

# Atuadores

## Aula 07 - Acionamento eletrônico de motores elétricos



## Apresentação

---

Nesta aula, continuaremos os estudos acerca do acionamento dos motores ligados à rede de corrente alternada. Agora, você estudará as chaves de estado sólido e, ainda, aprenderá de que maneira poderá controlar os motores por meio de dispositivos eletrônicos chamados *choppers*, que utilizam componentes eletrônicos e atuam como chaves. Em seguida, será explicado o dimensionamento das chaves soft starter e dos conversores de frequência, bem como seus princípios de funcionamento, suas características de atuação e seu dimensionamento.



### Objetivos

Conhecer os conversores usados para controlar a velocidade de motores.

Conhecer os tipos de chaves eletrônicas usadas para ligar os motores.

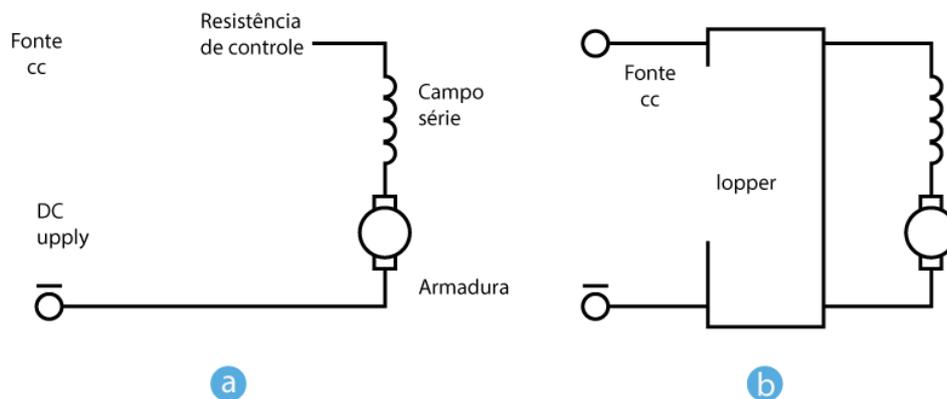
Aprender a dimensionar, montar e parametrizar as chaves eletrônicas de acordo com sua aplicação.

# 1. Acionamento eletrônico de motores elétricos

As configurações das máquinas elétricas básicas (Corrente Contínua – CC, Indução e Síncrona) têm permanecido inalteradas durante as últimas décadas e, muito provavelmente, ainda permanecerão desse modo por muitos anos. No entanto, as técnicas de controle dessas máquinas têm sofrido mudanças significativas. Por exemplo, os motores de CC série são usados para propulsão de trens e de metrô, e a velocidade desses veículos tem sido controlada durante muitos anos pela inserção de resistências em série com motores CC, como exibe a Figura 01a.

Recentemente, conversores do tipo *choppers* que utilizam componentes de estado sólido, ou seja, que podem converter uma voltagem contínua constante em uma voltagem variável, têm sido usados para esse propósito, como mostra a Figura 01b. O controle por estado sólido provê controle suave e com alta eficiência. Outras máquinas elétricas também podem ser controladas através de conversores apropriados. Nesses conversores são usados dispositivos semicondutores de alta potência em função de chaves que ligam e desligam (*on-off*) em altas frequências.

**Figura 01** - Controle de velocidade de motores cc série. (a) Com resistência de controle. (b) Controle via chopper.



Na Figura 01(a), podemos observar uma fonte de tensão contínua alimentando um banco de resistência, o qual controlará a corrente na bobina de campo e na da armadura de um motor cc série. Já na Figura 01(b), que apresenta as mesmas bobinas, de campo e da armadura, o controle da corrente é feito através do *choppers*.

Os vários tipos de conversores que são frequentemente usados para o controle de máquinas elétricas estão listados a seguir:

▼ **Controladores de voltagem alternada (CA para CA)**

Convertem uma voltagem constante CA para uma voltagem variável também CA. Podem ser usados para controlar a velocidade de um motor de indução (método de controle por voltagem) e para partida suave (soft starter) de motores de indução.

▼ **Retificador controlado (CA para CC)**

Converte uma voltagem CA constante para uma voltagem variável CC. É usado principalmente para controlar a velocidade de motores CC, como os usados em laminadores.

▼ **Chopper (CC para CC)**

Converte uma voltagem CC constante para uma voltagem CC variável. É usado principalmente no controle de velocidade de motores CC.

▼ **Inversor (CC para CA)**

Converte uma voltagem CC constante (ou variável) para uma voltagem CA com frequência variável. Pode ser usado para controlar a velocidade de motores CA.

▼ **Cicloconversores (CA para CA)**

Convertem uma voltagem CA constante, de frequência também constante, para voltagem e frequência (menor) CA variáveis. Podem ser usados para controlar a velocidade de motores CA.

## 2. Tipos de chaves eletrônicas

---

Os dois modelos de chaves de estado sólido mais utilizados na indústria são a chave Soft-Starter (Figura 02a) e o Inversor de Frequência (Figura 02b), que serão estudados a seguir.

**Figura 02** - Imagens da Soft-starter e do inversor de frequência.



**Fonte:** a) ESER. Disponível em:

<[https://www.eser.com.br/imagens\\_sistema/220d3e2bcbc0a372ade2be9c9113f24f.jpg](https://www.eser.com.br/imagens_sistema/220d3e2bcbc0a372ade2be9c9113f24f.jpg)>. Acesso em: 27 out. 2017.

b) WEG S.A. Disponível em:

<[https://static.weg.net/medias/images/h24/he6/WDC\\_InversorFrequencia\\_CFW700\\_1200Wx1200H.jpg](https://static.weg.net/medias/images/h24/he6/WDC_InversorFrequencia_CFW700_1200Wx1200H.jpg)>. Acesso em: 27 out. 2017.

