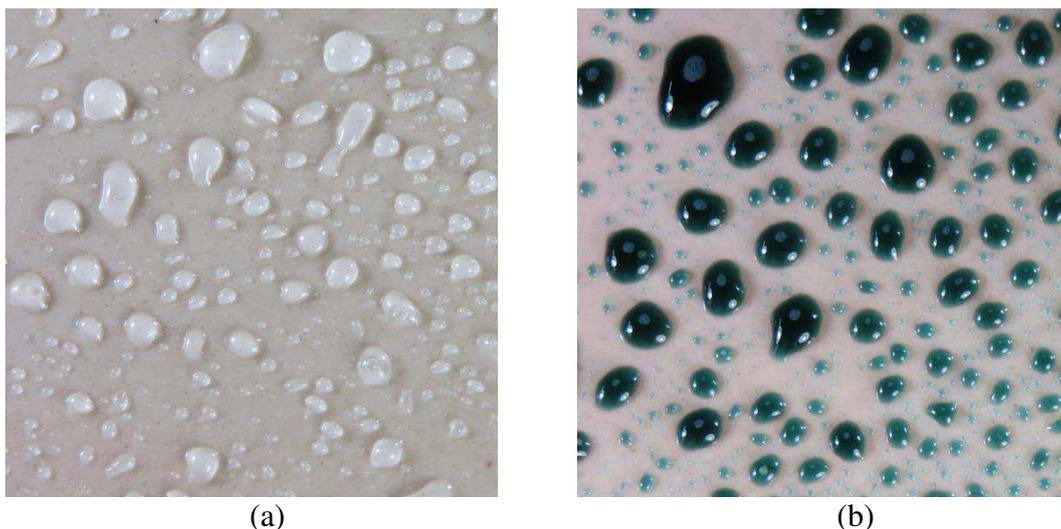
Figura 7. Frasco de pulverização contendo água destilada e corante.



Fonte: Própria autora.

O uso do corante visa proporcionar uma imagem final com tonalidades e contrastes bem definidos, não influenciando na classificação dos níveis de hidrofobicidade definido no guia STRI, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8. Classificação HC1 (a) sem corante e (b) com corante.



Fonte: Própria autora.

A área da superfície do isolador empregado nos diferentes ensaios foi uma região quadrada padronizada em 16 cm<sup>2</sup>, devido às delimitações físicas do isolador. O spray foi aplicado duas vezes por segundo a uma distância aproximada de 25±10 cm. A aquisição das imagens foi realizada após 10 s do término da pulverização.

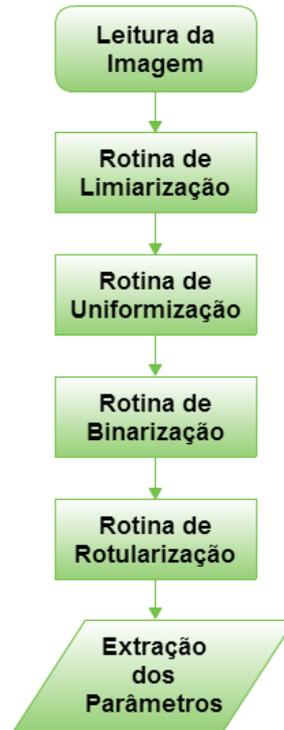
Após análise subjetiva das imagens padrões contidas no guia STRI, alguns parâmetros foram estabelecidos para fins da classificação HC:

- a) A quantidade de gotículas;
- b) A área individual das gotículas;
- c) Percentual de área molhada em relação à área ensaiada.

### 3.3 PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

Com o objetivo de realizar o processamento das informações contidas nas imagens, no procedimento computacional foi desenvolvido o Algoritmo de Classificação de Hidrofobicidade (ACH). O algoritmo é composto por rotinas com fins específicos para o tratamento e segmentação das imagens matriciais, do qual, ao término, são obtidas imagens aptas a serem parametrizadas, objetivando agregar análises e conclusões. A estrutura do ACH pode ser vista na Figura 9 e o detalhamento de cada rotina é mostrado a seguir.

Figura 9. Fluxograma das rotinas do algoritmo.



Fonte: Própria autora.

### 3.3.1 ROTINA DE LIMIARIZAÇÃO

A Rotina de Limiarização (RL) baseia-se na limiarização multiespectral. Nesta rotina, aplica-se um limiar  $T$  para cada banda ou componente de cor da imagem ( $RGB$ ). O limiar é definido por meio do histograma da superfície do isolador, áreas da sombra e das regiões molhadas. *Pixels* identificados na área da superfície do isolador e em áreas de sombra, ambas, onde não há regiões molhadas, são representados na cor vermelha. *Pixels* identificados como reflexo de luminosidade das regiões molhadas e que possuam proximidade com áreas da superfície do isolador e áreas de sombra são representados na cor amarela. Os demais *pixels* mantêm a sua cor original

### 3.3.2 ROTINA DE UNIFORMIZAÇÃO

A rotina de uniformização consiste em transformar a imagem limiarizada em uma imagem com duas representações de cores, diferenciando o isolador e as sombras das regiões de interesse, as regiões molhadas (gotas). Todos os *pixels* que pertencem às regiões de interesse passam a ser pretos, identificando, portanto, as regiões molhadas.

