



# 10º Encontro de Ensino Pesquisa e Extensão

Patrocínio, MG, outubro de 2023

## ESTUDO DE CASO: PARTIDA INDIRETA PARA UM MOTOR MONOFÁSICO DE USO RURAL

Fábio Henrique de Lima Amorim  
Artur de Almeida Rios  
Halyne Silva Borges  
IFTM - Campus Patrocínio  
Modalidade: Pesquisa  
Formato: Artigo Completo  
Agência Financiadora: PIBITI CNPq

### Resumo:

Os motores elétricos monofásicos desempenham um papel crucial nas zonas rurais que utilizam o sistema de distribuição monofilar com retorno por terra, no qual é o sistema mais utilizado pelas concessionárias por conta do seu custo ser menor. Esses motores são essenciais para o funcionamento de equipamentos nessas áreas, onde a utilização de motores trifásicos não é viável, como ocorre na Fazenda Barreiro, no qual passava por um desafio que envolvia a partida de um motor monofásico. Para assegurar o funcionamento eficiente desse motor e evitar interrupções indesejadas, foi realizado um embasamento teórico nas partidas utilizadas em motores trifásicos e a partir desses estudos foram desenvolvidas soluções que se aplicam em motores monofásicos. Essas soluções envolvem a utilização da chave de partida *soft-starter*, que regula a tensão durante a partida, e a partida série-paralelo, que altera o fechamento do motor. Por meio da criação de diagramas elétricos, juntamente com análise realizada pelo analisador de qualidade de energia, foi possível compreender o funcionamento das partidas desenvolvidas. Além disso, foi projetado um painel elétrico, visando a disposição ideal dos componentes com o intuito de simplificar o processo da montagem. A solução final desenvolvida garante um funcionamento adequado do motor, evitando interrupções durante a partida, além de preservar os demais equipamentos presentes na mesma instalação elétrica.

**Palavras-chave:** Motor monofásico; partida série-paralelo; *soft-starter* monofásico.

### Introdução

Os motores elétricos têm um papel crucial em diversas áreas. De acordo com Rocha et al. (2018), esses motores desempenham um papel fundamental no avanço das atividades agrícolas, pecuárias e agroindustriais, aumentando a produtividade e a

qualidade dos produtos. Eles são responsáveis por acionar equipamentos essenciais nas propriedades rurais, como máquinas agrícolas, bombas de água e ventiladores.

Nesse contexto, é de suma importância compreender a escolha e o uso adequado dos motores elétricos nas áreas rurais. Silva (2015) destaca que grande parte das zonas rurais adotam o sistema de distribuição monofilar devido à sua maior economia em relação ao sistema trifásico, especialmente quando as cargas são pequenas e distantes das subestações. Isso faz com que os motores elétricos monofásicos sejam a única opção viável.

Esse contexto nos direciona ao desafio enfrentado na Fazenda Barreiro, situada no município de Patos de Minas, onde um motor monofásico de 7,5 cv está sendo usado em um triturador de grãos. No entanto, esse motor não está em conformidade com a norma ND-5.1 (Norma de Distribuição) da CEMIG atualizada em 2022, pois sua partida ocorre de forma direta, levando a quedas de tensão e até mesmo ao desligamento da energia em momentos de cargas intensas.

O proprietário descarta a possibilidade de substituir o motor monofásico por um trifásico, haja vista o elevado custo de aquisição, aliado à necessidade de solicitar junto à CEMIG a implementação de uma rede trifásica, cujos custos são de responsabilidade do cliente que faz a solicitação. Além disso, a fazenda já conta com uma micro usina fotovoltaica conectada à rede (*on-grid*) em operação, o que torna essa alteração ainda mais inviável. Sendo assim será necessário o desenvolvimento de uma partida indireta para tal motor.

## **Objetivos**

Desenvolver uma solução que garanta o funcionamento contínuo e eficiente tanto do motor quanto do sistema em geral, por meio da implementação de uma partida indireta, seja de forma eletrônica ou pela troca do fechamento do motor. Conduzir testes para análise da corrente durante a partida, comparar os resultados e definir os dispositivos de proteção necessários, além de avaliar os custos. Por fim, definir a partida ideal junto ao proprietário e realizar a montagem do painel elétrico correspondente.