### 2.1 Soft-Starter

As chaves de partida suave utilizadas na partida de motores de corrente alternada já estão consolidadas no mercado. A evolução dos processos e das máquinas criou um ambiente propício ao acionamento suave, controlado e com múltiplos recursos disponibilizados pelo controle digital. Além disso, há uma maior consciência de que nossos recursos exigem conservação cuidadosa, o que faz da Soft-Starter um equipamento sintonizado com o cenário energético atual e colaborador do uso racional de nossas instalações.

A seguir, estudaremos uma chave Soft-Starter fabricada pela WEG. Essa chave foi escolhida como base para o conteúdo desta aula, devido à facilidade de se conseguir material técnico disponível no meio digital. No entanto, outros fabricantes também apresentam equipamentos com características semelhantes.



É importante que você siga as recomendações que constem nos catálogos dos equipamentos desses fabricantes para não cometer erros de especificações, instalação, parametrização e operação inadequada.

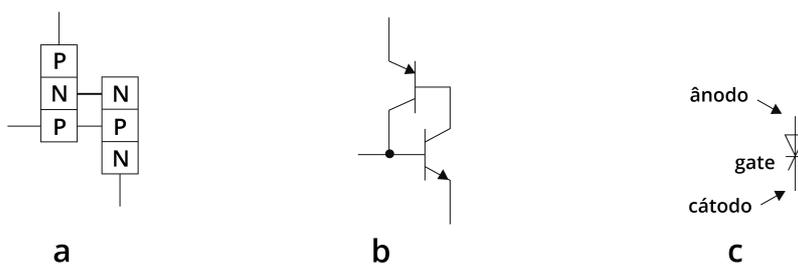
## 2.2 Princípio de funcionamento

---

Entender o funcionamento dessa chave é importante para construir uma base sólida de conhecimento, a partir da qual você poderá usar o equipamento extraindo dele o melhor desempenho e controle, quando aplicado ao acionamento dos motores elétricos.

Para iniciar nossos estudos, falaremos um pouco sobre um dos principais componentes da chave: o tiristor SCR. O SCR (Silicon Controlled Rectifier) pode ter suas representações física, esquemática e simbólica vistas na Figura 03.

**Figura 03** - Representações do SCR

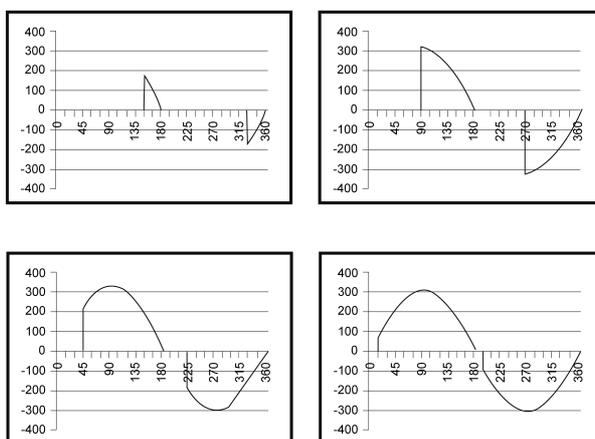


(a) física, (b) esquemática e (c) simbologia.

**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2016).

O controle do ângulo de disparo do tiristor é feito através do gate, ou gatilho, como é conhecido, e permite controlar a tensão média aplicada à carga, controlando, assim a corrente e a potência desta. Na sequência, observaremos a forma de onda da tensão em uma das fases do motor durante quatro instantes diferentes. A partir deles, é possível observarmos que, ao se reduzir o ângulo de disparo dos SCR, ou seja, o tempo em que o gate ficará acionado, a tensão a ser aplicada no motor aumenta, fazendo a corrente no motor também aumentar.

**Figura 04** - Imagens do ângulo de disparo de um SCR

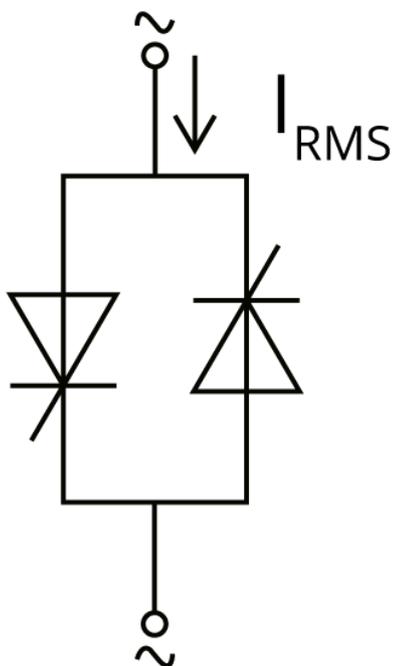


**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2016).

Na Soft-Starter, o controle da tensão tem de ser feito nos dois sentidos da onda senoidal da tensão, como visto na Figura 04. Assim, devemos utilizar a configuração antiparalela de dois SCR por fase. Na Figura 05 temos a representação do circuito de

uma fase da Soft-Starter, no qual aparecem dois SCR instalados de maneiras opostas, com o objetivo de conduzir a corrente nos dois sentidos da onda senoidal.