### 3.3.3 ROTINA DE BINARIZAÇÃO

A Rotina de Binarização (RB) consiste em transformar a imagem colorida em preta e branca e posteriormente eliminar os ruídos presentes na imagem. A imagem binarizada proporciona o uso dos filtros morfológicos, que atuam na eliminação dos ruídos.

Almejando a eliminação dos ruídos aleatórios aplicou-se o filtro mediano. Este filtro gera uma nova imagem, realizando a média do conjunto de *pixels* no ambiente envolvente (vizinhos) correspondente ao *pixel* da imagem original.

Mesmo com a aplicação do filtro mediano existem regiões onde se faz necessário um preenchimento, devido à ocorrência de “buracos”. Um buraco é um conjunto de *pixels* de fundo que não pode ser alcançado mediante o preenchimento a partir do contorno da imagem; para tanto se usa um filtro baseado em reconstrução morfológica, um filtro de preenchimento.

### 3.3.4 ROTINA DE ROTULAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO

A rotulação é utilizada na segmentação para identificação e contagem de regiões ou objetos presentes em uma imagem. A cada região ou componente é atribuído um valor único, denominado rótulo (*label*). Para tanto deve ser realizada uma varredura da imagem buscando *pixels* de mesma cor e que sejam vizinhos, compondo uma área de bolha.

Para determinação das regiões foi utilizado um padrão de conectividade 8, o qual estabelece que se os atributos de dois *pixels*  $p$  e  $q$  são iguais e se estão no conjunto de vizinhança de 8 *pixels*, os *pixels*  $p$  e  $q$  estão conectados. Após varrer toda a imagem é gerada uma nova imagem rotulada.

Ao término do processo de rotulação, a imagem está apta para a extração das informações de interesse deste trabalho.

## 4 RESULTADOS

Com base na discussão acerca da classificação da hidrofobicidade e com base no algoritmo desenvolvido é possível analisar o comportamento de variáveis que possam definir o nível de hidrofobicidade. Analisando o guia STRI juntamente com uma inspeção visual foi possível classificar alguns casos para estudo, abordando uma análise quantitativa.

Entre os casos obtidos no ensaio de pulverização, foram separados 20 casos para análise via processamento digital de imagem. Dentre os casos são apresentados cinco resultados correspondente à classificação HC1 a HC5. A classificação HC6 não foi encontrada nos ensaios de pulverização com o isolador de vidro revestido, vistos os parâmetros de classificação do Quadro 1.

O processamento digital de imagem deste trabalho consistiu na operação de limiarização (segmentação), cujo objetivo principal foi salientar as regiões molhadas, possibilitando a identificação de todos os pixels que constituem essa fase. Em seguida, utilizou-se a rotina de uniformização, de modo a ter uma representação com dois padrões de cores. Devido alguns defeitos/ruídos presentes na imagem uniformizada foi utilizada operação de filtragem no domínio espacial, por meio do filtro mediano e do filtro de preenchimento. Por último, aplicou-se a rotina de rotulação, a qual permitiu identificar e rotular as regiões molhadas permitindo a extração dos parâmetros de interesse, dentre os quais: número das regiões molhadas; área individual das regiões; tamanho médio e máximo das regiões; área total ocupada pelas regiões.

