

PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS APLICADO À TERMOGRAFIA EM QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO

Email:

Abstract— This article proposes the use of digital processing techniques in images obtained through electric panels of low voltage distribution aiming to locate the respective circuit breakers. Using thermography, it is sought to make estimates of the situation in which the electrical installation is subject and to be suitable as a useful tool for thermographic inspections. Two methods are used for recognition and identification of circuit breakers. While the method of correlation between gray levels allowed the semiautomatic location of the circuit breakers, the method of comparison between signatures allowed the automatic localization of these circuits. Both methods are important non-invasive tools for predictive and preventive maintenance, since they allow to evaluate the situation of electrical installations in a more automated and organized way.

Keywords— Digital processing, Correlation, Thermal camera, Method of signatures, Circuit breakers.

Resumo— Este artigo propõe a utilização de técnicas de processamento digital em imagens obtidas através de quadros elétricos de distribuição de baixa tensão objetivando localizar os respectivos disjuntores (circuitos). Utilizando a termografia, busca-se realizar estimativas da situação em que a instalação elétrica está sujeita e adequar-se como uma ferramenta útil para inspeções termográficas. Dois métodos são utilizados para reconhecimento e identificação dos disjuntores. Enquanto o método de correlação entre níveis de cinza permitiu a localização semiautomática dos disjuntores, o método de comparação entre assinaturas permitiu a localização automática desses circuitos. Ambos os métodos constituem importantes ferramentas não invasivas para a manutenção preditiva e preventiva, uma vez que permitem avaliar a situação de instalações elétricas de forma automatizada e organizada.

Palavras-chave— Processamento de imagens, Correlação, Termovisor, Método das assinaturas, Disjuntores

1 Introdução

Manter a confiabilidade de uma instalação elétrica tornou-se parte das práticas de eficiência energética. Além disso, a degradação das instalações elétricas pode ocasionar sobreaquecimento, levando a subseqüentes falhas nos equipamentos, cortes de energia e até mesmo risco de incêndio. A aplicação de inspeções termográficas aliadas ao processamento digital de imagens representa uma das alternativas para minimizar as problemáticas destacadas (Huda et al., 2012). Por meio da utilização de imagens térmicas, torna-se viável comparar a distribuição de calor entre objetos, gerando algumas aplicações.

No ramo da engenharia de materiais, no trabalho de Marinoski et al. (2010) foram utilizadas imagens em infravermelho objetivando comparar o fluxo de calor entre diversos tipos de telhas. A propriedade que todo objeto tem de absorver energia por meio da radiação solar possibilitou mapear gradientes de temperaturas entre os materiais e analisar qual deles é mais adequado para a construção civil.

Na área médica, Boquete et al. (2012) utilizam técnicas de processamento digital de imagens (aplicando análise por componentes independentes) objetivando detectar automaticamente casos de câncer de mama.

No ramo da engenharia elétrica, Huda et al. (2012) propõem o uso de imagens infravermelhas em sua abordagem semiautomática para avaliar a condição térmica das instalações elétricas dentro de edifícios localizados na Malásia. A partir de imagens em tons de cinza com regiões manual-

mente segmentadas, o algoritmo compara as matrizes de co-ocorrência das regiões de interesse e posteriormente utiliza uma Rede Neural do tipo MLP (*Multilayer Perceptron*) para classificar a situação da instalação como: crítica, atenção ou normal. Além disso, o desempenho da MLP é comparado com diversos classificadores.

No estudo de caso realizado em uma fábrica de papel localizada em LongView, Washington, EUA, Higginson and Durocher (2009) apresentam vários exemplos de varreduras infravermelhas aplicadas à disjuntores moldados. A detecção de potenciais problemas nos disjuntores permite o setor de manutenção substituir disjuntores que apresentam alguma anomalia térmica, gerando, portanto, uma análise preditiva cujo objetivo é melhorar a confiabilidade do sistema industrial.

Em instalações elétricas de baixa tensão, a organização de circuitos elétricos é feita utilizando-se quadros de distribuição, nos quais apresentam equipamentos como: disjuntores (proteção contra sobrecarga), DPS (dispositivos de proteção contra surto) e dispositivos diferenciais residuais (proteção em casos de correntes de fuga).