## **Metodologia**

Inicialmente, com base no referencial teórico, serão elaborados diagramas de potência e controle por meio do *software* CADe\_SIMU (versão 4.0). Com as partidas já

desenvolvidas, será realizada a montagem das mesmas em um motor de  $\frac{1}{4}$  cv, utilizando a bancada de acionamentos elétricos do IFTM - Campus Patrocínio para tal teste.

Com o objetivo de avaliar o comportamento das correntes de partida, será utilizado o analisador de qualidade de energia Minipa® ET-5062, para o comparativo entre as partidas, auxiliando na escolha de qual será implementada.

Com o tipo de partida já definida, será efetuado o dimensionamento adequado dos contadores e dispositivos de segurança necessários para o acionamento do motor. Por último, será realizada a montagem e instalação do painel elétrico.

### **Referencial teórico**

O sistema de distribuição MRT (Monofilar com Retorno por Terra) apresenta um único condutor metálico e o retorno da corrente à fonte é feito pela terra. Esse sistema é amplamente utilizado em áreas rurais e comunidades com baixas densidades populacionais, a exemplo do Brasil, pois é capaz de trazer o fornecimento de energia elétrica com um custo mais baixo (SILVA, 2015).

A Escola Técnica Federal de Pelotas realizou estudos que mostraram que a utilização de um sistema MRT pode ser até 3,6 vezes mais econômico do que um sistema trifásico convencional e 2,9 vezes mais econômico do que um sistema monofásico com dois condutores (SILVA, 2015).

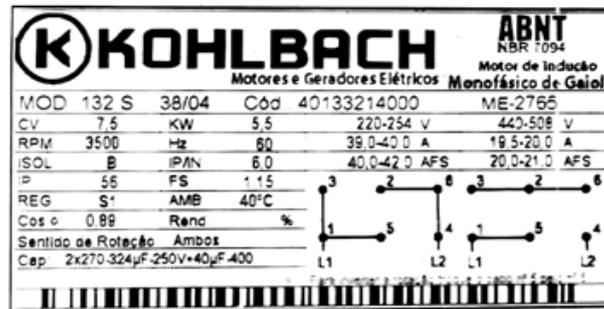
Diferentemente do sistema trifásico urbano na qual as duas fases de 127V geram uma tensão de linha de 220V, no sistema MRT há somente um cabo de alta tensão nos transformadores de alta para baixa tensão, sendo o retorno realizado por meio de uma haste aterrada, proporcionando 127V - 0 - 127V, resultando em uma tensão de 254V nos seus extremos (YOJI KONDA, 2011).

Os motores de indução monofásicos, no qual são utilizados no sistema MRT, utilizam um estator com um conjunto de bobinas e são alimentados por uma ou duas fases de corrente alternada, resultando em um campo magnético pulsante unidirecional. Para superar a falta de torque de partida, são aplicadas técnicas como enrolamentos de fase dividida, enrolamentos com capacitores e pólos sombreados, cada um proporcionando o movimento inicial do motor (CHAPMAN, 2013).

Devido à ampla presença do sistema MRT em áreas rurais, os fabricantes de motores elétricos produzem modelos específicos para uso rural, com bobinas que suportam tensões de até 254V. Essa informação pode ser observada na Figura 2, na qual representa uma placa de identificação de motor monofásico de 7,5 cv e 3500 RPM,

retirado na publicação de Agostini (2008). Além disso, o motor da Figura 1 é o mesmo motor utilizado na Fazenda Barreiro.