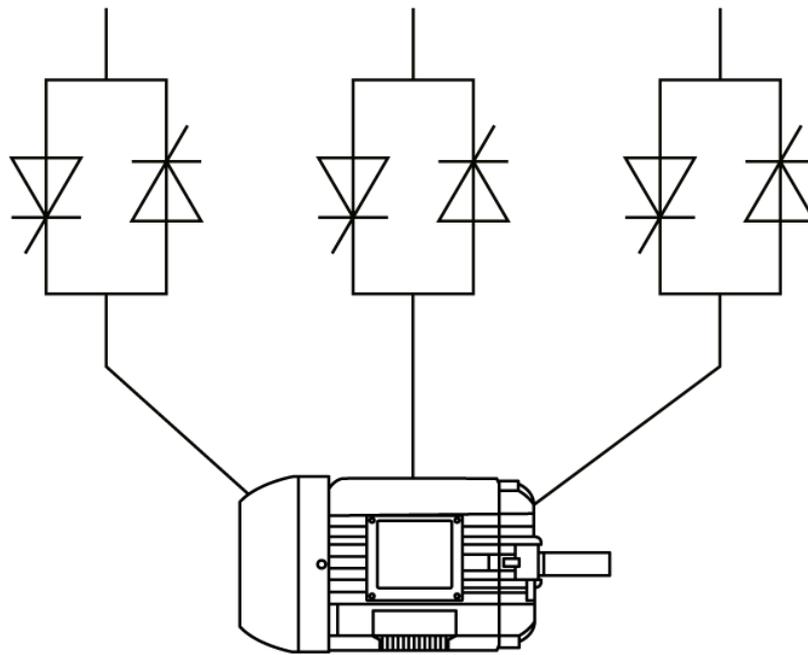
**Figura 05** - Representação de dois SCR em antiparalelo



**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2016).

A seguir, vemos um diagrama simplificado do circuito de potência de uma Soft-Starter. Nessa figura, podemos observar o uso dos pares de tiristores em antiparalelo para cada fase do circuito.

**Figura 06** - Representação dos SCR no circuito de força do motor

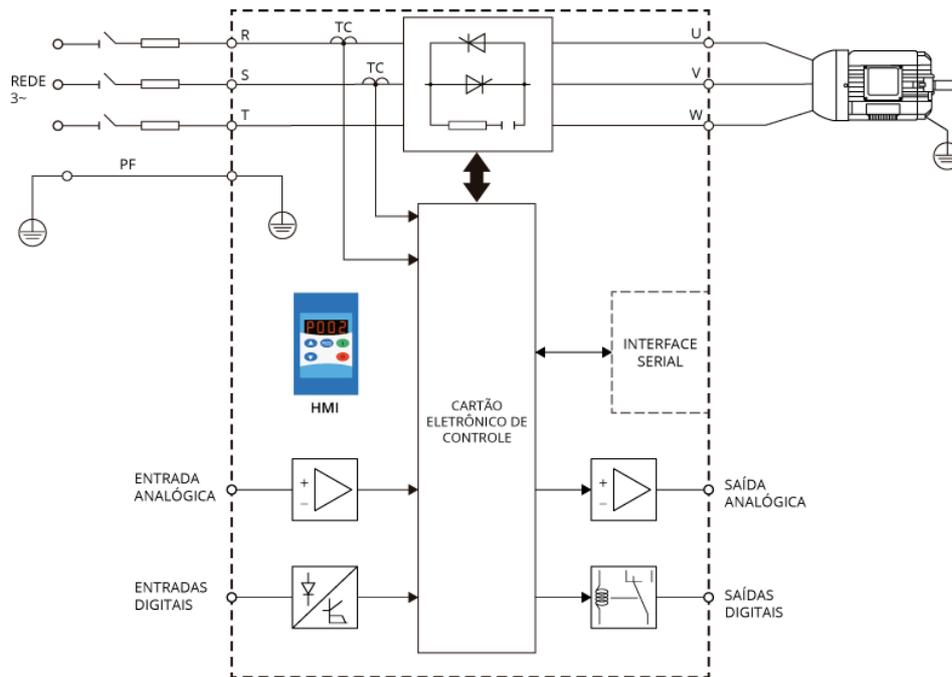


**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2016).

Mediante um circuito de controle para os disparos dos tiristores, a tensão a ser aplicada no motor pode ir aumentando linearmente, tendo, como consequência, um controle da corrente de partida do motor. Ao final da partida, o motor terá sobre seus terminais praticamente toda a tensão da rede aplicada.

Por fim, temos o funcionamento da Soft, que está baseado na utilização de tiristores na configuração antiparalelo, comandada através de uma placa eletrônica de controle, cujo objetivo é controlar a tensão que alimentará o motor. Essa estrutura é apresentada na Figura 07.

**Figura 07** - Diagrama de bloco simplificado



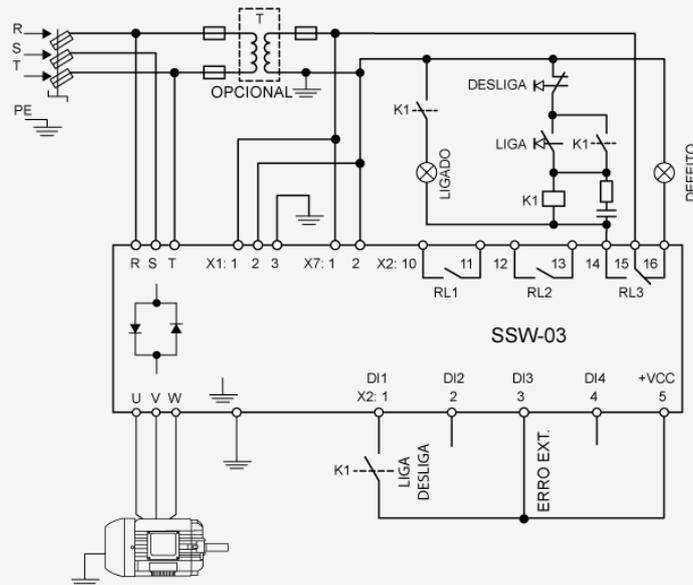
**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2016).

## 2.3 Instalação

Agora que já sabemos como a chave funciona, apresentaremos algumas maneiras de instalar o modelo Soft. Acompanhe abaixo:

têm-se uma chave ligada ao motor e a rede elétrica trifásica de 380 V com o acionamento por um contator K1 e duas botoeiras (liga/desliga). É possível observar um esquema elétrico da ligação da Soft na Figura 08.