Dessa forma, este trabalho consiste em aplicar o processamento digital em imagens obtidas de quadros de distribuição de baixa tensão e, através da identificação de disjuntores, examinar pela termografia as temperaturas máximas e médias nos disjuntores dos respectivos circuitos. Assim, o objetivo principal é qualificar a situação da respectiva instalação, fornecendo uma análise por meio de temperatura, muitas vezes, mais importante que uma análise quantitativa da corrente.

Já a relação física entre temperatura e cor-

rente nos disjuntores é devida ao efeito Joule. A corrente de carga que flui através dos contatos principais do disjuntor provoca um aquecimento dos mesmos. Além disso, apesar de apresentarem especificações em termos de correntes nominais, a atuação de disjuntores baseia-se na dilatação de lâminas bimetálicas, uma natureza térmica.

Dois métodos são utilizados para reconhecimento e identificação dos disjuntores. O primeiro método aplicado consiste em localizar disjuntores baseando-se na correlação entre níveis de cinza da respectiva imagem. Em contrapartida, o segundo método utilizado consiste na localização do objeto considerando resumidamente sua forma geométrica.

No tocante à construção do artigo, a seção 2 apresenta uma descrição da termografia. O detalhamento das técnicas de reconhecimento é abordado na seção 3, introduzindo conceitos que facilitem a compreensão do método proposto. A seção 4 apresenta os resultados alcançados e as temperaturas de cada disjuntor. Conclusão e trabalhos futuros, trazidos na seção 5, fecham o documento.

2 Materiais e Métodos

A termografia pode ser definida como a técnica que utiliza a detecção de radiação infravermelha emitida por objetos para fins de medição de temperatura sem necessitar de contato físico, possibilitando inspeções não invasivas. Através da utilização de imagens térmicas, torna-se viável comparar a distribuição de calor entre objetos, identificando pontos de maior calor.

O termovisor utilizado neste trabalho (Fluke Ti25) consiste em uma câmera de mão projetada para fins de manutenção preditiva. Essa câmera permite o armazenamento das imagens tanto em formato .bmp, quanto em formato .is2. O formato .is2, gerenciado pelo software Fluke SmartView®, além de gerar uma imagem em luz visível, armazena dados radiométricos. As Figuras 1a, 1b e 1c, ilustram respectivamente imagens de um soprador térmico em luz visível, puramente infravermelha e utilizando a tecnologia IR-Fusion® (mesclagem de luz visível e infravermelho na mesma imagem).

O sistema FPA (*Focal Plane Array* - matriz de elementos sensores), é o elemento chave para a obtenção de uma matriz com valores pontuais de temperaturas de forma similar à uma imagem bidimensional. Essa matriz é obtida por meio de detectores termais, definidos em Bittencourt (2012).

Na câmera utilizada, o sistema FPA gera uma matriz de dimensões 160 x 120 pixes, cujo centro está alinhado com a imagem em luz visível (de dimensões 640 x 480 pixes). Por meio desse sistema existe a possibilidade de encontrar a temperatura em coordenadas da imagem em luz visível fundamentando-se em simples associações.

Utilizando a função IR-Fusion, a câmera cria

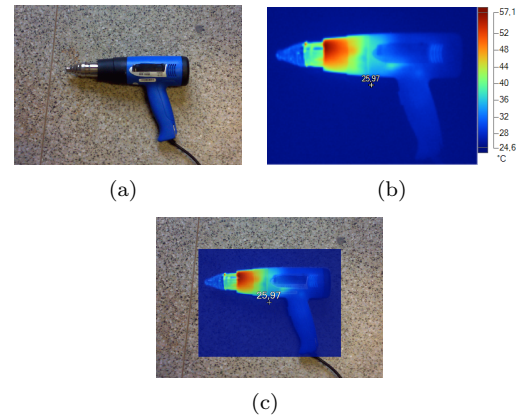


Figura 1: Imagens obtidas do termovisor utilizado: (a) imagem 640x480 em luz visível, (b) imagem puramente infravermelha, (c) imagem 640x480 utilizando a função IR-Fusion®.

uma imagem 400 x 300 pixes sobreposta à imagem luz visível de 640x480, portanto, como a matriz de elementos sensores é 160 x 120 pixes, basta realizar uma simples associação entre os pixels da imagem 400x300 e a imagem do sistema FPA. A Figura 2 apresenta a imagem formada a partir dos valores de temperaturas da matriz de elementos sensores, nela pode-se observar o maior valor de temperatura e sua posição. Os valores de temperatura referentes ao retângulo tracejado são representados na Figura 3.