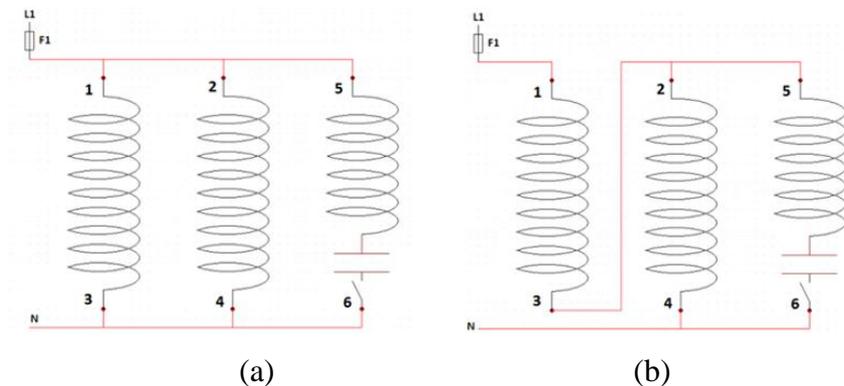
Figura 1 - Placa de identificação do motor.



Fonte: AGOSTINI, 2008.

Os motores elétricos possuem uma característica muito importante, que é o seu fechamento. No caso do motor monofásico da placa de identificação da Figura 1, possui seis terminais com três bobinas, sendo duas principais e uma auxiliar, que podem ser ligadas em série ou em paralelo, conforme a Figura 2 (ZANDER, 2016).

Figura 2 - (a) Fechamento em paralelo; (b) Fechamento em série.



Fonte: ZANDER, 2016.

A partida de motores elétricos pode provocar uma corrente de até oito vezes maior que a corrente nominal, devido à inércia do motor. Essa corrente é mais crítica na partida direta, no qual é indicada para motores de baixa potência e máquinas que não necessitam de aceleração gradual. A elevada corrente de partida do motor pode causar quedas de tensão no sistema de alimentação da rede e interferências em equipamentos instalados (FRANCHI, 2008).

Segundo a ND-5.1 (CEMIG, 2022), representada pela Figura 3, não é permitida a utilização da partida direta para motores monofásicos acima de 5 cv, no

fornecimento do tipo B, com tensões 220-240 V, no qual o proprietário da Fazenda Barreiro se encontra.

Figura 3 - Limites máximos de potência de motores.

Tipo do Motor	Fornecimento			Partida Direta	Rotor em gaiola - Dispositivos Auxiliares de Partida							Rotor Bobinado ( Nota 1)
	Tipo	Nº de Fios	Tensão ( V )		Chave Série Paralelo	Chave Estrela Triângulo	Compensador de Partida ( % Vn )			Resistência ou Reatância Primária		
							50%	65%	80%	70%	85%	
Motor Monofásico	A	2	127	2 CV	-	-	-	-	-	-	-	-
			120									
	B	3	220	5 CV	-	-	-	-	-	-	-	-
			240									
H	3	120/240	10 CV	15 CV	-	15 CV	15 CV	12,5 CV	15 CV	12,5 CV	-	
C	4	220	5 CV	15 CV	15 CV	15 CV	12,5 CV	7,5 CV	7,5 CV	6 CV	10 CV	
Motor Trifásico	C (transfornad or exclusivo)	4	220	10 CV	-	-	-	75 CV	60 CV	75 CV	60 CV	60 CV

Fonte: CEMIG, 2022.

A partida estrela-triângulo é uma técnica utilizada para alimentar o motor com uma redução de tensão durante a partida. Nessa partida, o motor é inicialmente alimentado em estrela, com uma tensão de 58% da tensão nominal, e depois convertido em triângulo, assumindo a tensão nominal. Com isso, há uma redução de cerca de 33% na corrente de partida em relação ao valor nominal (FRANCHI, 2008).

Essa técnica é recomendada para aplicações com conjugado resistente de até um terço do conjugado de partida. Para utilizar essa partida o motor deve ter a possibilidade de ligação em dupla tensão e seis bornes de ligação, além disso ele deve ser alimentado na menor tensão (FRANCHI, 2008).

Outra forma de partir indiretamente um motor é utilizando um *soft-starter*, no qual é um dispositivo eletrônico que conta com dois tiristores em conexões antiparalelas por fase. Por meio do deslocamento de fase e da aplicação de diferentes procedimentos de regulação, é possível aumentar gradualmente a tensão durante um tempo de partida desejado. Seu objetivo principal é evitar correntes de partidas altas durante as partidas dos motores e prolongar sua vida útil (ROSA, 2021).