**Figura 08** - Esquema de montagem da chave com duas botoeiras



**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2016).

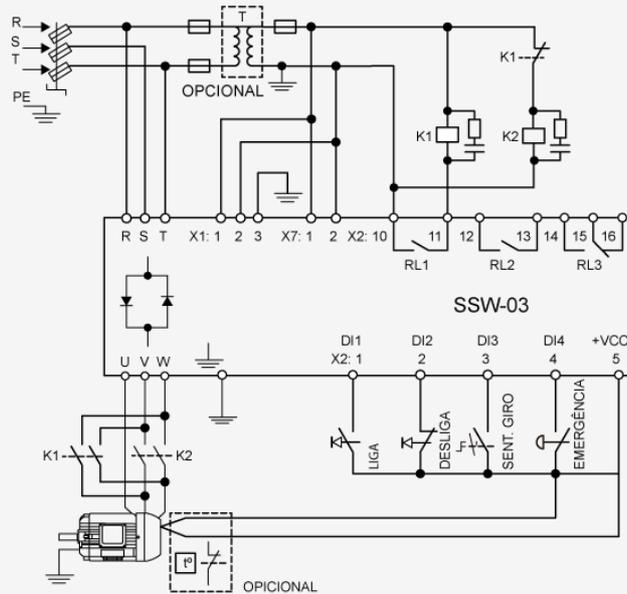
Na parte superior da Figura 08, temos os conectores "X1" e "X7" com os bornes 1 e 2 alimentados por uma fase e por um neutro de um transformador. É importante lembrar que o nível de tensão nesses bornes é de 220 V e que esse transformador é opcional, podendo ser retirado do esquema, de modo que os bornes sejam alimentados diretamente por uma fase e por um neutro da própria rede elétrica.

A bobina do contator K1 é alimentada pela fase, a qual circula através dos contatos 14 e 15 do relé 3 e passa pelos botões de ligar e de desligar. Na parte inferior da chave, temos a saída da fonte de 24 Vcc no borne 5 passando por um contato aberto de K1 (13 e 14) e entrando no borne 1, que é a entrada digital 1 (DI1).

O acionamento é feito por duas botoeiras e uma chave seletora de duas posições. Essa maneira de instalar a Soft fará a inversão no sentido de rotação do motor, quando o contator K1 ou K2 for ligado. Na Figura 09 podemos ver o esquema elétrico da montagem da chave para inversão da velocidade. Nele, é possível observar que o contator K2 sempre partirá quando a chave seletora na entrada digital (DI3) estiver com seus contatos abertos. Caso esses contatos da chave estejam fechados, o relé RL1 será acionado, de maneira a ser ligada a bobina do contator K1. Logo que K1 seja acionado, o contato fechado, localizado acima da bobina de K2, abrirá, impedindo-o de ligar K2.

Na parte inferior do esquema, temos dois botões pulsantes nas entradas (DI1 e DI2) para ligar a chave ou desligá-la. Por fim, a entrada (DI4) está conectada a um sensor de temperatura instalado internamente nas bobinas do motor, fazendo seu monitoramento e protegendo-o contra aumento da temperatura.

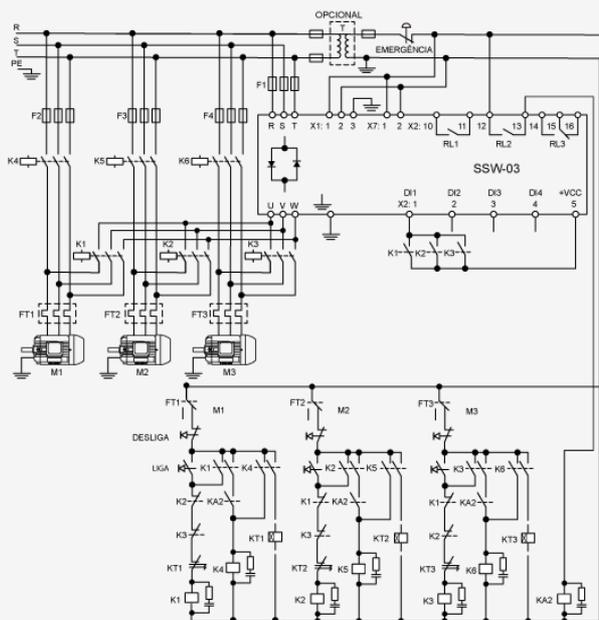
**Figura 09** - Esquema elétrico da chave com inversão de sentido de giro no motor



**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2016).

Ocorre por meio de uma chave que liga três motores sequencialmente com apenas uma Soft. Essa ligação necessita de uma lógica de comando auxiliar feita em um quadro de comando à parte, pois a operação de cada motor não dependerá só da Soft, mas da combinação dos dois. A Figura 10 permite ver o esquema elétrico da montagem.

**Figura 10** - Esquema da Soft partindo de 03 motores sequencialmente



**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2016).

A chave, caso esteja energizada, possibilitará ligar qualquer motor selecionado, o 1, o 2 ou o 3. Para uma melhor compreensão dessa operação, iniciaremos partindo o motor M1. É importante observar que os contatores K1 e K4 são utilizados para ligar o motor M1; K2 e K5, por sua vez, são utilizados para ligar o M2; e K3 e K6, para o motor M3. Assim, quando a botoeira que liga o contator K1 for pressionada, ele será ligado e seus contatos abertos fecharão, ligando um temporizador KT1 e a entrada (D11) com 24 Vcc.

Nesse instante, a chave ligará o motor M1, iniciando a sua aceleração e, depois de transcorrido o tempo da rampa de aceleração ajustado no parâmetro "P102", o relé 2 da Soft será acionado, ligando o contator auxiliar KA2. Esse contator, quando ligado, possibilitará a bobina de K4 ligar. Nesse instante, o motor passará a receber alimentação da rede elétrica pelo contator K4, de modo que o temporizador KT1 interrompa a alimentação da bobina de K1, desligando-o e deixando a Soft parada. Na sequência, a Soft estará pronta para partir o segundo motor, executando a mesma sequência de ações feita para o primeiro motor.

