

## RESUMO

Este artigo apresenta o relato de experiência do trabalho de pesquisa, desenvolvimento e aplicação de novo algoritmo para a proteção térmica de motores elétricos industriais, desenvolvidos por consultor da Petrobras, que serviram de base para a elaboração da norma técnica internacional **IEC 60255-149: Measuring relays and protection equipment - Part 149: Functional requirements for thermal electrical relay** (INTERNATIONAL, 2013). Esta norma técnica apresenta os requisitos a serem atendidos pelos dispositivos digitais de proteção para a função de proteção térmica de equipamentos elétricos, tais como motores industriais de indução trifásicos. Decorrente de uma postura de ação **inovadora**, a participação de representante da Petrobras no processo de elaboração de uma norma técnica internacional torna os benefícios resultantes das boas práticas, lições aprendidas e experiências adquiridas na companhia, sobre proteção térmica de motores elétricos industriais disponíveis, multiplicadas e aplicáveis aos 170 países do mundo que participam ou aplicam as normas técnicas internacionais publicadas pela *International Electrotechnical Commission* (IEC). A norma IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013) pode ser considerada a primeira norma internacional da IEC que foi elaborada tendo como base um trabalho de pesquisa realizado no Brasil, desde a época de criação da IEC, em 1906, e do Comitê Brasileiro de Eletricidade e Iluminação (COBEI), em 1908.

**Palavras-chave:** Função de proteção elétrica. Proteção Térmica. Norma Técnica Internacional IEC. Motores elétricos industriais. Relés de proteção digitais. IED. Trabalho de pesquisa e desenvolvimento.

## ABSTRACT

This article presents the experience on the research, development and application of a new algorithm for the thermal protection of industrial electric motors, developed by Petrobras Consultant, which were used as a basis for the elaboration of the new International Technical Standard **IEC 60255-149: Measuring relays and protection equipment - Part 149: Functional requirements for thermal electrical relay**. That technical standard presents the requirements to be met by the digital protection devices (IED) for the **thermal protection function** of electrical equipment, such as industrial three-phase induction motors. Due to an **innovative** approach, the participation of Petrobras' representative in the IEC process of elaborating an international technical standard makes the benefits resulting from good practices, lessons learned and experiences acquired in Petrobras on the thermal protection of industrial electric motors available, multiplied, and applicable to the 170 countries of the world participating or applying the international technical standards published by the IEC. The IEC 60255-149 Standard can be considered the **first international standard** of the IEC that was elaborated based on a research work carried out in **Brazil**, since the creation of the IEC in 1906 and the COBEI in 1908.

**Keywords:** Electrical protection function. Thermal protection. International Technical Standard IEC. Industrial Electric Motors. Digital Protection Relays.

## 1 INTRODUÇÃO

A fonte de motivação para a pesquisa e elaboração de um novo algoritmo para a função de proteção térmica para motores elétricos industriais teve como base o fato de que estes equipamentos elétricos são responsáveis pelo consumo de quase metade do total da energia elétrica gerada em todo o mundo.

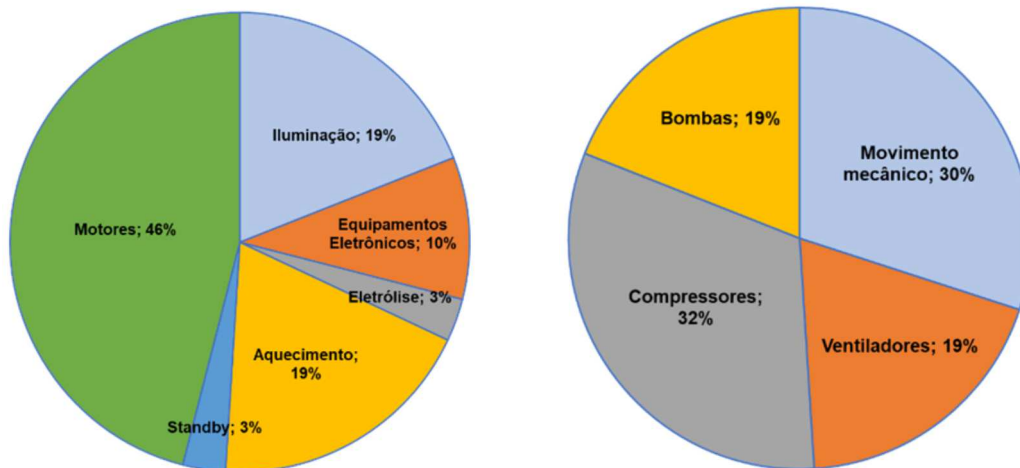
De acordo com dados apresentados pela *International Energy Agency* (IEA), contidos no Estudo *Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems* (2011), os motores elétricos são responsáveis pelo consumo de **46%** do total de energia elétrica demandada no mundo, como indicado no Gráfico 1. Além disso, pode ser verificado que os motores elétricos representam cerca de **90%** do total de acionamentos do setor industrial. Entre os principais tipos as máquinas rotativas acionadas por motores elétricos, estão os compressores (32%), as bombas (19%) e os ventiladores (19%), como indicado no Gráfico 1. Estes tipos de máquinas rotativas representam as que são mais frequentemente utilizadas nos processos das indústrias das áreas de petróleo, gás e petroquímica. Em nível internacional, os requisitos técnicos sobre especificações, ensaios, desempenho e eficiência energética de motores elétricos de indução e síncronos são indicados na Série IEC 60034: *Rotating electrical machines* (INTERNATIONAL, 2018a).