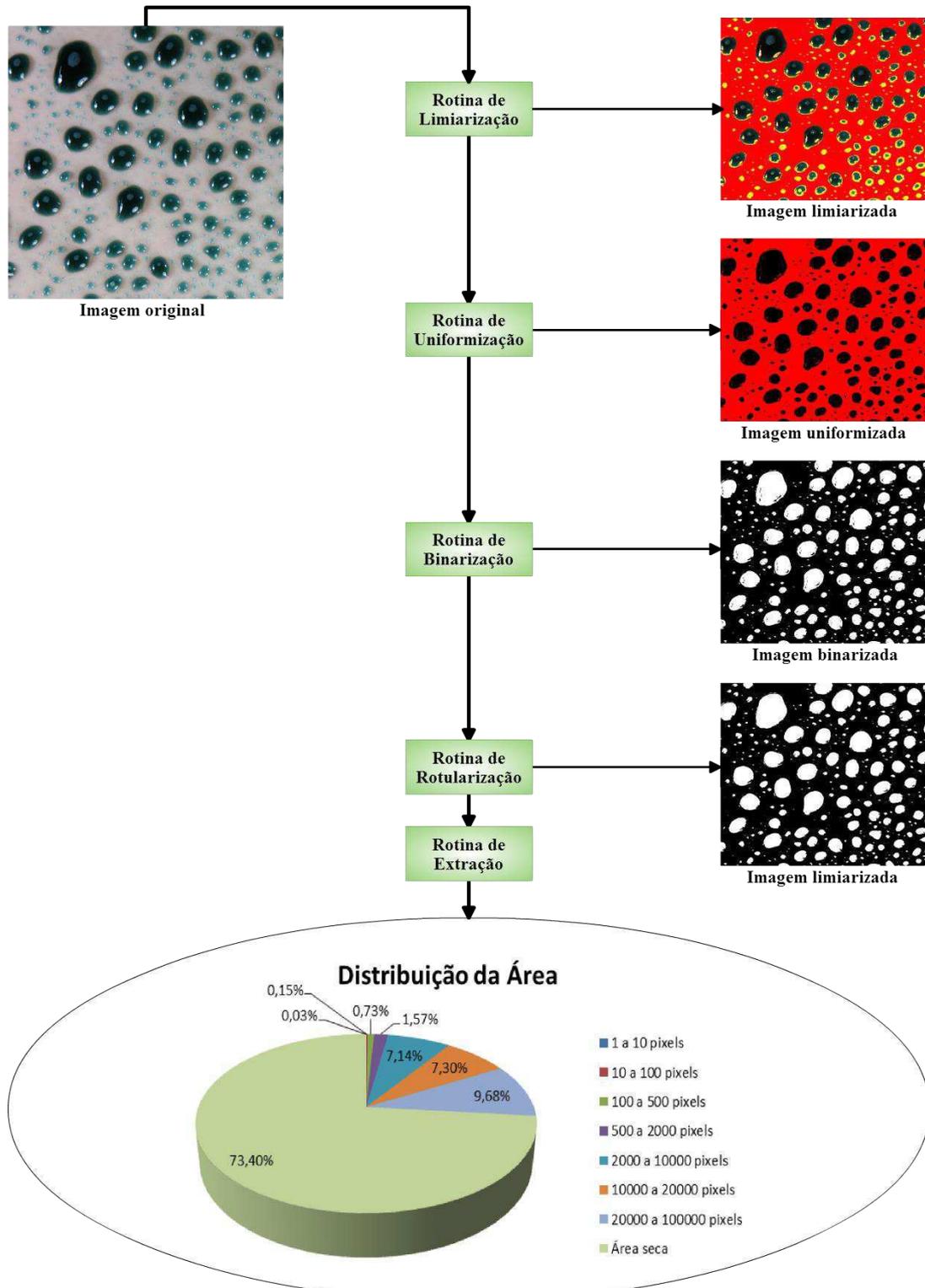
Na seção subsequente, são apresentados os resultados e análises dos casos de estudo, considerando os parâmetros elencados neste trabalho.

### 4.1 CASOS DE ESTUDO

Para efeito de exemplificação, na Figura 10 podem ser vistas as etapas do processamento realizado pelo algoritmo desenvolvido aplicado ao caso de estudo 1. Este caso de estudo apresentou 788 regiões molhadas, o que corresponde a uma área ocupada de 26,6% da área total ensaiada, além de possuir uma área máxima individual de

0,35 cm<sup>2</sup>. Do total de regiões, 68% constituem-se de gotículas de 1 a 100 *pixels*. O caso 1 foi classificado de forma subjetiva como HC1.

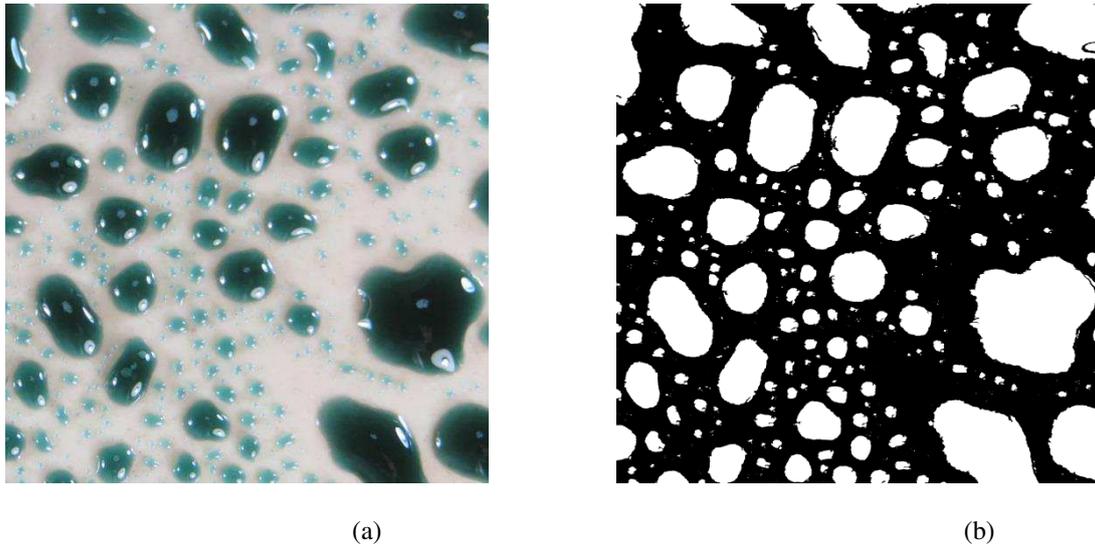
Figura 10. Fluxograma do processamento de imagens e extração de parâmetros para o caso 1.



Fonte: Própria autora.