Os *soft-starters* disponíveis atualmente são concebidos praticamente para motores de indução trifásicos, ou seja, destinam-se apenas a este tipo de motor utilizado na indústria, porém, empregar uma partida suave em motores monofásicos é altamente benéfico. (ESTEVEZ-MARTINEZ, BRAVO-TAPIA, et al., 2019).

## Desenvolvimento e resultados

O motor utilizado no triturador de grãos da Fazenda Barreiro, Figura 4 (a), utilizava uma chave de partida direta ilustrada na Figura 4 (b). Essa chave encontrava-se

em péssimas condições, além disso motor é alimentado com 245 V fase-fase e a chave possuía apenas um disjuntor monopolar, não estando em conformidade com a NBR 5410 (ABNT, 2008) que indica que o dispositivo de seccionamento deve seccionar efetivamente todos os condutores vivos de alimentação do circuito respectivo.

Figura 4 - (a) Motor monofásico de 7,5 cv; (b) Chave de partida direta.



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

Por meio da Figura 1, verifica-se que sua corrente nominal é de 40A quando ligado a 250V. Como o seu  $I_p/I_n$  é igual a 6, sua corrente de partida pode chegar a 240A. Foi observado, por meio de um multímetro analógico, que a queda de tensão era superior a 10% no momento da partida, como ilustrado na Figura 5. Tal situação não estava de acordo com a ABNT NBR 5410:2004.

Figura 5 - (a) Tensão antes da partida; (b) Tensão durante a partida.



(a)

(b)

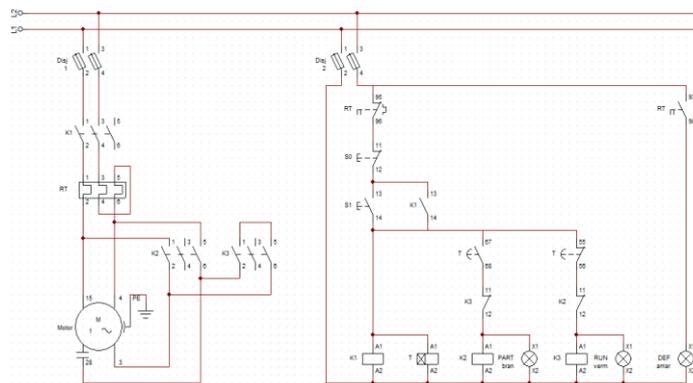
Fonte: Autoria própria.

Com base no referencial teórico, foram realizadas pesquisas para identificar um dispositivo eletrônico de partida que fosse voltado para motores monofásicos. Foi encontrado um soft-starter da fabricante EARU Eletric, que desempenha o papel de regular a tensão durante a partida, porém, ao contrário dos trifásicos, não possui nenhuma proteção de curto e sobrecarga. Além disso, através do estudo dos fechamentos dos

motores monofásicos e da partida estrela-triângulo, foi idealizado o funcionamento de uma partida série-paralela.

O funcionamento da partida série-paralelo (Figura 6) ocorre da seguinte maneira: quando K3 está fechado e K2 aberto, o acionamento do motor é realizado com o fechamento de maior tensão. Após um determinado tempo, o relé temporizador irá comutar, resultando no fechamento para a menor tensão, ou seja, K2 fechado e K3 aberto. Esse processo é semelhante ao que acontece na partida estrela-triângulo.

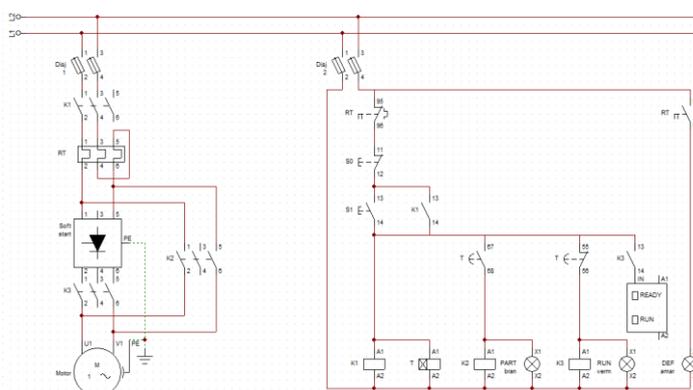
Figura 6 - Diagrama de partida série-paralelo.