Estes dados demonstram a grande importância operacional dos motores elétricos trifásicos para a produção industrial. Desta forma, é de grande importância que os motores elétricos trifásicos, dos tipos de indução ou síncronos, utilizados na indústria, possuam elevados requisitos de proteção, os quais são executados pelos respectivos relés digitais de proteção (*Intelligent Electronic Device* - IED, de acordo com as normas internacionais da série IEC 61850: *Communication networks and systems for power utility automation*, 2018b). Pequenas melhorias representam imensos resultados.

Uma adequada proteção térmica dos motores elétricos é um fator crítico para assegurar a continuidade dos processos industriais, bem como para elevar a confiabilidade destes equipamentos e colaborar na redução de ocorrência de suas falhas.

Os motores elétricos operam com temperaturas nos seus enrolamentos por volta de 120 °C. Caso existam problemas relacionados com a proteção térmica, estas temperaturas podem exceder os limites de resistência dos materiais de isolamento dos enrolamentos. Uma elevação de apenas 10 °C acima destes limites desta temperatura acarreta uma redução de metade da vida útil prevista para os motores elétricos industriais.

Este é um dos grandes problemas enfrentados pelos motores elétricos industriais. A ação de mitigação pode



**Gráfico 1 - Participação do motor elétrico no consumo mundial de energia elétrica e tipos de máquinas rotativas industriais acionadas por motores elétricos.**

Fonte: INTERNATIONAL ENERGY, 2011, adaptado pelo autor.

ser realizada por uma nova função de proteção térmica, mais eficaz, baseada em uma norma internacional da *International Electrotechnical Commission* (IEC) atualizada, contendo um novo algoritmo matemático, apropriado para ser implantado nos dispositivos digitais de proteção (IED).

O trabalho de pesquisa que serviu de base para a elaboração da norma internacional IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013) sobre proteção térmica publicada pela IEC foi desenvolvido no Brasil, em trabalho de nova metodologia em Engenharia Elétrica, tendo como base experiências práticas e teóricas obtidas na Petrobras.

## 2 OBJETIVO

A parametrização da função de proteção térmica em IED para motores elétricos na indústria do petróleo é frequentemente um desafio para os técnicos e engenheiros que atuam na área de proteção de equipamentos e de sistemas elétricos.

Por um lado, há a necessidade de proteger termicamente os motores contra sobrecargas, que podem elevar sua temperatura acima dos valores permitidos, reduzindo a vida útil destes equipamentos e provocando falhas prematuras em seus enrolamentos, ocasionando a sua indisponibilidade, fazendo com que o motor necessite ser removido de seu local de instalação e enviado para reparo externo em oficinas especializadas e certificadas.

Por outro lado, existe o compromisso da continuidade e otimização operacional e dos processos industriais, com a necessidade de maximizar a sua faixa de operações, de forma a minimizar os desligamentos dos motores, fazendo com que estes operem no limite de sua capacidade térmica. São exemplos típicos destas aplicações os motores para acionamento industrial de bombas centrífugas de processo e de utilidades, ventiladores de *air-coolers*, compressores de gases inflamáveis e esteiras rolantes para movimentação de produtos.

Tendo como base as experiências práticas acumuladas na área de engenharia elétrica na Petrobras, pode ser verificado que em muitos casos os motores são desligados indevidamente devido a deficiências nas funções de proteção térmica, sem que estes tenham atingido o seu limite térmico, provocando paradas não previstas do processo e acarretando perdas de produção, por deficiência nos algoritmos dos relés de proteção.

Por outras vezes, também com base em experiências na área de engenharia elétrica da Petrobras, pode ser verificado que, devido à deficiência dos algoritmos das funções de proteção térmica, os motores são submetidos a sobrecargas excessivas, fazendo com que os materiais isolantes de seus enrolamentos sejam danificados, provocando falhas prematuras e curtos-circuitos, os quais requerem a remoção dos motores para serviços externos especializados de reparo e recuperação, ocasionando indisponibilidade de equipamentos e frequentemente comprometendo a **continuidade** operacional dos processos nos quais estão inseridos.

Com base nestas experiências reunidas nas áreas de manutenção, montagem, projeto, normalização e automação elétricos na Petrobras, e diante da oportunidade e do desafio de elaboração de um trabalho de mestrado na área de eletricidade, foi pesquisado e desenvolvido um novo algoritmo matemático para o modelamento de um **sistema térmico** de primeira ordem.

Este modelo simula o comportamento térmico de um motor elétrico industrial. Este algoritmo foi desenvolvido com o objetivo de ser utilizado de forma digital pelos relés de proteção microprocessados (IED), a fim de possibilitar uma proteção térmica mais eficiente, quando comparada com aquela atualmente prevista nas normas técnicas existentes sobre o assunto.

