



Análise e Diagnóstico da Temperatura de Motores Elétricos Usando Visão Computacional e Aprendizado de Máquina

Palavras-Chave: IMAGEM-TERMOGRÁFICA, APRENDIZADO-DE-MÁQUINA, ANÁLISE-DE-IMAGENS

Autores(as):

GUSTAVO RODRIGUES VASQUES, FEM – UNICAMP

Prof. Dr. HELIO PEDRINI (orientador), IC - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Diante de um mundo com a quantidade de indústrias crescendo assintoticamente, se vê necessário o estudo sobre a importância de manter os processos industriais eficazes, confiáveis e precisos, mesmo sem a necessidade de uma constante supervisão humana. O objeto de estudo desta pesquisa, que é literalmente a força motriz da indústria, é o motor elétrico, que requer um adequado manutenção para garantir a eficiência e a confiabilidade de um processo industrial.

No método proposto, será estudado como a automação da manutenção preditiva, visando a avaliação da temperatura do motor, é benéfica ao manter um controle e uma padronização do diagnóstico da saúde do motor elétrico em termos de temperatura superficial.

Com auxílio de uma câmera infravermelha, é possível obter informações da temperatura superficial de motores elétricos, como pode ser visto na figura 1. O objetivo do método proposto é automatizar a análise dessa imagem, buscando avaliar possíveis avarias no motor com base na temperatura de sua carcaça.

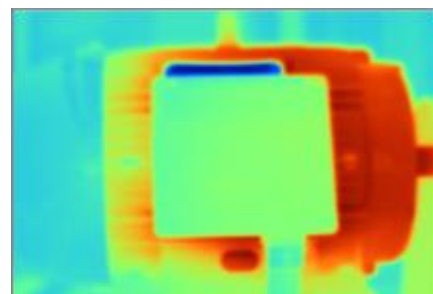


Figura 1 - Exemplo de imagem termográfica.

METODOLOGIA:

Para a coleta de dados, foi utilizado uma câmera termográfica da marca Fluke, que traduz a informação advinda da radiação infravermelha para a quantidade de temperatura em um corpo sólido.

Com isso, foi criado um data set de 367 imagens termográficas de motores elétricos, para a composição do algoritmo de classificação, assim como 337 imagens termográficas de não-motores, para a etapa de validação.

As imagens que compõem motores elétricos, foram tiradas em diferentes ângulos e perspectivas, com o motor funcionando em diferentes condições de operação, para assim aprimorar a utilização do modelo em diferentes casos.

As imagens que não compõem motores elétricos são imagens com cenários diferentes e com alta gama de variedade de temperatura, para assim exercitar o modelo de aprendizado de máquina em cenários estressantes e complexos.

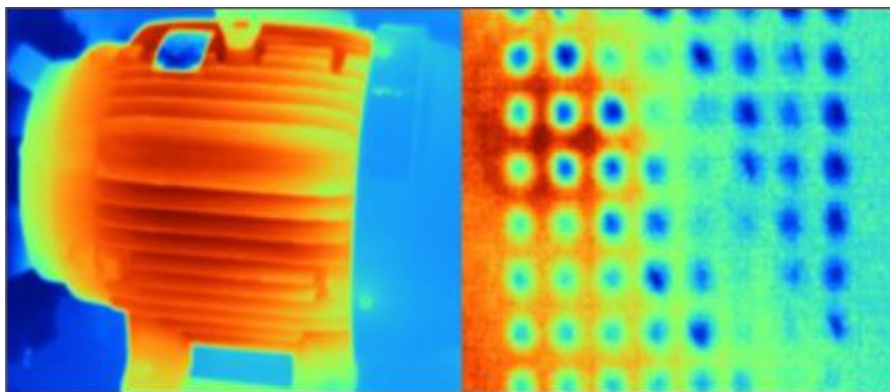


Figura 2 - Duas fotos termográficas tiradas com uma câmera infravermelho para o data set.

As imagens coletadas com a câmera infravermelha, possuem a extensão ".IS2", cuja utilização se dá com o aplicativo da marca Fluke, Smart View, que possibilita a definição do espaço de cor utilizado para a leitura da imagem termográfica.