Fonte: Autoria própria.

Com o *soft-starter* (Figura 7), o processo de controle é semelhante: quando K3 está fechado e K2 aberto, o acionamento do motor é realizado de forma suave. Após chegar em sua velocidade nominal, o relé temporizador irá comutar, resultando em um *bypass*, ou seja, K2 fechado e K3 aberto, sendo alimentado diretamente da rede. Isso reduz o desgaste e o superaquecimento, prolongando sua vida útil.

Figura 7 - Diagrama de partida com *soft-starter*.

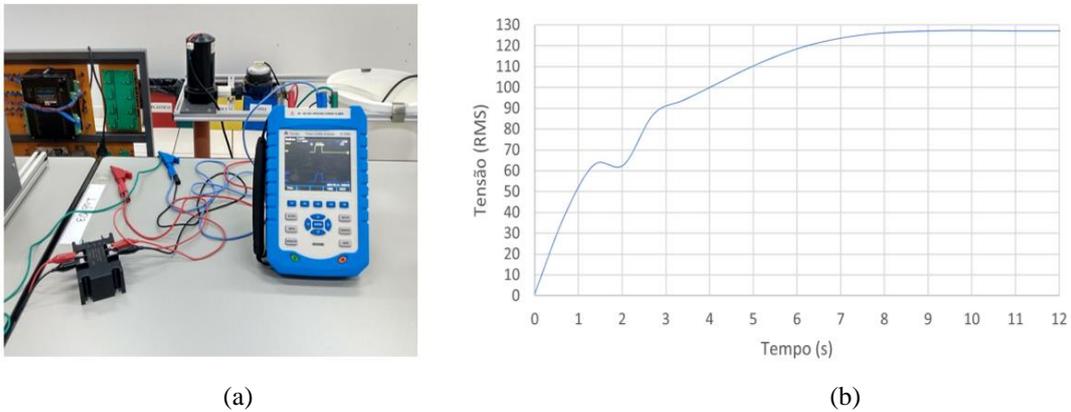


Fonte: Autoria própria.

Com o intuito observar o comportamento do *soft-starter* monofásico, foi utilizado o Minipa® ET-5062, Figura 8 (a), para obter a rampa de tensão que está

representada na Figura 8 (b). Foi possível confirmar que a rampa de tensão é adequada, chegando na tensão nominal em torno de 9 segundos. Essa configuração pode ser ajustada tanto no próprio equipamento, como também o valor de tensão inicial.

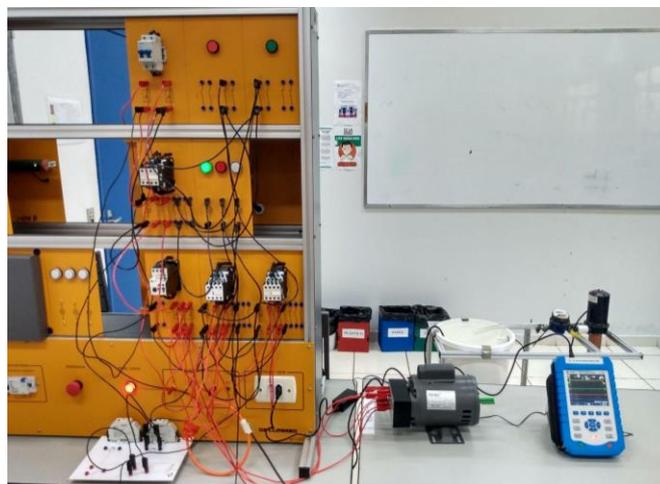
Figura 8 - (a) Analisando a tensão de saída do *soft-starter*; (b) Rampa de tensão.



Fonte: Autoria própria.

Foram montadas as partidas diretas, estrela-triângulo (Figura 9) e a partida com *soft-starter* na bancada de acionamentos elétricos do IFTM - Campus Patrocínio.