O trabalho de pesquisa desenvolvido e o novo algoritmo de proteção térmica elaborado no Brasil pelo autor, tendo como base as experiências acumuladas na área de engenharia elétrica na Petrobras, foram adotados pela IEC como base para a elaboração da norma internacional

IEC 60255-149: *Functional requirements for thermal electrical relays* (INTERNATIONAL, 2013).

As mudanças, melhorias e benefícios a serem obtidos nos processos de produção, em decorrência da continuidade da implantação mundial de relés digitais de proteção térmica que atendam aos novos requisitos desta norma técnica internacional da IEC possibilitam uma elevação da continuidade operacional e maiores níveis de utilização das capacidades térmicas e de potência dos motores elétricos industriais.

### 3 METODOLOGIA E APLICABILIDADE

A IEC foi fundada em 1906 e representa a maior organização mundial responsável pela elaboração e publicação de normas técnicas internacionais para as áreas de eletricidade para o desenvolvimento e a publicação de normas técnicas internacionais para todas as áreas de tecnologia relacionadas com a eletrotécnica e a eletrônica. A IEC conta com participação de 170 países, possuindo em seu catálogo mais de 10 mil normas técnicas internacionais. Segundo a IEC, 99% da população mundial é abrangida por estas normas técnicas internacionais sobre a eletricidade.

O TC 95 da IEC (*Measuring relays and protection equipment*) é o Comitê Técnico (*Technical Committee*) responsável pela elaboração de normas técnicas internacionais sobre relés de proteção utilizados em diversas áreas da engenharia elétrica, como por exemplo, na proteção de equipamentos elétricos de potência.

A norma IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013), elaborada pelo TC-95 especifica os requisitos para os relés de proteção térmica aplicáveis para proteção de equipamentos elétricos, tais como os motores elétricos industriais.

O objetivo daquela norma é o de estabelecer uma fonte de referência internacional para relés digitais de proteção (IED) que efetuam a proteção de equipamentos elétricos contra danos térmicos, por meio da medição das correntes de fase que circulam pelo equipamento elétrico a ser termicamente protegido. Aquela norma especifica o modelamento matemático a ser implantado nos IEDs com base em um modelo térmico de primeira ordem, com função de memória térmica, para o cálculo do estado térmico do equipamento elétrico a ser termicamente protegido.

A função de proteção térmica é classicamente identificada, de forma numérica, por F. 49, o que serviu de base para a numeração da norma IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013). Esta função de proteção é recentemente designada na norma IEC 61850-7-4: *Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-4: Basic communication structure - Compatible logical node classes and data object classes* (INTERNATIONAL, 2018b), pelo *Logical Node* com mnemônico **PTTR** (ProTectioN / TheRmal), o qual é referenciado na IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013).

O diagrama de blocos da função de proteção térmica especificada na norma IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013) é mostrado na Figura 1.

O diagrama de blocos para a função de proteção térmica de equipamentos elétricos apresenta os parâmetros de entrada para a configuração da proteção, tais como a constante de tempo térmica e a corrente nominal do equipamento do equipamento a ser protegido, bem como as funções de saída da função, tais como alarmes de sobrecarga térmica e *trip* do IED correspondente.

Este trabalho de pesquisa teve como base as experiências práticas e teóricas adquiridas ao longo de 30 anos na área de engenharia elétrica na Petrobras, em função de atividades nas áreas de especificação técnica, normalização, projeto, instalação, inspeção, manutenção e reparos de motores elétricos industriais.

Podem ser citados como exemplos de experiências práticas e teóricas na área de aplicação da função de proteção térmica as atividades de especificação técnica de relés digitais de proteção, os trabalhos de instalação e comissionamento destes equipamentos bem como a elaboração dos estudos de proteção de máquinas elétricas e parametrização das funções de proteção, bem como os testes de aceitação de campo que são realizados antes da entrada dos equipamentos em operação.

A base para o modelamento de um sistema térmico de primeira ordem que foi desenvolvida no trabalho de pesquisa e posteriormente incorporada na norma internacional IEC 60255-149 (IEC, 2013) é apresentada na Figura 2.

As equações diferenciais necessárias para modelar o elemento térmico podem ser implementadas por meio de métodos de programação de algoritmos numéricos nos IEDs. A implementação por meio de *software* do algoritmo matemático do modelo de proteção térmica para um motor é um grande exemplo da aplicação das técnicas de processamento digital de sinais e da facilidade do cálculo de componentes de sequência negativa nos IEDs para proteção de motores elétricos industriais. A Equação (1), na forma do tempo discreto, representa o nível térmico de um motor elétrico, em função da sua corrente de carga:

$$I_{eq\ pu}^2 = \tau \cdot \frac{T_n - T_{n-1}}{\Delta t} + T_n \quad (1)$$

Onde:

$I_{eq\ pu}^2$  corrente equivalente da fonte de aquecimento de entrada, considerando o efeito de aquecimento do motor devido às correntes de sequência positiva e negativa;