## 2.4 Dimensionamento da Soft-Starter

Na prática, muitas vezes não dispomos de todos os dados para dimensionar a chave. Outras vezes, dispomos dos dados, porém, a aplicação não é severa e a rede elétrica tem uma boa capacidade de alimentação. Então, não faz sentido investir tempo em cálculos desnecessários.

Por isso, vamos aplicar uma regra prática e rápida a fim de dimensionar uma chave para acionamento de um motor com uma boa estimativa e margem de segurança. Essa regra faz uso dos dados da Tabela 01, aplicando um fator de multiplicação à corrente nominal do motor.

**Tabela 1** - Critérios de dimensionamento de Soft-Starter.

<b>Aplicação</b>	<b>Carga</b>	<b>Inércia</b>	<b>Fator</b>
Bomba Centrífuga	Baixa	Baixa	1.0
Compressores (parafuso)	Baixa	Baixa	1.0
Compressores (alternativo)	Média	Baixa	1.0
Ventiladores	Quadrático	Média/Alta	1,2 até 22kW 1,5 acima de 22KW
Misturadores (pulpers)	Média	Média	1,5 – 1,8
Moinhos	Média/Alta	Média	1,8 – 2,0
Transportadores	Média/Alta	Alta	1,8 – 2,0
Centrífugas	Baixa	Muito Alta	1,8 – 2,0

**Fonte:** WEG S. A. (2016).



## Atividade 01

---

Faça um dimensionamento de uma Soft-Starter para acionar um conjunto motor-bomba com uma corrente nominal de 253 A, 4 polos, 60 Hz, que será utilizado para acionar uma esteira transportadora, como visto na Figura 11. Primeiro, considere que essa aplicação tem um regime de serviço normal, ou seja, tem um número de partida não superior a 10 vezes por hora. Caso venha a ter mais de 10 partidas por hora, deveremos consultar o fabricante da chave para uma especificação melhor.



Em seguida, encontre a corrente nominal do motor " $I_n$ ", a qual deverá ser equivalente, no catálogo do fabricante, ao valor de 253 A.

Agora, fazendo uso dos dados da Tabela 01, encontre um fator multiplicativo igual a 1,8. Assim, a corrente que a chave irá drenar da rede elétrica será de:  $I_n \times \text{Fator}$ . Logo, teremos  $253 \times 2 = 506$  A. Dessa forma, a chave escolhida nos catálogos dos fabricantes que possa atender a valores de corrente superiores a esse, será a chave SSW-03.580/220 a 440 (V).

## 2.5 Parametrização

---

A parametrização das chaves fabricadas pela WEG é dividida em quatro grupos de parâmetros, no entanto, há outros fabricantes que fazem essa separação de forma diferente. Mesmo que o fabricante não tenha seguido essa metodologia da WEG, se você compreender como a chave é configurada no modo da WEG, terá capacidade para fazer a parametrização para qualquer outro tipo de Soft-Starter disponível no mercado.

Os grupos de parâmetros são: **Parâmetros de Leituras, de Regulação, de Configuração e do Motor**. Eles serão comentados a seguir.

- ▶ Parâmetros de Leituras
- ▶ Parâmetros de Regulação
- ▶ Parâmetros de Configuração
- ▶ Parâmetros de do Motor

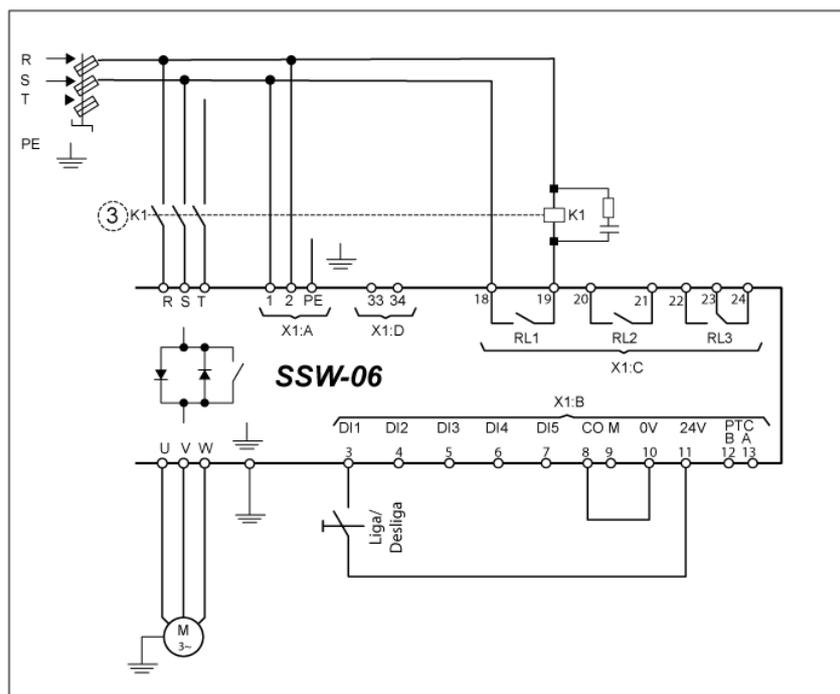


### Atividade 02

---

Vamos praticar? Você deverá fazer uma parametrização de uma chave que acionará um motor de 4 polos, 60 (Hz), potência de 100 (cv), fator de serviço 1,15. Ela deve ter um tempo de aceleração de 15 segundos e de desaceleração de 20 segundos. O acionamento da chave deverá ser feito pela entrada digital “DI1” e deve haver um contator isolador antes da chave, conforme exhibe a Figura 11.