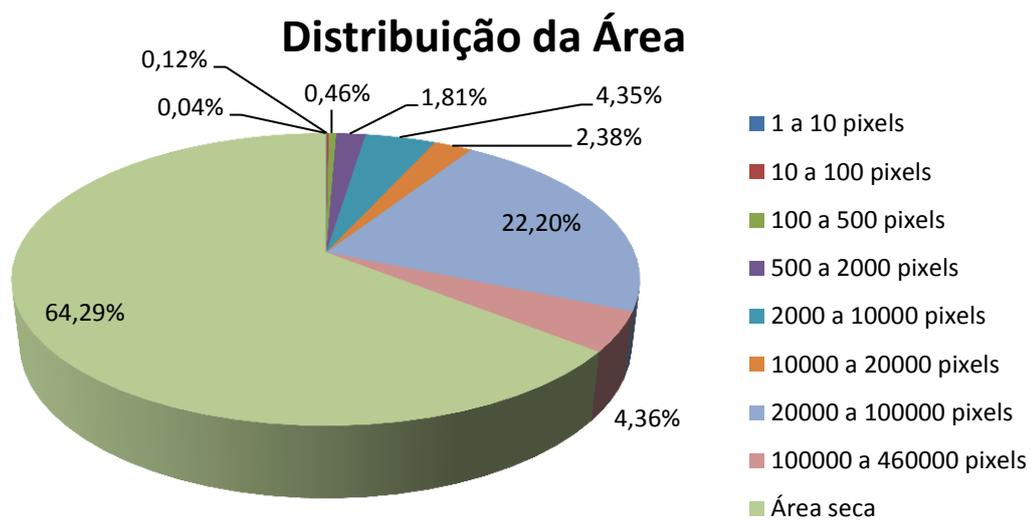
O caso 2 apresentou 693 regiões molhadas, referente a 37,4% da área total ensaiada, e uma área máxima individual de 0,73 cm<sup>2</sup>. 73% das regiões identificadas como gotículas constituem-se de 1 a 100 *pixels*. O caso 2 foi classificado de forma subjetiva como HC2. Na Figura 11 e Figura 12 podem ser vistas a imagem processada referente ao caso 2 e o gráfico de distribuição da área estudada, correspondentemente.

Figura 11. Processamento do caso 2: (a) imagem original; (b) imagem final.



Fonte: Própria autora.

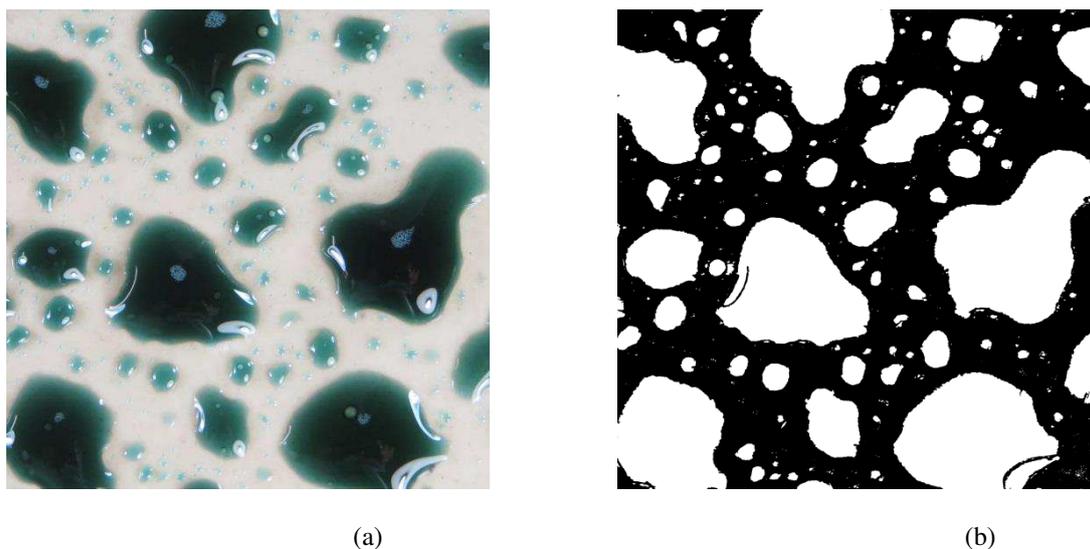
Figura 12. Gráfico de distribuição percentual da área analisada no caso 2.



Fonte: Própria autora.