$T_n$  e  $T_{n-1}$  duas amostras consecutivas do valor do nível térmico calculado do motor, espaçadas do intervalo de tempo  $\Delta t$  considerado para os cálculos do processo iterativo;

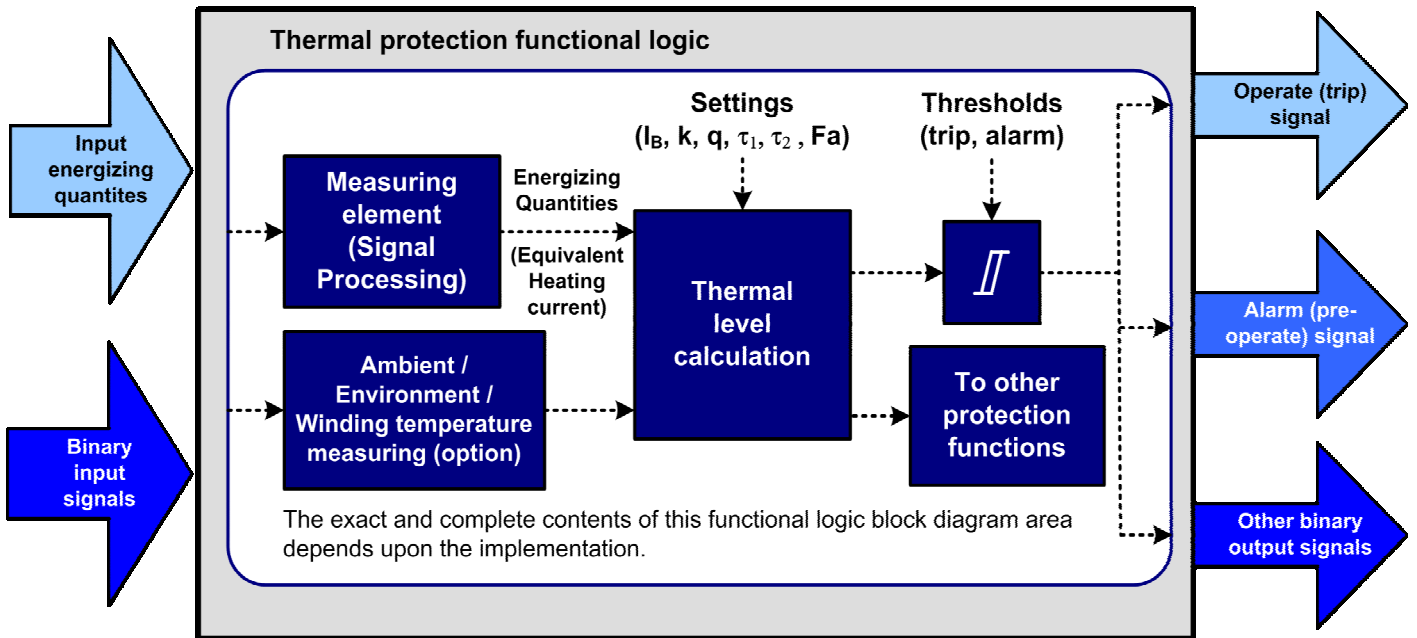


Figura 1 - Diagrama de blocos da função de proteção térmica especificada na Norma IEC 60255-149.

Fonte: INTERNATIONAL, 2013, p. 09.

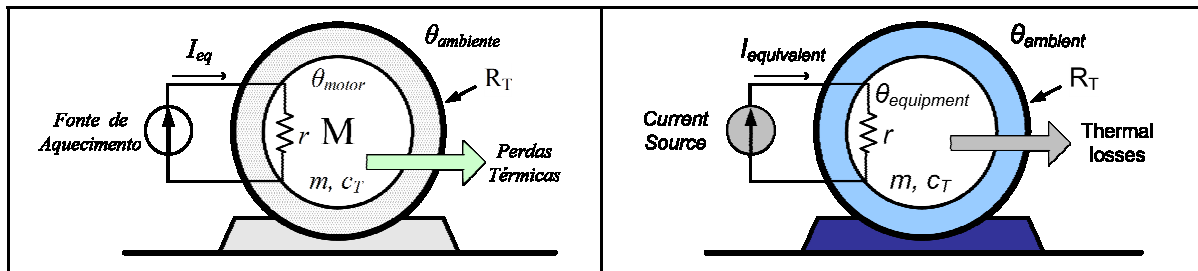


Figura 2 - Modelamento de um motor elétrico, representando um sistema térmico de primeira ordem, o qual é indicado no trabalho de pesquisa realizado no Brasil (a esquerda) e adotado na norma internacional IEC 60255-149 (a direita).

Fonte: BULGARELLI, 2006, p. 79; INTERNATIONAL, 2013, adaptado pelo autor.

- $\tau$  constante de tempo térmica de aquecimento do motor elétrico a ser protegido;
- $\Delta t$  intervalo de tempo entre duas amostras consecutivas das correntes de fase do motor, representando o período de amostragem utilizado pelo IED.