**Figura 11** - Esquema de ligação da chave com entrada digital



**Fonte:** Adaptado de WEG S.A (2015).

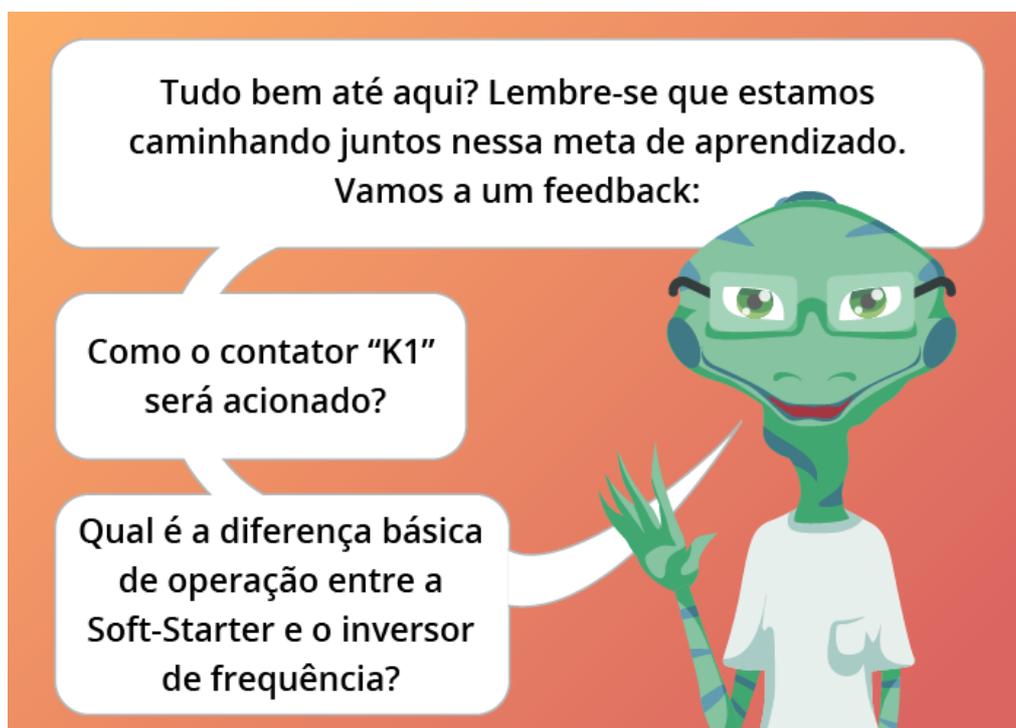
Veja abaixo uma tabela relacionando os parâmetros a seus respectivos valores. Estes deverão ser ajustados para que seja feita uma operação do motor conforme o planejado.

**Tabela 2** - Descrição dos parâmetros de ajustes da chave

PARÂMETRO	AJUSTE	DESCRIÇÃO
P000	5	Senha liberando o ajuste dos parâmetros
P102	15	Tempo de aceleração (rampa de acel.)
P104	20	Tempo de desaceleração (rampa de desacel.)
P220	0	Define a fonte de origem do comando, cuja função é optar pela situação LOCAL (IHM) ou pela situação REMOTO (via entradas digitais)

PARÂMETRO	AJUSTE	DESCRIÇÃO
P229	1	Define a origem dos comandos de acionar e desacionar a Soft-Starter SSW-03
P263	1	Seleção ligar e desligar a partida do motor (Gira/Para)
P264 e P268	0	Entradas Digitais: DI2, DI3, DI4, DI5 e DI6, respectivamente, sem função
P400	380	Tensão nominal do motor
P401	141,4	Corrente nominal do motor
P402	1770	Velocidade nominal do motor
P404	75	Potência nominal do motor em KW
P405	1,15	Fator de serviço do motor

Fonte: WEG S.A. (2016).



E aí, conseguiu chegar a uma resposta? Respondendo as duas perguntas:

- **Sobre o acionamento do contator:** A bobina do contator será acionada através do fechamento do contato do relé "RL1". Este, por sua vez, será ligado quando a Soft tiver o botão de gira/para ligado.

- **Sobre a diferença entre a Soft-Stater e o inversor de frequência:** A Soft só consegue variar a velocidade do motor quando ele inicia e quando ele está parando. O inversor, por sua vez, possibilita variar a velocidade durante todo o tempo em que se encontra operando.

## 3. Inversor de frequência

---

O uso dos semicondutores na eletrônica de potência possibilitou controlarmos a velocidade de motores de indução. Esses semicondutores são chamados de **transistores de potência**, para os quais existem várias tecnologias de fabricação. O transistor mais utilizado é o chamado **Transistor Bipolar com Porta Isolada- IGBTs** (Insulated Gate Bipolar Transistor).

### 3.1 Princípio de funcionamento

Como já visto em aulas anteriores, a velocidade de um motor de indução é obtida a partir da seguinte equação:

$$n = \frac{120 \cdot f}{P} \cdot (1 - S)$$

Onde:

$n$  - Velocidade do motor em (rpm),

$f$  - Frequência da rede elétrica (Hz),

$S$  - Escorregamento dado em (decimal),

$P$  - Pares de polos do motor.