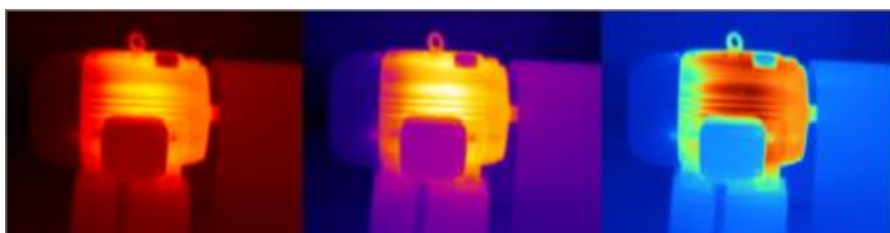


Figura 3 - Motores elétricos com diferentes espaços de cores obtidos com o software Smart View.

O método precedente da classificação dos motores elétricos é o processamento de imagem, que se foi utilizado diferentes métodos para aprimoramento objetivo da imagem, assim facilitando a segmentação e o reconhecimento de bordas (passo de suma importância para um modelo eficiente).

Para a classificação de imagens, foi utilizado o método Random Forest, um modelo de aprendizado supervisionado que se baseia na combinação de árvores de decisão individuais para criar um modelo mais robusto e preciso [1]. O modelo foi utilizado combinando as imagens de motores (positivas) e imagens que não contém motores (negativas), as separando em grupos de treinamento e validação.

Para a análise da temperatura dos motores elétricos, foi utilizada a biblioteca para python OpenCV [2], que irá permitir a verificação dos pixels em diferentes canais da imagem, observando aspectos como distribuição e concentração em certas áreas do motor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A fim de analisar a temperatura do motor e garantir a automação de todo o processo, é necessário uma etapa de detecção de objeto (figura 4) com uso de aprendizado de máquina, para ser possível a análise dos pixels apenas do motor elétrico.

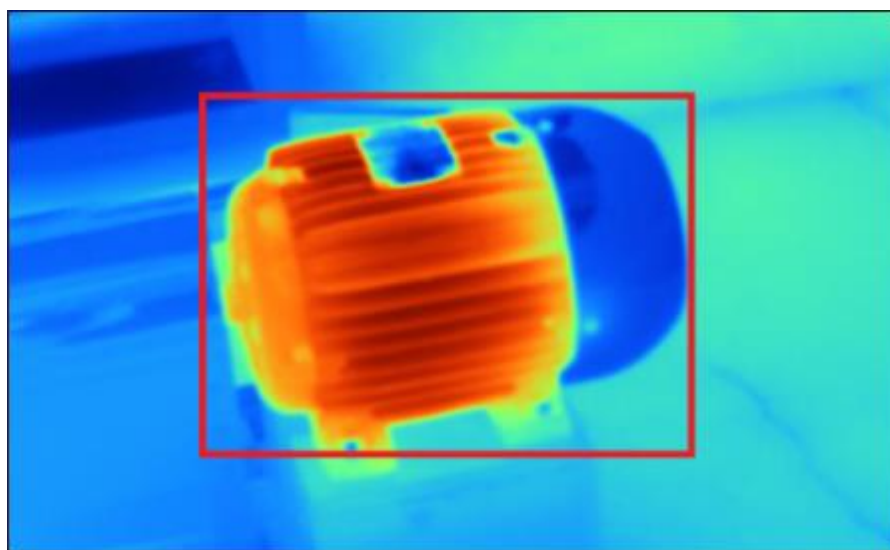


Figura 4 - Recorte do motor elétrico do fundo.

A etapa de detecção de objeto, que vai de auxílio com a classificação do objeto, leva consigo algumas complicações, por exemplo, imagens termográficas de motores elétricos, que geralmente ficam em ambientes industriais, com diferentes focos de temperatura, geram imagens com fundos complexos, que podem diminuir a eficiência do modelo de detecção/classificação. Para isso, foi feito um estudo de processamento de imagem, visando uma acurácia melhor do modelo.