Este modelo térmico tem como base um sistema térmico de primeira ordem, com a aplicação de conceitos físicos da transferência de calor, tal como a constante de tempo térmico ( $T$ ) do corpo a ser modelado, representado neste caso por um motor elétrico, como um corpo homogêneo (incluindo carcaça, estator e rotor).

Resolvendo esta equação para  $T_n$ , que é o valor pretendido a ser calculado do nível térmico atual do motor, obtém-se uma equação iterativa representada pela seguinte equação de diferenças:

$$T_n = I_{eq\ pu}^2 \frac{\Delta t}{\tau + \Delta t} + \frac{\tau}{\tau + \Delta t} T_{n-1} \quad (2)$$

Determina-se finalmente, com o algoritmo indicado na Equação (2), a base para um adequado modelo para a

proteção térmica de motores trifásicos industriais, apropriado para a implementação em relés de proteção microprocessados (IED).

Este algoritmo permite calcular e registrar continuamente o histórico do nível térmico do motor, nas diferentes condições de corrente de partida, corrente de carga e corrente de sobrecarga. Este algoritmo permite também comparar o nível térmico atual do motor com o nível térmico máximo e selecionar o sinal de saída de alarme remoto ou de *trip*, quando os valores atuais excederem os valores de ajustes predeterminados inseridos pelo usuário na configuração do IED. Tais ações de alarme ou *trip* permitem evitar a ocorrência de sobre aquecimento e fornece uma proteção térmica ao motor em qualquer condição de operação.

O algoritmo matemático para a função de proteção térmica adotado na norma IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013) - Equação 1 - tem como base o algoritmo formulado no trabalho de pesquisa realizado no Brasil (Equação 5.33). Para fins de verificação da equivalência de algoritmos, as equações apresentadas no trabalho (BULGARELLI, 2006) e na norma internacional IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013) são apresentadas na Tabela 1.



**Tabela 1 -Verificação da identidade de algoritmos entre norma internacional IEC e trabalhos de pesquisa realizados no Brasil pelo autor.**

	Número da equação	Algoritmo para a função de proteção térmica
Trabalho de pesquisa (realizado pelo autor)	Equação (5.33)	$U_n = \frac{\Delta t}{\tau + \Delta t} I_{eq\ pu}^2 + \frac{\tau}{\tau + \Delta t} \cdot U_{n-1}$
Norma Técnica Internacional IEC 60255-149 elaborada pelo TC 95 da IEC	Equação (1)	$H(t) = \left( \frac{I_{eq}(t)}{k I_B} \right)^2 \cdot \frac{\Delta t}{\tau + \Delta t} + \frac{\tau}{\tau + \Delta t} \cdot H(t - \Delta t)$

Fonte: BULGARELLI, 2006; INTERNATIONAL, 2013, adaptado pelo autor.

Onde:

- $I_{eq\ pu}^2$  corrente equivalente da fonte de aquecimento de entrada, considerando o efeito de aquecimento do motor devido às correntes de sequência positiva e negativa;
- $U_n$  e  $H(t)$  valor atual calculado do nível térmico do motor;
- $U_{n-1}$  amostra do valor calculado anterior do nível térmico do motor, espaçada do intervalo de tempo  $\Delta t$  considerado para os cálculos do processo iterativo;
- $\tau$  constante de tempo térmica de aquecimento do motor elétrico;
- $I_{eq}(t)$  corrente equivalente de fase do motor no instante (t), considerando as correntes de sequência positiva e negativa;
- $I_B$  corrente nominal do motor elétrico a ser protegido termicamente;
- $k$  fator de eventual sobrecarga térmica à qual o motor pode ser continuamente submetido;
- $\Delta t$  intervalo de tempo entre duas amostras consecutivas das correntes de fase do motor, representando o período de amostragem utilizado pelo IED.

A implantação digital do algoritmo da função de proteção térmica para motores elétricos trifásicos industriais é feita por meio da configuração, nos respectivos IED, dos parâmetros das características principais do motor a ser protegido termicamente, tais como sua corrente nominal ( $I_B$ ) e sua constante de tempo térmica de aquecimento ( $T$ ). Os cálculos do estado térmico atual do motor trifásico são feitos no IED para cada uma das três fases, bem como são configuradas as respectivas saídas dos sinais de alarme e de *trip* para a Função 49 (PTTR), como apresentado na Figura 3.

O nível térmico do motor, calculado pela função de proteção térmica é utilizado também para a função de inibição por repartida dos motores elétricos (F. 66 / Logical Node *PMSS – Protection Motor Starting Time Supervision / PMRI Motor Restart Inhibition*). Esta função de proteção inibe partidas consecutivas do motor, que ultrapassem o seu limite térmico (calculado pela Função F. 49/PTTR), de forma a evitar o aquecimento excessivo dos enrolamentos do motor, o que compromete as

características dos seus materiais isolantes, reduzindo o seu tempo de vida útil, o que pode provocar falhas prematuras no sistema de isolamento, tais como correntes de fuga à terra e curtos circuitos entre espiras.