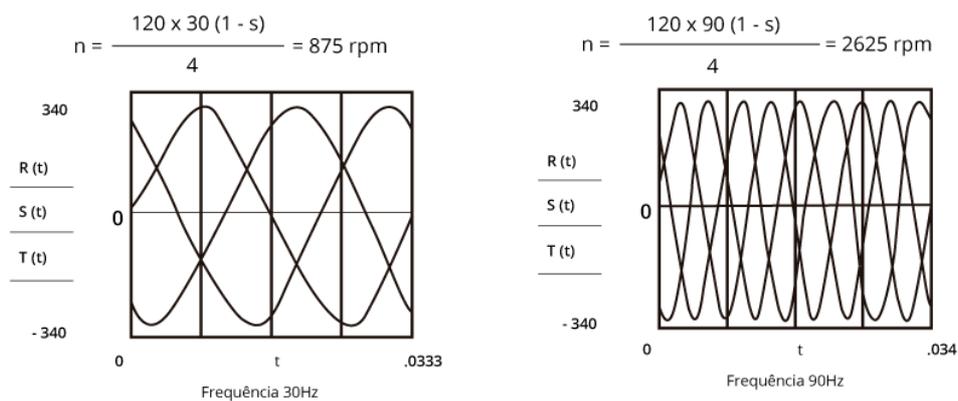
## #FicaDica

Analisando a equação acima, fica fácil compreender que a velocidade nominal de um motor está relacionada a três variáveis:  $f$  – Frequência da rede elétrica (Hz);  $s$  – Escorregamento dado em (decimal); e  $p$  – Pares de polos do motor.

As variáveis **escorregamento** e **número de polos do motor** não são fáceis de serem alteradas, porque essa operação, além de ser muito complicada e trabalhosa, necessitaria de intervenção diretamente na construção das bobinas do motor. Por outro lado, se variarmos apenas a **frequência da rede elétrica**, não necessitaríamos da intervenção interna no motor, porém, conseguiríamos alterar a velocidade deste.

Agora, veja como conseguir alterar a tensão e a frequência fornecidas ao motor através de um dispositivo eletrônico. Na Figura 12 observamos o comportamento das ondas senoidais da tensão para duas frequências diferentes em um mesmo intervalo de tempo.

**Figura 12** - Ondas senoidais da tensão para frequências diferentes

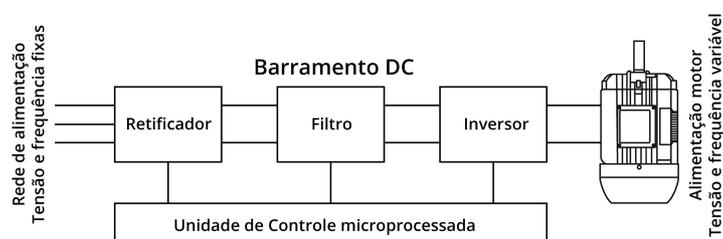


**Fonte:** WEG S.A. (2005).

Em virtude do avanço tecnológico que ocorreu devido à descoberta e ao uso dos semicondutores e à introdução da eletrônica de potência no processo de acionamento das máquinas elétricas de indução, é possível variarmos o valor da frequência da rede elétrica que alimenta o motor. Essa variação se consolidou mediante o inversor de frequência, o qual fez uso dos semicondutores a fim de alterar a frequência de alimentação para o motor e ter como consequência a variação e o controle da velocidade nominal dos motores.

No diagrama de blocos da Figura 13 podemos observar os componentes do inversor de frequência. O retificador gera uma tensão contínua que é posteriormente filtrada e introduzida no bloco seguinte, chamado de Inversor.

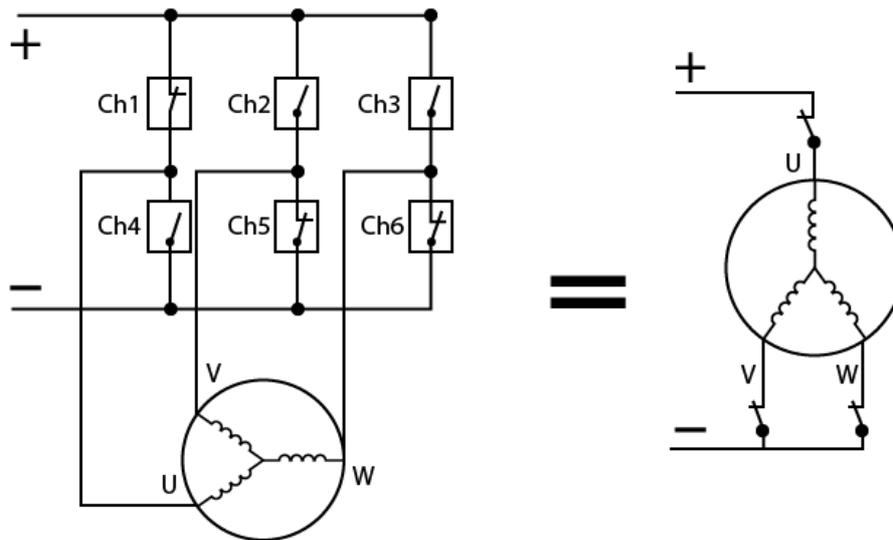
**Figura 13** - Diagrama de bloco do inversor de frequência



**Fonte:** WEG S.A. (2005).

Como você pode perceber, o bloco inversor executa o chaveamento da tensão contínua, ou seja, liga e desliga-a as chaves em uma frequência da ordem de KHz, para, então, alimentar com essa tensão o motor. O inversor é composto por seis chaves, Ch1 a Ch6 implementadas numa configuração apresentada na Figura 14.