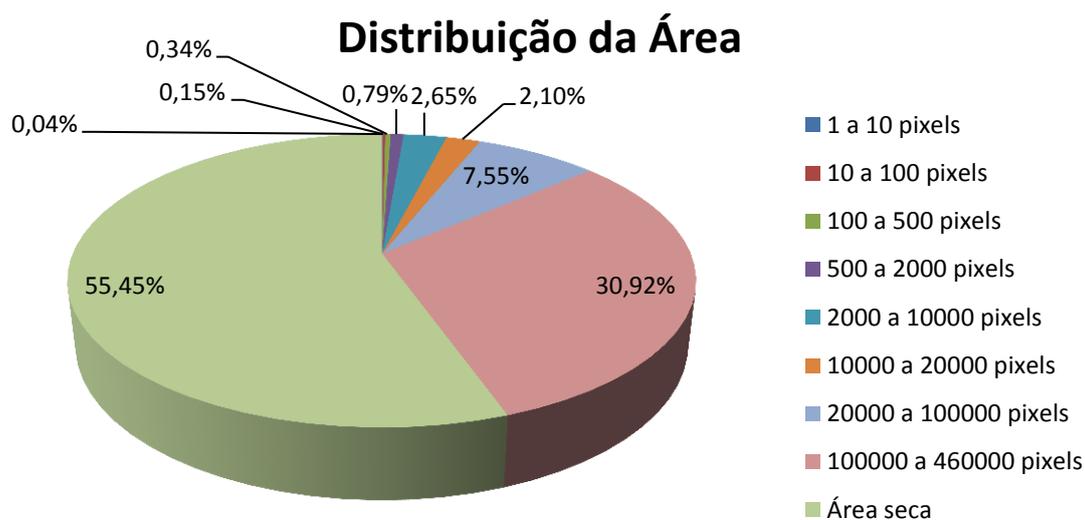
O caso 3 apresentou 597 regiões molhadas, equivalente a 44,55% da área total ensaiada, e uma área máxima individual de 1,20 cm<sup>2</sup>. Das regiões identificadas, 80% são constituídas de gotículas de 1 a 100 *pixels*. O caso 3 foi classificado de forma subjetiva como HC3. Na Figura 13 e na Figura 14 podem ser vistas as imagens processada referente ao caso 3 e o gráfico de distribuição da área estudada, respectivamente.

Figura 13. Processamento do caso 3: (a) imagem original; (b) imagem final.



Fonte: Própria autora.

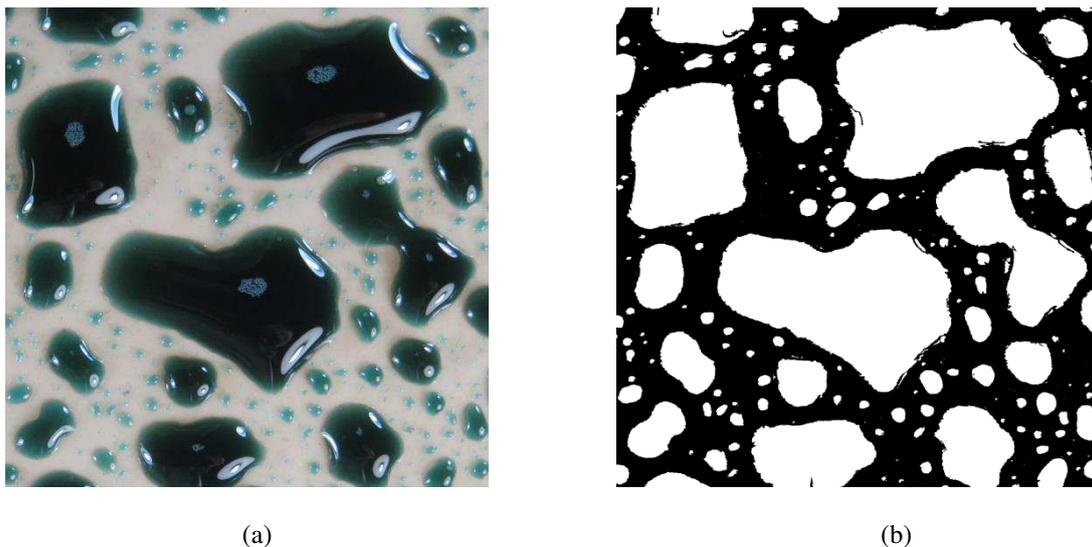
Figura 14. Gráfico de distribuição percentual da área analisada no caso 3.



Fonte: Própria autora.

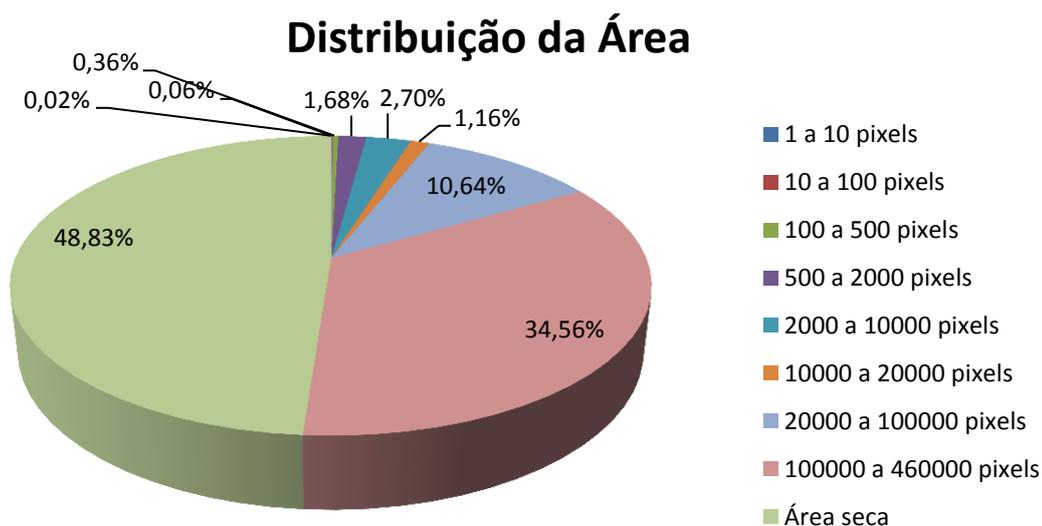
O caso 4 apresentou 537 regiões molhadas, o que corresponde a 51,2% da área total ensaiada, e uma área máxima individual de 1,74 cm<sup>2</sup>. 65% do total de regiões molhadas identificadas são constituídas de 1 a 100 *pixels*. O caso 4 foi classificado de forma subjetiva como HC4. Na Figura 15 e na Figura 16 podem ser vistas, respectivamente, a imagem processada e o gráfico de distribuição da área estudada, referentes ao caso 4.