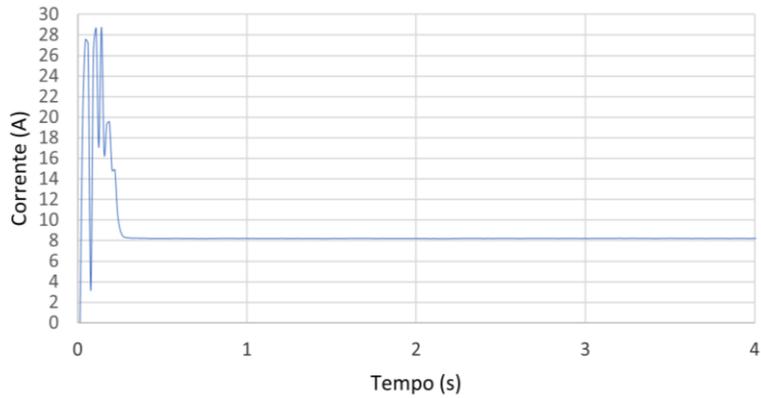
Figura 9 - Montagem da partida série-paralelo.



Fonte: Autoria própria.

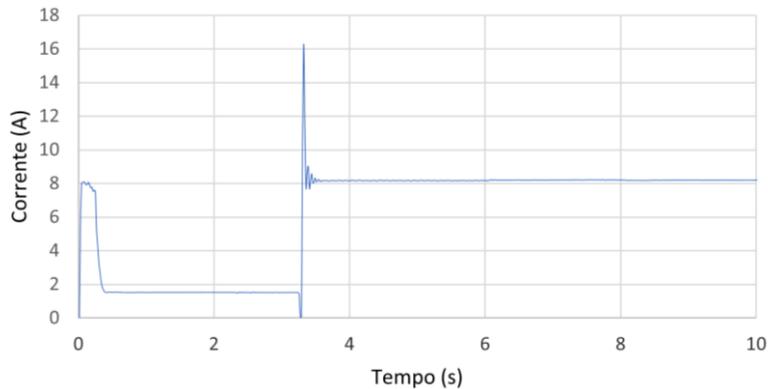
Por meio do analisador de qualidade de energia, foi obtido o comportamento das correntes nas duas partidas no motor monofásico de  $\frac{1}{4}$  cv, uma vez que não foi viável testar com o motor de 7,5 cv. A corrente na partida direta (Figura 10) alcançou 3,5 vezes o valor nominal, enquanto na partida série-paralelo (Figura 11) chegou a 2 vezes, representando uma notável redução. Por sua vez, no uso do *soft-starter* (Figura 12), a corrente não registrou aumento significativo, estabilizando-se após cerca de 6 segundos, cumprindo assim as expectativas.

Figura 10 - Corrente partida direta.



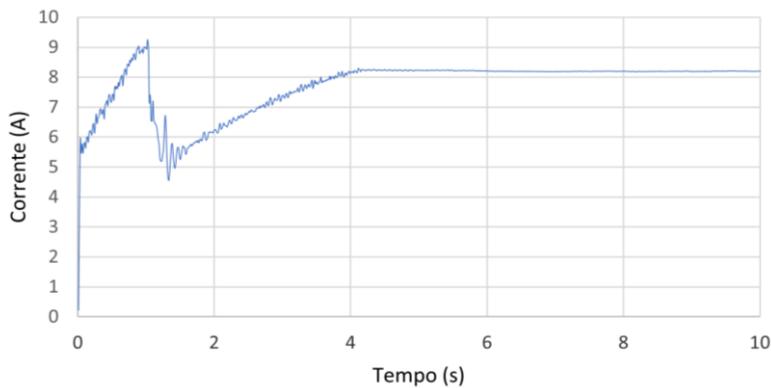
Fonte: Autoria própria.

Figura 11 - Corrente partida série-paralelo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 12 - Corrente com *soft-starter*.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados foram apresentados ao proprietário do motor e chegou-se à decisão de utilizar o *soft-starter*. Isso se deve ao fato de que os componentes necessários são praticamente idênticos. Além disso, a chave eletrônica possui a vantagem de poder ser empregada em qualquer motor, independentemente de seu fechamento e tensão de alimentação. Isso possibilita que o proprietário a reutilize em diferentes situações.