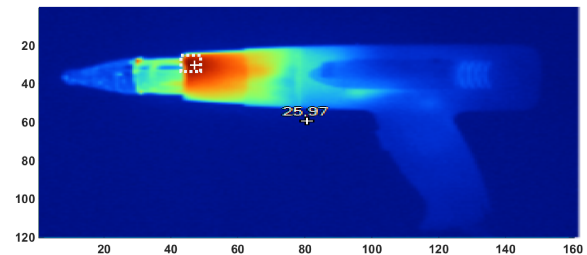


Figura 2: Imagem 160 x 120 pixes formada a partir dos valores de temperaturas da matriz de elementos sensores.

	43	44	45	46	47	48
25	27,44	33,44	37,81	39,31	40,5	41,56
26	30,66	43,47	48,75	49,84	50,22	50,28
27	34,44	48,91	53,19	53,72	53,56	53,28
28	42,03	52,19	55,44	55,59	55,22	54,56
29	45,81	53,88	56,59	56,59	56	55,41
30	44,59	53,59	57,06	57,06	56,25	55,84
31	41,69	52,09	56,78	57,09	56,41	55,72
32	36,5	49,56	56,22	56,97	56,38	55,84

Figura 3: Valores de temperatura da matriz de elementos sensores.

2.1 Emissividade

Emissividade é definida como a propriedade de todo objeto, quando sujeito a uma determinada

temperatura, emitir energia na forma de radiação. Essa energia é uma porcentagem da radiação emitida pelo corpo negro submetido à mesma temperatura. É importante salientar que diversos fatores como: acabamento da superfície (oxidada, polida, áspera), espessura e até mesmo a transmissividade decorrente de pequenas películas, podem afetar individual ou conjuntamente a emissividade de um alvo.

A emissividade é um dos parâmetros mais importantes que devem ser ajustados na câmera infravermelha. Esse parâmetro interfere na formação da imagem, uma vez que são estes dados que possibilitam o cálculo de temperatura e ajuste da imagem térmica obtida (Titman, 2001). Tais parâmetros são responsáveis pela geração de erros preliminares na medição de temperatura por meio de radiação.

Ao utilizar a termografia para análise térmica de diferentes tipos de telhas, Marinowski (2010) comprovou que a temperatura lida pelo termovisor de modelo ThermaCAM E25 fabricado pela empresa FLIR SYSTEMS chegou a variar até 7,1°C para cada diferença de 0,1 entre o valor real de emissividade e a emissividade configurada na câmera. Portanto, torna-se imprescindível a escolha correta da emissividade ao manusear a câmera.

A câmera, ao ser apontada a um objeto, recebe radiações emitidas pela superfície do próprio objeto bem como do meio adjacente. Ambas as radiações são parcialmente atenuadas pela atmosfera na trajetória de medição. A estas, se junta uma terceira contribuição de radiações emitidas pela própria atmosfera (Caldeira and Padaratz, 2015). A Equação 1 representa a potência de radiação que a câmera recebe considerando os fatores citados:

$$W_{total} = \varepsilon \cdot \tau \cdot W_{obj} + (1 - \varepsilon) \tau \cdot W_{refl} + (1 - \tau) \cdot W_{atm}, \quad (1)$$

em que:

W_{total} :	potência total [W];
W_{obj} :	radiação emitida pelo objeto [W];
W_{refl} :	radiação emitida pelo meio adjacente [W];
W_{atm} :	radiação emitida pela atmosfera [W];
ε :	emitância do objeto;
τ :	transmitância da atmosfera.

Dois métodos são utilizados para reconhecimento dos disjuntores. O primeiro método é o de reconhecimento por janela correlacionada. A detecção somente será realizada após a seleção de um dos disjuntores monofásicos presentes na imagem, tratando-se, portanto, de uma identificação semiautomática.

Em contrapartida, o segundo método, das assinaturas, tendo em vista que o objeto a ser localizado é sempre o mesmo, não há a necessidade de um operador selecionar previamente o objeto. Desta vez, o objeto será preliminarmente intitulado com uma assinatura, para que somente em

seguida o algoritmo realize a localização de objetos que possuem assinaturas similares.