Figura 15. Processamento do caso 4: (a) imagem original; (b) imagem final.



Fonte: Própria autora.

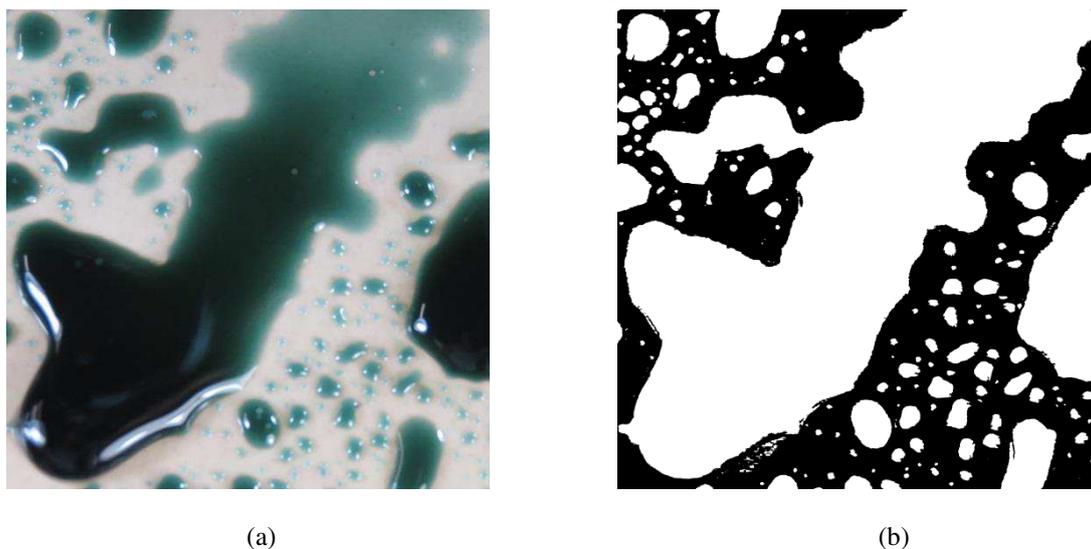
Figura 16. Gráfico de distribuição percentual da área analisada no caso 4.



Fonte: Própria autora.

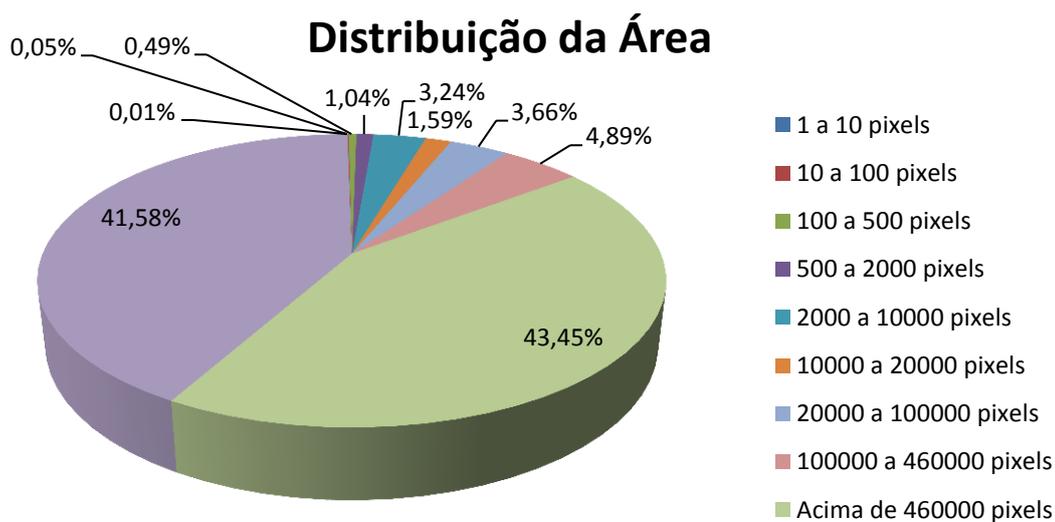
O caso 5 apresentou 347 regiões molhadas, o que corresponde a 51,2% da área total ensaiada, e uma área máxima individual de 6,95 cm<sup>2</sup>. Do total de áreas molhadas identificadas, 59% são constituídas de 1 a 100 *pixels*. O caso 5 foi classificado de forma subjetiva como HC5. Na Figura 17 e na Figura 18 podem ser vistas, correspondentemente, a imagem processada e o gráfico de distribuição da área estudada, referentes ao caso 5.