O método de processamento se utiliza das seguintes técnicas:

- **Equalização de histograma:** uma técnica muito comum e simples para aumentar o contraste em uma imagem digital. Consiste em remapear os níveis de cinza da imagem de acordo com a distribuição dessa escala de cinza.
- **Remoção de ruído:** A remoção de ruído em uma imagem remove pixels indesejados e que não compõem a imagem real. A imagem costuma ficar borrada, dificultando a detecção de bordas. Por conta disso, dentre muitos filtros de remoção de ruído, será usado o filtro bilateral, que é eficiente em remover ruído enquanto preserva as bordas[3].
- **Operações morfológicas:** Com as operações morfológicas podemos facilmente manipular as bordas[4]. O filtro bilateral é ineficiente em remover ruído do tipo "sal e pimenta", deixando pequenos pontos indesejados na imagem. Com a combinação das operações morfológicas: Dilatação e erosão, podemos remover por completo estes pixels indesejados.
- **Normalização:** A normalização em imagens digitais modifica a faixa de valores de intensidade de pixels, facilitando para o modelo de aprendizagem encontrar padrões.

- **Binarização de imagem:** O processo de binarização deixa a imagem apenas entre valores de 0 ou 1, o objetivo é separar as bordas do fundo, Para isso, usamos o método Canny, um detector de bordas de multi-estágio.

O resultado obtido pode ser visualizado na figura 5. Note que as bordas agora tem mais contraste, e possuem uma binarização que torna a classificação mais eficaz.

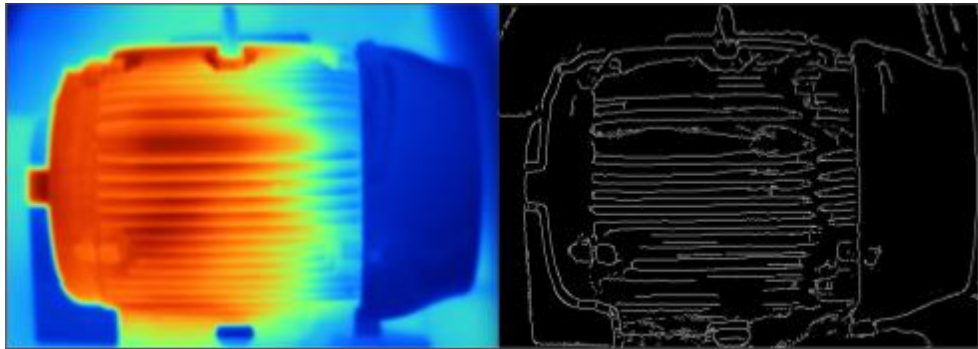


Figura 5 - Resultado do processamento de imagem.

Outro aspecto importante da análise da temperatura de motores elétricos, é o fato de que é importante saber a posição do foco de temperatura do motor (se está na parte frontal ou traseira do motor), um dos principais motivos de avarias em motores elétricos é o desalinhamento do motor e seu acoplamento, que produz calor na parte frontal do motor, portanto, analisando o gradiente de temperatura horizontal, é possível validar a saúde do motor elétrico.

Para isso, foi construído um classificador de orientação do motor, para padronizar o sentido do motor, ou seja, para que a parte frontal do motor esteja sempre na mesma direção, facilitando a análise.

Nas imagens termográficas, se pode avaliar um foco de calor baseado em sua cor, azul é frio e vermelho é quente. Isso torna trabalhar no espaço de cor RGB muito interessante, pois assim se pode separar os canais (ver figura 6), analisando apenas uma cor específica.

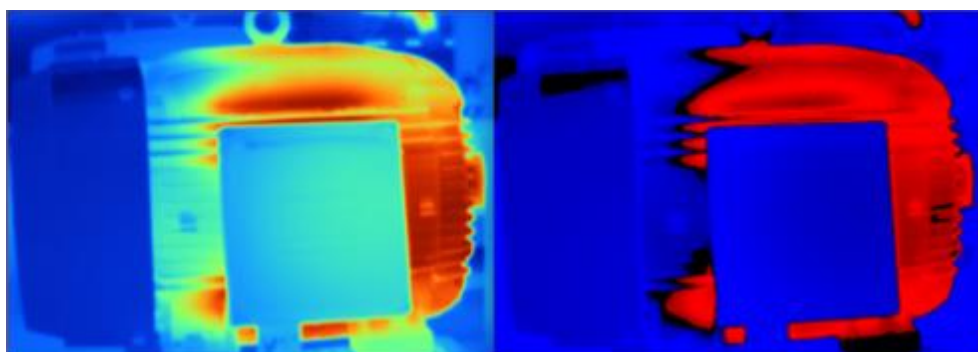


Figura 6 - Separação dos canais da imagem.