As funções de proteção típicas aplicáveis para motores elétricos trifásicos de indução industriais são mostradas no diagrama unifilar dos circuitos de força e controle da Figura 4.

As funções de proteção, medição e controle típicas aplicáveis para motores elétricos trifásicos de indução industriais, representadas por **Logical Nodes aplicáveis**, são mostradas no diagrama unifilar da Figura 5, onde são apresentados os circuitos de força, medição e controle em um sistema de "Process Bus", de acordo com Série IEC 61850.

Além da adoção do algoritmo elaborado no trabalho de pesquisa elaborado pelo autor, o Anexo A da norma IEC 60255-149, *Simple first-order thermal model of electrical equipment* (INTERNATIONAL, 2013), contendo 14 páginas, o qual descreve as bases físicas e matemáticas para a dedução do algoritmo de proteção térmica, foi elaborado com base na tradução do **português para o inglês** feita pelo autor para o TC 95 da IEC, do Capítulo 5 (Modelo para proteção térmica de motores elétricos industriais baseado em sistemas térmicos de primeira ordem) do seu trabalho de pesquisa.

Exemplos de motores elétricos industriais instalados em unidades industriais da Petrobras, protegidos por relés digitais microprocessados (IED) contendo função de proteção térmica são mostrados na Figura 6.

## 4 EFETIVIDADE DOS RESULTADOS DA PESQUISA

O trabalho de pesquisa elaborado pelo autor detalha o equacionamento matemático de um sistema térmico de primeira ordem, representado por um motor de indução trifásico, e o desenvolvimento de um algoritmo, em tempo discreto, baseado na equação diferencial de um modelo térmico, para a função de proteção térmica com memória total (Função 49/PTTR), adequado para implantação em relés digitais de proteção.

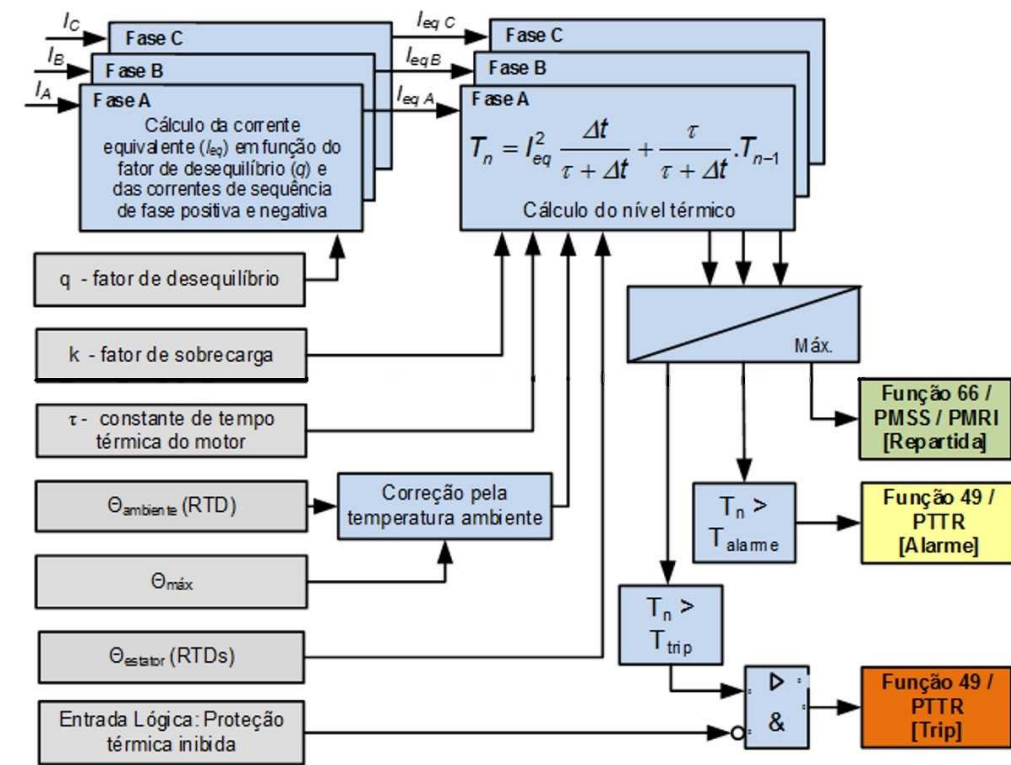


Figura 3 - Diagrama de blocos para a implementação da função de proteção térmica (Função 49 / PTTR) para motores elétricos trifásicos industriais.

Fonte: O AUTOR, 2018; INTERNATIONAL, 2013, adaptado pelo autor.