Figura 17. Processamento caso 5: (a) imagem original; (b) imagem final.



Fonte: Própria autora.

Figura 18. Gráfico de distribuição percentual da área analisada no caso 5.



Fonte: Própria autora.

De forma sumarizada, pode ser visto na Tabela 1 os valores dos parâmetros extraídos por meio do processamento realizado nos 5 casos de estudo, permitindo uma análise comparativa dos níveis de hidrofobicidade, HC1 a HC5, avaliados de forma subjetiva.

*Tabela 1. Análise quantitativa referente a HC1 a HC5*

<b>Classe HC</b>	<b>Área total (pixels)</b>	<b>Área total (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Máxima região individual (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual (%)</b>	<b>Número de regiões</b>
1	960269	4,26	0,35	26,6	788
2	1347911	5,97	0,73	37,4	693
3	1608304	7,13	1,20	44,55	596
4	1848292	8,19	1,74	51,2	537
5	2108955	9,35	6,95	58,42	347

Fonte: Própria autora.

Observa-se que os parâmetros área total, máxima região molhada individual e percentual de todas as regiões molhadas comportam-se de forma crescente, do HC1 ao HC5. Em contrapartida, o número de regiões tende a se comportar de forma decrescente em relação ao HC.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido e aplicado com êxito o algoritmo em processamento digital de imagens para identificação de regiões molhadas e áreas secas em isoladores elétricos, auxiliando a classificação da hidrofobicidade. Como material foram utilizados isoladores de vidro revestidos por material polimérico e realizados ensaios, compondo 5 casos de estudo. Os resultados computacionais obtidos evidenciam que:

- O número total de regiões molhadas (gotas) é diretamente proporcional a hidrofobicidade do material, ou seja, HC1 apresenta um número total de gotas superior ao HC7;
- O tamanho máximo das regiões molhadas (gotas) é inversamente proporcional a hidrofobicidade do material;
- O percentual de superfície molhada é inversamente proporcional a hidrofobicidade do material, materiais com características hidrofílicas apresentam um maior percentual de área superficial molhada;
- O ambiente computacional utilizado para desenvolvimento da ferramenta de auxílio na classificação da hidrofobicidade em isoladores mostrou-se propício à pesquisa, tanto pelo caráter morfológico, como pelo ordenamento do processamento dos dados;
- O algoritmo desenvolvido mostrou-se eficiente para tratar imagens com contrastes diferentes, presença de borramentos e ruídos.

Os estudos desenvolvidos contribuem para o aprimoramento de ferramentas e modelos utilizados na classificação da hidrofobicidade, evitando ou eliminando a subjetividade, além de ter como consequência a agilidade no diagnóstico da situação operacional dos isoladores elétricos em campo.

Sendo assim, a extração de parâmetros, por meio do processamento digital de imagens, permite traçar um norte do comportamento de classificação dos diferentes níveis de hidrofobicidade, vislumbrando o desenvolvimento de ferramentas de diagnóstico totalmente automáticas. Portanto, como estudos futuros, pretende-se explorar os limiares dos parâmetros levantados neste trabalho, que possibilitem

determinar os limiares de classificação, caracterizados pelo término de uma classe e início de outra.

## REFERÊNCIAS

ALMIRALL, I. P. **Emprego Conjunto de Cargas Micrométricas y Nanométricas para Melhorar el Desempeño de la Silicona Vulcanizada a Temperatura Ambiente Empleada para Recubrir el Aislamiento Externo**. Tese de Doutorado. Instituto Superior Politécnico José Antônio Echeverría, 2013.

ALTAFIM, R. A. C.; SILVA, J. F. R.; GONZAGA, D. P.; RIBEIRO, C.; GODOY, J.; BASSO, H. C.; BUENO, B.; CALIL-JR, C.; SARTORI, J. C.; ALTAFIM, R. A. P.; SILVEIRA, A.; **Wood cross-arms coated with polyurethane resin – tests and numerical simulations**, 2006.

AURA CONCI, E. A.; LETA, F. R. **Computação gráfica**. Elsevier, 2 edition. 2008.

BARROS, R. M. R.; FERREIRA, T. V.; COSTA, E. G. **Determinação de posicionamento ótimo de anel equalizador em Isoladores Poliméricos**. Ingeniería Energética, V. XXXIV, N. 2, 2013, p. 89-94.

BEZERRA, D. C. **Revestimento de Isoladores Elétricos Utilizando Borracha de Silicone/ Alumina Trihidratada/ Nanosílica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

BRAINI, S. **Coatings for outdoor high voltage insulators**. 2013. Tese de Doutorado. Cardiff University.