2.2 Reconhecimento por janela correlacionada

Funções de correlação são funções matemáticas que determinam o grau de interdependência entre duas funções de mesma natureza. Elas são empregadas com a finalidade de compará-las e determinar onde as mesmas apresentam comportamento mais semelhante (Costa et al., 2005). A melhor correlação encontrada depende do tipo de função implementada. Pode-se destacar a função quociente, função erro, função erro quadrático e função de covariância cruzada.

No presente trabalho utilizou-se a função de covariância cruzada, na qual, para o caso discreto, pode ser expressa matematicamente pela Equação 2:

$$R(\Delta x) = \frac{\sum_{i=Xm}^{Xn} (A(x_i^a) - B(x_i^b + \Delta x))^2}{(Xn - Xm + 1)}, \quad (2)$$

em que:

Xm :	posição inicial do sinal;
Xn :	posição final do sinal;
$A(x_i^a)$:	função de posição relativa ao sinal A;
$B(x_i^b)$:	função de posição relativa ao sinal B.

A posição de melhor correlação ocorre quando o valor da função de correlação cruzada torna-se máximo, portando, à medida que a correlação se aproxima do valor unitário, tem-se que as duas funções são mais similares no intervalo especificado. Considerando que a imagem digital pode ser analisada como uma matriz bidimensional, a Equação 2 pode ser escrita da seguinte forma:

$$C(\Delta x, \Delta y) = \frac{\sum_{i=X_1}^{X_m} \sum_{j=Y_1}^{Y_n} (G_e(x_i, y_j)^e - \overline{G_e}) \cdot (G_d(x_i + \Delta x, y_j + \Delta y)^d - \overline{G_d})}{(X_m - X_1 + 1) \cdot (Y_n - Y_1 + 1)}, \quad (3)$$

em que:

X_m :	número de colunas da respectiva janela;
Y_m :	número de linhas da respectiva janela;
$\overline{G_e}$:	tons de cinza da janela alvo;
$\overline{G_d}$:	tons de cinza da janela de correlação.

$$\overline{G_e} = \frac{\sum_{i=X_1}^{X_m} \sum_{j=Y_1}^{Y_n} G_e(x_i, y_j)^e}{(X_m - X_1 + 1) \cdot (Y_n - Y_1 + 1)}, \quad (4)$$

$$\overline{G_d} = \frac{\sum_{i=X_1}^{X_m} \sum_{j=Y_1}^{Y_n} G_d(x_i, y_j)^d}{(X_m - X_1 + 1) \cdot (Y_n - Y_1 + 1)}. \quad (5)$$

Entre os diversos tipos de correlação aplicados a imagens, Lemmens (1988) aborda as seguintes classes: Correlação por área, Correlação por

entidades e Matching Relacional. Conforme destacado em Strauch (1991) e Schenk (1999), aplicações embasadas na correlação por área representam uma das técnicas mais simples e popular em aplicações de fotogrametria.

A correlação por área consiste em encontrar as janelas correlacionadas aplicando funções de correlação entre os tons de cinza de uma área previamente fixada na imagem (janela padrão ou janela alvo) e tons de cinza de outras áreas com mesmas dimensões da janela alvo (janela de correlação). Dependendo da aplicação, pode-se especificar uma área da imagem na qual irá ser realizada a varredura pelas diversas janelas de correlações (área denominada de janela de pesquisa) ou realizar a varredura na imagem com janelas de correlação abrangendo toda a imagem, nesse caso a janela de pesquisa será a própria imagem.

2.3 Reconhecimento pelo método das assinaturas

O método consiste em criar a representação de uma fronteira de forma unidimensional. Essa representação pode ser gerada de diversas maneiras, uma das mais simples é obtida pelo gráfico de distâncias da fronteira em função do ângulo (Gonzalez, 2011).

De maneira resumida, calcula-se as distâncias entre o centroide e as fronteiras da respectiva imagem, obtendo valores de distâncias em função do ângulo de rotação. Portanto, reduz-se uma representação 2-D (imagem) para a representação em uma dimensão (fronteira).

Uma das etapas que antecede o cálculo das assinaturas consiste em realizar a limiarização nas imagens. O limiar é utilizado quando se deseja diminuir a quantidade de níveis de uma determinada imagem, possibilitando separar objetos de interesse. Quando a limiarização é utilizada para distinguir duas classes, esse processo pode ser denominado particularmente por binarização. A principal problemática na aplicação deste método é a escolha do limiar que faça a correta distinção do objeto de interesse.