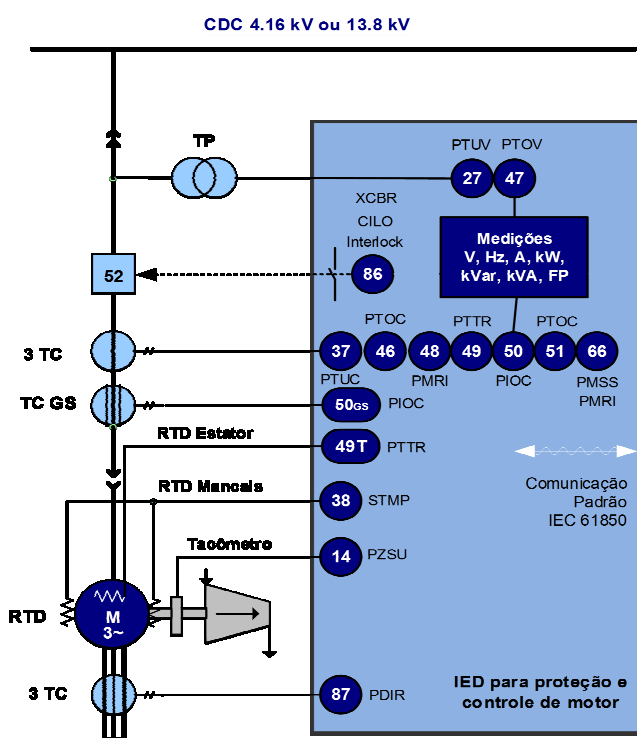


Figura 4 - Diagrama unifilar de circuito de alimentação de força e controle de motor elétrico, com as funções de proteção típicas aplicáveis, incluindo a função de proteção térmica (Função 49 / PTTR).

Fonte: O AUTOR, 2018.

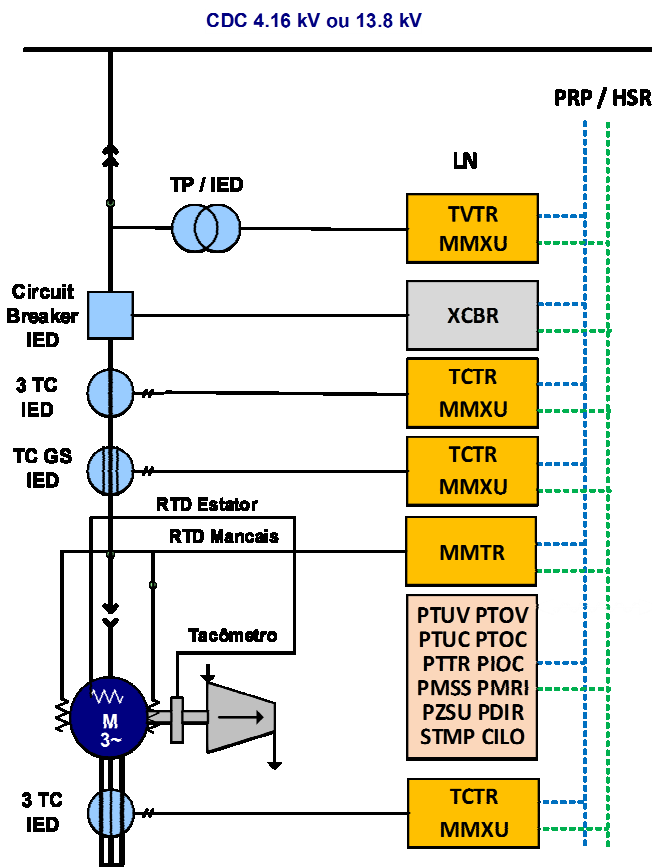


Figura 5 - Diagrama unifilar de circuito de alimentação de força e controle de motor elétrico, com as funções de proteção, controle e medição típicas aplicáveis, incluindo os Logical Nodes PPTR, PMSS, PMRI, relacionadas com a função de proteção térmica (Função 49 / PTTR).

Fonte: BULGARELLI, 2018.



**Figura 6 - Exemplos de motores elétricos industriais instalados em unidades industriais da Petrobras, protegidos por relés digitais microprocessados (IED) contendo função de proteção térmica (F. 49 / PTTR).**

Fonte: O AUTOR, 2018.



**Figura 7 - Exemplo de painel elétrico existente em subestação de Unidade Operacional da Petrobras, contendo relés digitais microprocessados (IED) com a função de proteção térmica (F. 49 / PTTR) para motores elétricos industriais.**

Fonte: O AUTOR, 2018.

O modelo proposto no trabalho de pesquisa e o algoritmo matemático decorrente deste modelo permitem calcular, em tempo real, o **nível térmico atual** de um motor elétrico em operação, protegido por um relé digital.

Este novo algoritmo considera, inclusive, os efeitos adicionais de aquecimento no rotor do motor devido ao desbalanceamento de correntes de fase, decorrente da circulação de correntes de sequência negativa, as quais ocasionam aquecimento adicional devido ao efeito pelicular que ocorre nas barras de cobre dos enrolamentos do rotor.

O algoritmo apresentado no trabalho possui a capacidade de acompanhar, em tempo real, o nível térmico do equipamento elétrico a ser protegido e possibilitar a implantação de **alarme prévio de sobrecarga**, antes da necessidade de efetuar o desligamento do motor, o que contribui para a redução de paradas de processo e de perdas de produção.