BRITO, S. F.; CARVALHO, J. M. **Sistemas de Processamento Digital de Imagens para Fins Didáticos/Ciêntíficos: Estudo, Seleção e Implementação de Algoritmos de Segmentação**. Relatório de iniciação científica, 1998.

CÂMARA G.; CÂMARA R. C. M.; SOUZA U. M.; FREITAS J. G. **Spring: Integrating remote sensing and GIS by object oriented data modelling**, Computers & Graphics, 1996, p. 395-403.

CORREIA, R. U.; PRETTE, A. L. G.; ALARCON, O. E.; FREDEL, M. C. **Esmaltes semicondutores a base de SO<sub>2</sub> para uso em isoladores elétricos em alta tensão**. Citenel, 2007.

DENG, H.; HACKAM, R.; CHERNEY, E.A. **Effects of addition of silicone fluid on electrical performance of rtv silicone rubber coatings**. IEEE 5th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, 1995.

ESQUEF, I. A.; ALBUQUERQUE, M. P. de **Processamento digital de imagens**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, 2003, p. 12.

GODOY, J. **Estudo de um novo compósito madeira-resina poliuretana para o desenvolvimento de um isolador híbrido**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2007.

GORUR, R. S.; CHERNEY, E. A.; BURNHAM, J. T. **Outdoor insulators**. Phoenix: R. S. Gorur, 1999. p. 262.

GONZALEZ, R. WOODS, P. **Digital Image Processing**. Prentice Hall, 2nd ed. 2002.

GUIDE, S. T. R. I. 92/1. **Hydrophobicity classification guide**, 1992.

HACKAM, R. **Outdoor HV composite polymeric insulators**. Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions, v. 6, n.5, p. 557-585, 1999.

IEC, T. S. 62073. **Guidance on the measurement of wettability of insulator surfaces**, v. 1, p. 2003-06, 2003.

JIZ, Z.; GUAN, Z.; **The discharge along hydrophobic and hydrophilic surfaces**. International Symposium on Electrical Insulation. IEEE, 2002.

KIKUCHI, T.; NISHIMURA, S.; NAGAO, M.; IZUMI, K.; KUBOTA, Y.; SAKATA, M. Survey on the Use on Non-Ceramic Composite Insulator, **Trans. On Dielectric and Electric Insulation**, v. 6, n. 5, 1999, p. 548-556.

KIM, S.H.; CHERNEY, E.A. e HACKAM, R. **Effects of filler level in RTV silicone rubber coatings used in HV insulators**. IEEE Transactions on Electrical Insulation, v. 27, n. 6, 1992, p.1065 – 1072.

LIEBERMANN, J. **Electric behavior of porcelain insulators in polluted environments**. American Ceramic Society Bulletin, v. 81, n. 6, 2002.

LIEBERMANN, J. **New effective ways toward solving the problem of contamination of porcelain insulators**. Refractories and Industrial Ceramics, v.43, n.1-2, p.55-64. 2002.

LIGEIRO, I. S. **Análise de Condições de Operação de Equipamentos Elétricos de Alta Tensão em uma Subestação Abaixadora Através de Técnicas Preditivas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

LYMAN, W. J.; ROSENBLATT D. H.; REEHL, W. J., **Handbook of Chemical Property Estimation: Environmental Behavior of Organic Compounds**, American Chemical Society, Washington: Mcgraw-Hill, 1990, p. 960.

MACKEV, J.; SHAH, M.; **Polymer outdoor insulating materials part I: comparison of porcelain and polymer electrical insulation**. IEEE Electrical Insulation Magazine, v. 13, n. 3, 1997.

MELO, R. G. C. Using Fractal Characteristics such as Fractal Dimension, Lacunarity and Succolarity to Characterize Texture Patterns on Images. Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense, 2005.

- NERI, M. G., DA COSTA, E. G., GARCIA, R. W. PAIVA, O. L. **Avaliação de Técnicas de Monitoramento de Isoladores Poliméricos**. 2005.
- OLIVEIRA, S. C. **Sistema de detecção óptica de descargas parciais em cadeias de isoladores de linhas de transmissão de alta tensão**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2008, p. 128.
- QUEIROZ, J. E. R.; GOMES, H. M. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. Revista Rita, v. VIII, n. 1, 2001.
- SARAIVA, D. B. **Isolantes e dielétricos**. Materiais Elétricos, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988, p.98-107.
- SILVA, P. P. J. C. G. P. O. **Inspeção da degradação nos isoladores de compósito de linhas de transmissão através de ensaios não destrutivos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2009.
- SILVA, A. S. de S.; **Estudo da otimização da qualidade da imagem digital através da razão sinal ruído diferencial (SdNR)** , COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.
- SPRING, G. CAMARA, R. C. M. SOUZA, U. M. FREITAS, J. Garrido, **Integrating Remote Sensing and GIS by Object Oriented Data Modeling**. Computers & Graphics, 1996, p. 395-403.
- STASIAK, M. E. **Estudo e Desenvolvimento de Composições Nano-Aditivadas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional de Blumenau, 2009.
- THOMAZINI, D. **Classificação da hidrofobicidade em isoladores elétricos poliméricos de alta tensão**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.