Em uma análise perceptual da figura 6, se pode notar um crescimento de temperatura na parte frontal do motor, sendo importante para o mantenedor fazer um acompanhamento desse motor elétrico. O objetivo é automatizar essa mesma análise.

A análise dos pixels inicia transformando a imagem de 2D para 1D, fazendo uma média vertical do canal vermelho da imagem, podendo assim analisar os focos de calor em uma determinada faixa do motor.

Como foi feita a detecção do motor, eliminando o fundo e separado o canal, essa média irá conter apenas as informações do motor, não levando em conta ruído ou artefatos do próprio fundo.

Na figura 7 pode-se ver a distribuição da média das intensidades de pixel da mesma imagem que a figura 6. Ela diz o mesmo que a análise perceptual, a parte traseira do motor não tem focos de calor, enquanto na parte frontal a temperatura começa a aumentar, chegando a um ponto onde tem um grande pico no gráfico, sinalizando um foco de calor na parte frontal do motor.

Obtendo o vetor gradiente da média das intensidades de pixels é possível observar mais um indicador de possível avaria no motor elétrico, o grande pico sinaliza uma mudança abrupta na temperatura. As pequenas variações foram filtradas do gradiente, de modo que salienta a grande mudança de temperatura.

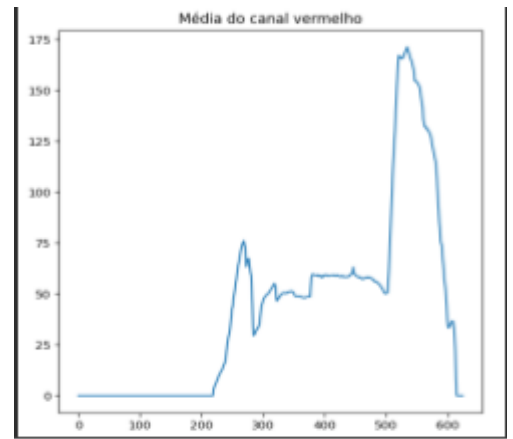


Figura 7 - Distribuição da média de uma imagem termográfica.

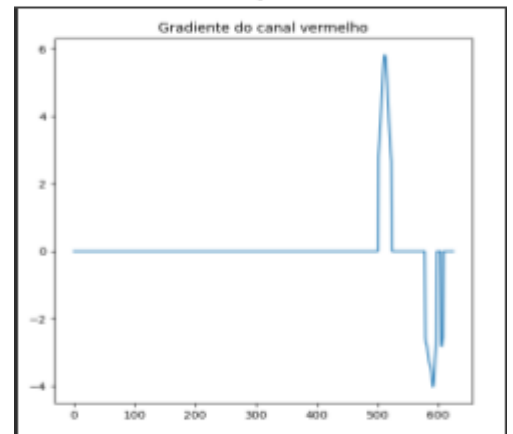


Figura 8 - Distribuição do gradiente de uma imagem termográfica.

CONCLUSÕES:

O presente trabalho permitiu apresentar um método para a automação da análise de imagens termográficas de motores elétricos. Os resultados sugerem que o método proposto é uma ferramenta útil para a automação da análise de imagens termográficas de motores elétricos. O método é capaz de identificar possíveis avarias nos motores com base na temperatura de sua carcaça, o que pode ajudar a melhorar a eficiência e a confiabilidade da manutenção industrial, permitindo que os motores elétricos possam ser avaliados de forma padronizada e sem influência humana, promovendo para que possíveis falhas sejam identificadas e corrigidas antes que causem grandes danos aos equipamentos.

No entanto, existe espaço para aprimoramento da análise, implementando técnicas de aprendizado de máquina para a análise dos pixels e expandir para outros defeitos comuns de motores elétricos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] V. Walt et al., "Scikit-image: Image processing in python," PeerJ, vol. e453, 2011.
- [2] P. Probst et al., "Hyperparameters and tuning strategies for random forest," Image and Vision Computing, vol. 24, 2006.
- [3] B. Zhang and J. Allebach, "Adaptive bilateral filter for sharpness enhancement and noise removal," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 17.
- [4] H. Pedrini and W. Schwartz, *Análise de Imagens Digitais*. Thomson Learning, 2008, ch. Morfologia matemática, pp. 327–360.
- [5] M. Hossin, "A review on evaluation metrics for data classification evaluations," International Journal of Data Mining Knowledge Management Process, vol. 5.