Os principais conceitos, equacionamentos, algoritmo para proteção térmica e simulações de dinâmicas do modelo analisados neste trabalho foram enviados pelo Brasil, por meio do Comitê Brasileiro de Eletricidade e Iluminação (COBEI), para análise do *Technical Committee* TC-95 da

IEC, responsável pela elaboração das normas internacionais sobre relés de proteção.

As contribuições sobre proteção térmicas enviadas em nome pelo Brasil foram muito bem recebidas pela IEC, sendo adotadas durante o processo de elaboração da norma internacional IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013).

## 5 APRENDIZADO ORGANIZACIONAL E POSSIBILIDADE DE MULTIPLICAÇÃO

O aprendizado acumulado sobre a função de proteção térmica de motores elétricos industriais foi devidamente consolidado e multiplicado em nível internacional, por meio da elaboração da norma IEC 60255-149 (INTERNATIONAL, 2013).

A multiplicação e a abrangência destes conhecimentos estão sendo realizadas em nível mundial, em função de publicação desta norma internacional, que pode obtida na página da IEC, por todas as partes envolvidas e interessadas neste tema, tais como fabricantes de IED, usuários de funções de proteção de equipamentos elétricos e empresas de engenharias, incluindo os Comitês Técnicos Nacionais de todos os países participantes do IEC.

O trabalho de pesquisa também se encontra disponível para toda a força de trabalho da companhia na [Comunidade de Sistemas Elétricos da Universidade Petrobras](#) (RH/UP).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Decorrente de uma postura de ação inovadora, a decisão pela elaboração de uma norma técnica internacional tornou os benefícios resultantes das boas práticas, lições aprendidas e experiências adquiridas na Petrobras sobre proteção térmica de motores elétricos industriais agora disponíveis, multiplicadas e aplicáveis para os 170 países do mundo que participam ou aplicam as normas técnicas internacionais elaboradas e publicadas da IEC, inclusive o Brasil.

Estas experiências, lições aprendidas e boas práticas são também transmitidas para os empregados da Petrobras por meio da realização de cursos sobre “Características técnicas e funções de proteção de motores elétricos trifásicos para a indústria do petróleo e petroquímica”, que são ministrados pelo Consultor na Universidade Petrobras.

Estes cursos de educação continuada e de formação são ministrados para turmas de técnicos de projeto, construção, montagem, manutenção e de novos engenheiros eletricitas que ingressam na Petrobras.

A apostila deste treinamento encontra-se disponível na Comunidade de Sistemas Elétricos da Universidade Petrobras - Curso de Especialização em Equipamentos Elétricos aplicados à Indústria de Petróleo e Gás Natural (BULGARELLI, 2012).

## 7 CONCLUSÕES

Com a aplicação da norma IEC 60255-149 (IEC, 2013), em nível internacional, os relés digitais de proteção (IED) passam a efetuar uma proteção térmica de forma mais eficaz, colaborando na preservação dos equipamentos elétricos de potência, tais como os motores elétricos industriais.

Com a aplicação continuada desta norma, é esperada, ao longo do tempo, uma elevação na continuidade operacional dos motores elétricos e dos respectivos processos industriais onde estão inseridos, tais como nas refinarias de petróleo e nas plataformas de produção offshore.

Estes benefícios são decorrentes da capacidade de emissão, por parte dos respectivos relés digitais de proteção que utilizam o novo algoritmo matemático, de alarmes prévios do nível térmico dos motores elétricos que estejam sendo protegidos, proporcionando a tomada de ações preventivas por parte das equipes de operação e manutenção, antes que o motor seja desligado por sobrecarga térmica.

São esperados também ganhos relacionados com elevação da capacidade de utilização dos motores elétricos industriais, nas instalações da Petrobras e das outras empresas do mundo, em função do novo algoritmo permitir um acompanhamento do estado térmico dos motores elétricos em tempo real, de uma forma mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

BULGARELLI, Roberval. **Características técnicas e funções de proteção de motores elétricos trifásicos para a indústria do petróleo e petroquímica**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2012. Apostila do curso de Engenharia Elétrica. Disponível em: <<http://cv.universidade.petrobras.com.br/eletrica/minisites/CENEL-1/Material%20Did%C3%A1tico/Caracteristicas%20e%20Protecao.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. **Proteção térmica de motores de indução trifásicos industriais**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Automação Elétricas)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-01122006-134918/pt-br.php>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034: Electrical rotating machines**. Geneva, 2018a. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/searchform&q=60034>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. **IEC 60255-149: Measuring relays and protection equipment: Part 149: Functional requirements for thermal electrical relays**. Geneva, 2013. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/publication/1165>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. **IEC 61850: Communication networks and systems for power utility automation**. Geneva, 2018b. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/searchform&q=61850>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy- efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems**. Paris, 2011. Disponível em: <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE\\_for\\_ElectricSystems.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EE_for_ElectricSystems.pdf)>. Acesso em: 21 jun. 2018.



**Roberval Bulgarelli**

Graduação (1985) em Engenharia Elétrica. Mestrado (2006) em Proteção de Sistemas Elétricos de Potência pela USP/POLI. Petrobras. RPBC/ESTO – Cubatão, SP  
E mail: bulgarelli@petrobras.com.br