Com o acionamento já determinado, procedeu-se ao dimensionamento do relé térmico para proteção contra sobrecargas. Utilizou-se a seguinte equação, obtida no livro de Franchi (2008), para calcular a corrente do relé:  $I_r = 1,15 \times I_n$ . Ficou estabelecido que a corrente seria ajustada para 46 A, o que demandou um relé com faixa de ajuste entre 37 e 50 A. Como a corrente nominal é cerca de 40 A, optou-se por contatores de 50 A e um cabo de 10 mm<sup>2</sup>. Além disso, foi dimensionado um disjuntor de 50A para proteção dos circuitos, não sendo necessário considerar sua curva, uma vez que a partida direta não está sendo utilizada.

Na Tabela I se encontram os componentes utilizados com os seus valores.

Tabela I - Orçamento de materiais necessários.

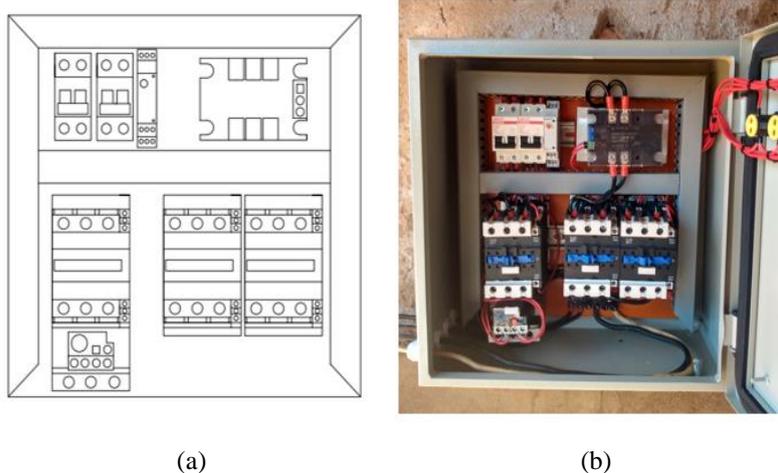
Quantidade	Descrição	Preço (R\$)
1	Soft-starter SSR-150WA-R1	260,00
1	Relé temporizador	45,00
1	Relé térmico JR28-95 37-50A	70,00
3	Chave Contatora CJX2 50A 220V	495,00
1	Painel De Montagem 40x40x20	200,00
1	Caneleta ventilada 30x50	50,00
5	Cabo flexível 10 mm <sup>2</sup>	40,00
10	Cabo flexível 1,5 mm <sup>2</sup>	15,00
1	Trilho perfurado DIN	10,00
2	Disjuntor Bipolar 10/50 A	60,00
3	Botoeiras	30,00
3	Sinaleiras	36,00
X	Valor total do painel	1311,00

Fonte: Autoria própria.

Antes de efetuar a montagem do painel de partida do motor, seu desenho foi criado no AutoCAD® 2022 para definir a disposição ideal de todos os componentes, ilustrado na Figura 13 (a). Como todos os componentes empregados na partida com soft-starter estão também presentes na partida série-paralelo, o painel foi projetado para permitir a utilização de ambas as partidas. Em caso de defeito no dispositivo eletrônico, bastará realizar alguns ajustes para empregar a partida série-paralelo.

Para realizar a montagem, os componentes foram instalados de acordo com o projeto idealizado. Em seguida, os cabos de 10 mm<sup>2</sup>, destinados à alimentação do motor, foram passados e conectados, visando facilitar a sua instalação. Em seguida, o circuito de comando foi passado. Com o intuito de conferir as ligações, foram realizados testes no circuito de comando e força antes da instalação no local designado. Após a confirmação do funcionamento adequado, o circuito foi instalado no local, conforme evidenciado na Figura 13 (b).

Figura 13 - (a) Painel idealizado; (b) Painel finalizado.



Fonte: Autoria própria.

### Considerações Finais

Com o desenvolvimento deste estudo de caso, ficou constatada a importância de adaptar soluções presentes em outros setores, como na indústria, para um contexto rural, que muitas vezes não é abordado no meio acadêmico.