A Figura 4 ilustra a segmentação da chave ON-OFF de um disjuntor residencial para diferentes limiares, explicitados para cada caso. Observa-se que a escolha desse limiar impacta diretamente na forma geométrica do objeto, dificultando a identificação do objeto desejado.

O método de Otsu (1979) é um dos métodos mais populares em se tratando de imagens com histogramas bimodais. O objetivo do método é escolher automaticamente o melhor valor de limiar (T) que separa a imagem em duas classes: frente (*foreground*) e fundo (*background*). Devido à peculiaridade de disjuntores tipo DIN, sempre existirem diferenças de cores entre o disjuntor e sua chave ON-OFF, o método de Otsu torna-se uma opção que satisfaz o que se deseja: isolar a

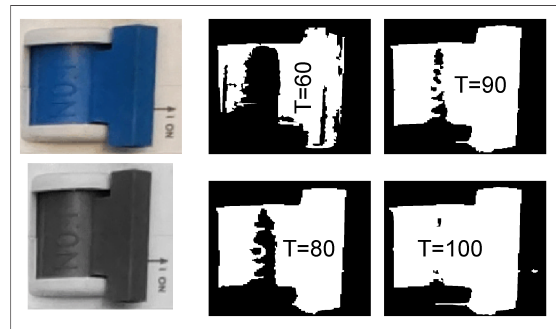


Figura 4: Chaves localizadas nos disjuntores: imagem RGB, imagem em tons de cinza e chave para diferentes valores de limiar.

chave do disjuntor.

O algoritmo que reproduz tal método consiste em realizar iterações com todos os valores de limiares possíveis e selecionar o valor no qual houve uma menor soma da variância intraclasse da imagem. Visando a necessidade de minimizar o custo computacional de tal processo, desta vez, Otsu representou a variância interclasse, necessitando maximizá-la a fim de obter o limiar ótimo. Assim, para cada iteração, não existe mais a necessidade do cálculo de variâncias. Visando a necessidade de minimizar o custo computacional de tal processo, Otsu representou, desta vez, a variância interclasse, necessitando maximizá-la a fim de obter o limiar ótimo. Assim, para cada iteração, não existe mais a necessidade do cálculo de variâncias.

$$\sigma_b^2 = W_b W_f (\mu_b - \mu_f)^2, \quad (6)$$

onde:

- W_b : probabilidade que um pixel tem de pertencer à classe b (*background*);
- W_f : probabilidade que um pixel tem de pertencer à classe f (*foreground*);
- μ_b : média da classe *background* para determinado valor de T ;
- μ_f : média da classe *foreground* para determinado valor de T .

A Figura 5 ilustra o histograma da chave representada na Figura 4, bem como o valor de limiar ótimo obtido de acordo com o método de Otsu. Após realizar a melhor limiarização, o sistema irá realizar a comparação (através da correlação cruzada) entre a assinatura do objeto desejado (chave do disjuntor) e as assinaturas dos objetos presentes na janela de varredura.

A Figura 6 exemplifica uma chave ON-OFF presente em um disjuntor bem como sua respectiva assinatura. A técnica de assinatura apresenta algumas vantagens como a sua simplicidade e a invariância à translação. Para torná-la mais robusta e acrescentar as características de invariância em relação a rotação e escala é necessário utilizá-la em conjunto com algumas outras técnicas. Com a

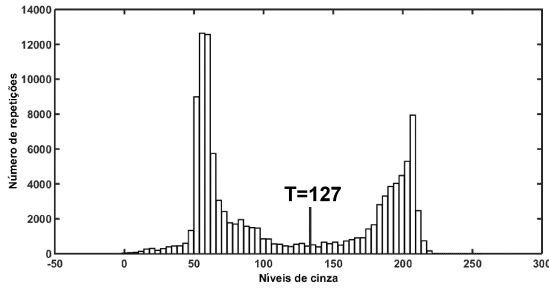


Figura 5: Histograma da chave representada na Figura 4.

finalidade de obter uma independência de escala nas respectivas assinaturas, é necessário realizar a normalização dos dados.

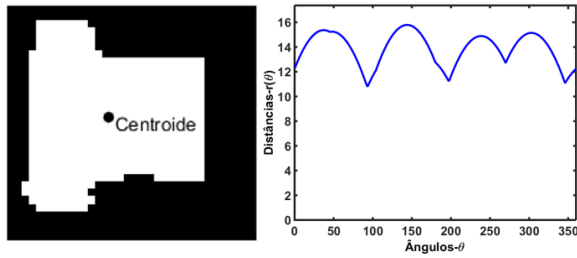


Figura 6: Chave ON-OFF do disjuntor e sua assinatura.

Considerando que a instalação está em conformidade com a NBR 5410 (normas para instalações elétricas de baixa tensão) e devido à particularidade do objeto a ser identificado (disjuntores alinhados com os trilhos DIN), as distorções em rotações não constituem uma grande problemática. Todavia, caso a distorção influencie consideravelmente, existe a possibilidade de aplicar transformadas geométricas com a intenção de rotacionar o objeto. Uma recomendação é utilizar a transformada de Hotelling.

3 Resultados e Discussões

Esse trabalho tem o objetivo fazer o reconhecimento automático de disjuntores de um quadro elétrico e em seguida extrair informações de temperatura dos circuitos elétricos analisados. Por uma questão de melhor entendimento, primeiro é exposto o resultado no método de reconhecimento e em seguida a análise dos resultados da imagem termográfica.

A Figura 7 representa a imagem com a luz visível e a correspondente localização dos disjuntores do quadro elétrico em questão utilizando o método por janela correlacionadas. Os circuitos foram ordenados considerando a correlação entre as janelas padrão e correlacionada.

Diferentemente do que ocorre no método por janela correlacionada, o método de assinatura não fica confinado à intervenção humana para a escolha do objeto que se deseja reconhecer. O método

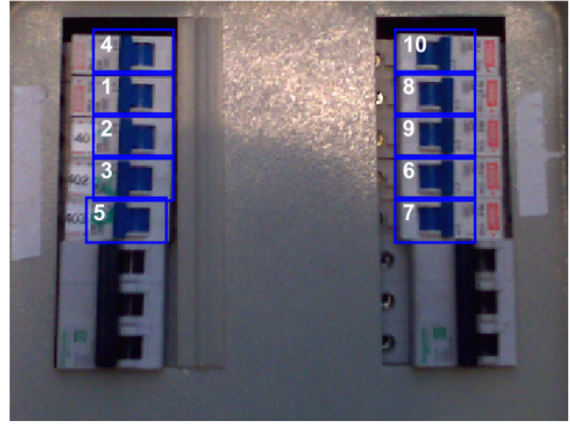


Figura 7: Localização dos disjuntores.

das assinaturas também permitiu encontrar corretamente a localização dos respectivos circuitos e consequentemente, constitui uma ferramenta útil e mais automatizada em relação à simples correlação entre tons de cinza.

Na Figura 8 é apresentada a imagem térmica (obtida com emissividade unitária) do quadro elétrico e as respectivas zonas de temperatura dos disjuntores reconhecidos previamente. Nessa imagem é exibido a temperatura máxima de cada disjuntor, e quanto mais amarela a zona, maior a temperatura e quanto mais azul, menor a temperatura.

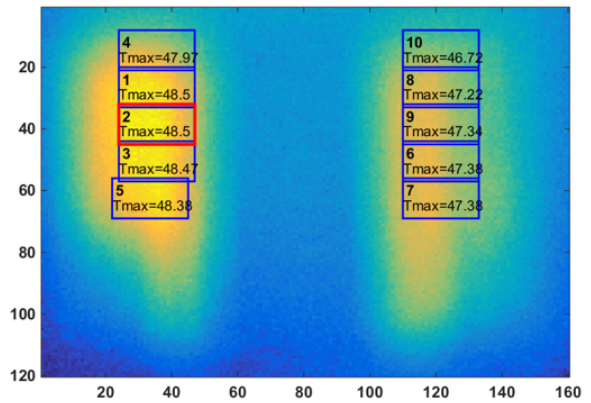


Figura 8: Imagem térmica do quadro elétrico.

De acordo com a Figura 8 e Tabela 1, observa-se que os circuitos um e dois (01 e 02) apresentam os maiores valores de temperatura máxima, mas com a temperatura média maior para o circuito dois (02). Todavia, esses valores não apresentam elevadas discrepâncias em relação aos outros disjuntores, indicando que aparentemente todos os circuitos estão energizados e que a instalação (em termos de sobrecarga) está em bom estado.