Ao implementar a partida com soft-starter na Fazenda Barreiro, ficou evidente que é possível aplicar outras partidas para motores monofásicos, garantindo assim um funcionamento mais eficiente e confiável, evitando interrupções indesejadas e contribuindo para a otimização das atividades rurais.

Após a instalação do painel elétrico, até o presente momento em que este artigo foi escrito, o motor esteve em funcionamento durante três meses e não apresentou nenhuma falha relacionada aos seus componentes elétricos. Além disso, o relé térmico atuou em duas ocasiões, evitando o sobreaquecimento do motor.

Fica como sugestão para trabalhos futuros a utilização dessa mesma chave eletrônica para o acionamento de uma bomba de água em um local remoto, onde se utilizam baterias carregadas por um sistema fotovoltaico, com intuito de verificar se há algum aumento significativo na eficiência e vida útil do sistema.

### Referências

ABNT. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro, 2008.

AGOSTINI, N. Circuitos elétricos. **CCA Materiais Elétricos**, 2008. Disponível em: <[https://www.coisarada.net/assets/uploads/ee4bf-circuitos\\_eletricos\\_industriais.pdf](https://www.coisarada.net/assets/uploads/ee4bf-circuitos_eletricos_industriais.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2023.

Autodesk, Inc. **AutoCAD 2022**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/>>. Acesso em: 15 de maio.

CADe\_SIMU. **Software de diagramas em comandos elétricos**. Disponível em: <<https://www.cadesimu.net>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

CEMIG. Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária – Rede de Distribuição Aérea – Edificações Individuais. **Norma de Distribuição 5.1**, 2022. Disponível em: <[https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/nd5\\_1\\_000001p.pdf](https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/nd5_1_000001p.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2023.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. Cap. 9.

ESTEVEZ-MARTINEZ, et al. Circuito de arranque suave para un motor monofásico de corriente alterna conectado a un Sistema Fotovoltaico. **Revista de Innovación Sistemática**, 2019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/350624084\\_Circuito\\_de\\_arranque\\_suave\\_para\\_un\\_motor\\_monofasico\\_de\\_corriente\\_alterna\\_conectado\\_a\\_un\\_Sistema\\_Fotovoltaico](https://www.researchgate.net/publication/350624084_Circuito_de_arranque_suave_para_un_motor_monofasico_de_corriente_alterna_conectado_a_un_Sistema_Fotovoltaico)>. Acesso em: 03 abr. 2023

FRANCHI, C. M. **Acionamentos Elétricos**. 4ª. ed. São Paulo: Erica Ltda, 2008.

Minipa Eletric. **Analizador de Qualidade de Energia ET-5062**. Disponível em: <<https://www.minipaelectric.com.br/rodape-analísadores-energia/370-et-5062>>. Acesso em: 15 de maio.

ROCHA, I. M. et al. Motores elétricos em instalações rurais: importância e aspectos técnicos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 1-18, 2018.

ROSA, J. P. C. D. L. Prototipo de arranque suave para un motor monofásico de corriente alterna conectado a un sistema de bombeo. **Revista Electrónica Sobre Tecnología, Educación y Sociedad - CTES**, 2021. Disponível em: <<https://www.ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/745>>. Acesso em: 01 abr. 2023.

SILVA, M. S. **Análise de desempenho de redes de distribuição monofilares com retorno pela terra (MRT) frente a descargas atmosféricas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, 2015. Disponível em: <[https://www.ufpe.br/documents/39830/1359036/269\\_MarcioSilva/2ac79085-0d82-40cf-a291-3ebe415458e7](https://www.ufpe.br/documents/39830/1359036/269_MarcioSilva/2ac79085-0d82-40cf-a291-3ebe415458e7)>. Acesso em: 25 mar. 2023.

YOJI KONDA - EPP. Programa luz para todos - Rede rural monofásica MRT 254/127v. **KELETON / FONTAT**. 2011. Disponível em: <<https://tinyurl.com/yqfjj56y>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

ZANDER, S. Guia prático sobre motor monofásico de fase auxiliar. **Academia do Eletricista**. 2016. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/46753814-Motor-monofasico-de-fase-auxiliar-ligacoes-fechamentos-e-polarizacao.html>>. Acesso em: 26 mar. 2023.