É importante ressaltar que a forma com que as imagens são obtidas pode influenciar na eficiência de ambos os métodos, portanto, faz-se necessário seguir algumas recomendações:

Tabela 1: Valores de correlação, temperatura máxima (°C) e temperatura média (°C) para cada disjuntor.

Circuito	Correlação	Média	Máxima
1	0,917	47,634	48,5
2	0,907	47,834	48,5
3	0,903	47,791	48,47
4	0,838	46,515	47,97
5	0,837	47,640	48,38
6	0,725	46,631	47,38
7	0,724	46,666	47,38
8	0,723	46,458	47,22
9	0,713	46,615	47,34
10	0,711	45,807	46,72

1. fumaça, pó, neblinas ou até mesmo vapor podem comprometer a obtenção de medidas precisas em função da obstrução dos elementos ópticos da unidade, portanto é importante manter-se atento a esses fatores;
2. em função da reflexão, torna-se imprescindível proteger o objeto contra possíveis fontes de temperaturas elevadas que podem estar próximas à medição;
3. caso o operador não tenha conhecimento da emissividade exata do objeto, é importante recordar-se que a maioria das superfícies orgânicas, pintadas ou oxidadas tem emissividade aproximadamente de 0,95;
4. sugere-se capturar as imagens de forma perpendicular ao quadro de distribuição e a uma distância de 0,5 a 1 metro;
5. o operador deve posicionar-se de tal forma que evite sombreamentos na imagem em luz visível.

4 Conclusão

Objetivando auxiliar no processo de inspeção termográfica, este trabalho propôs dois diferentes métodos de localização de disjuntores em quadros residenciais de baixa tensão.

Desde que seguidas as recomendações citadas, observou-se que os métodos utilizados constituem ferramentas eficazes na detecção de disjuntores, possibilitando identificar o sobreaquecimento em instalações elétricas sem a interrupção no fornecimento de energia.

Os resultados obtidos podem ser encaixados nos laudos termográficos de empresas que utilizam a ferramenta de inspeção termográfica. Desta forma, pode-se documentar a situação da respectiva instalação de forma mais automatizada, organizada, rápida e didática.

Destaca-se que a interpretação dos dados obtidos depende principalmente do conhecimento e experiência do usuário, havendo a necessidade de um certo nível de capacitação.

Referências

- Bittencourt, T. d. M. G. (2012). *Pré processamento digital de imagens obtidas na faixa espectral do infravermelho distante*, PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Boquete, L., Ortega, S., Miguel-Jiménez, J. M., Rodríguez-Ascariz, J. M. and Blanco, R. (2012). Automated detection of breast cancer in thermal infrared images, based on independent component analysis, *Journal of medical systems* **36**(1): 103–111.
- Caldeira, M. M. and Padaratz, I. J. (2015). Potencialidades da termografia infravermelha na avaliação de danos na aderência entre concreto e prfv, *RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal* **8**(3).
- Costa, E. R., Tomamaselli, A. M. G. and Galo, M. (2005). Técnicas de pré-análise do processo de correlação visando a geração de modelo digital de terreno, *Revista Brasileira de Cartografia* **3**(57).
- Higginson, M. and Durocher, D. B. (2009). Proper application & maintenance of molded case breakers to assure safe and reliable operation, *Pulp and Paper Industry Technical Conference, 2009. PPIC'09. Conference Record of 2009 Annual*, IEEE, pp. 90–101.
- Huda, A. N., Taib, S., Jadin, M. S. and Ishak, D. (2012). A semi-automatic approach for thermographic inspection of electrical installations within buildings, *Energy and Buildings* **55**: 585–591.
- Lemmens, M. (1988). A survey on stereo matching techniques, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **27**(B8): 11–23.
- Marinoski, D. L., de Souza, G. T., Sangoi, J. M. and Lamberts, R. (2010). Utilização de imagens em infravermelho para análise térmica de componentes construtivos, *XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Entac*.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms, *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics* **9**(1): 62–66.
- Schenk, T. (1999). *Digital photogrammetry: Vol. I: Background, fundamentals, automatic orientation produceres*, TerraScience.
- Strauch, J. C. M. (1991). Correlação de imagens digitais.

Titman, D. (2001). Applications of thermography in non-destructive testing of structures, *NDT & e International* **34**(2): 149–154.