**Figura 14** - Representação dos IGBTs em um inversor.



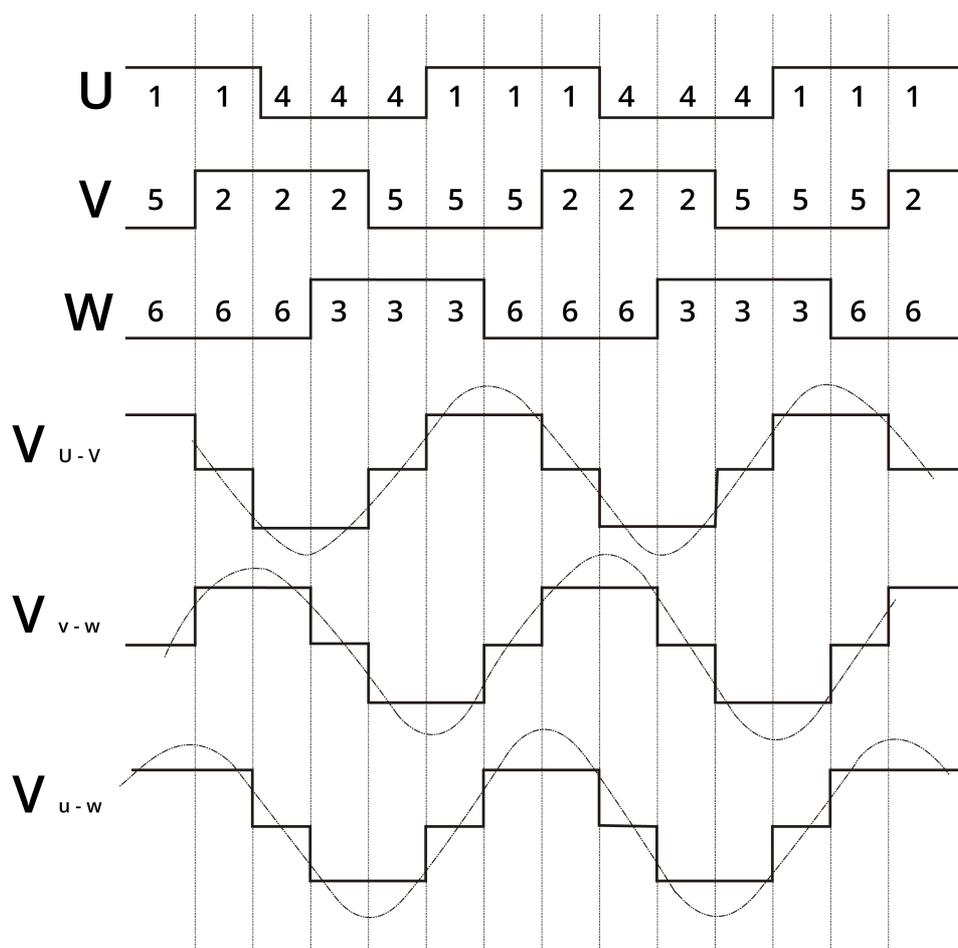
**Fonte:** WEG S.A. (2005).

A operação de ligar e desligar estas chaves é feita através de uma placa de controle que executa a operação na dependência do valor de frequência necessária para alimentar o motor. Com a combinação dessa operação poderemos obter na saída do inversor formas de onda diferentes em relação ao eixo do tempo, como pode ser visto na Figura 15.

Essas chaves são implementadas nos inversores de frequência com dispositivos semicondutores chamados de **transistores de potência**. No inversor são usados os **transistores IGBTs**.

O exemplo simples de um chaveamento dos IGBTs gera uma onda de pulsos de tensão que num primeiro instante se aproximará de uma onda senoidal, representada pela linha tracejada da Figura 15. A linha cheia, por sua vez, representa a onda gerada pela combinação das seis posições das chaves de 1 a 6.

**Figura 15** - Forma de onda do inversor.



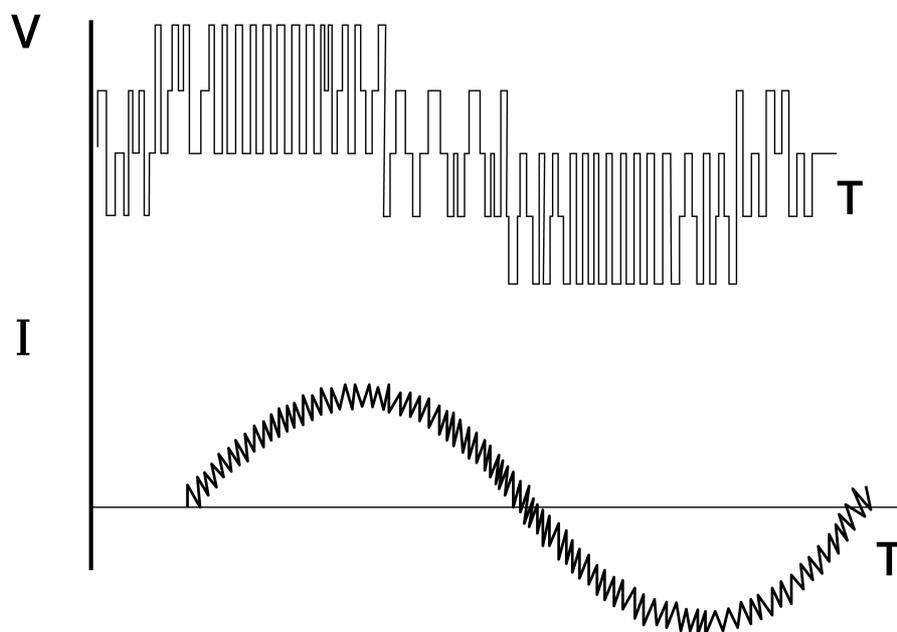
**Fonte:** WEG S.A. (2005).

A onda senoidal, representada pela linha tracejada, serve como referência para identificar a aproximação mencionada. Durante o primeiro estado, as chaves 1, 5 e 6 estão fechadas, e as chaves 2, 3 e 4 estão abertas. Assim, a tensão no motor entre as fases U e V é positiva, entre as fases V e W é zero, e entre as fases U e W é positiva, como representa a forma de onda.

Nos cinco estados seguintes, a combinação de chaves abertas e fechadas é mudada, permanecendo o mesmo tipo de análise do primeiro estado. Desse modo, deduzimos, a partir da Figura 15, que, caso varie o tempo de cada combinação de chaves que permanecem num determinado estado, pode variar também a frequência da onda de saída.

Na Figura 16 é possível observar o padrão de chaveamento para formação de uma onda de tensão e de uma onda de corrente resultantes em uma das fases que alimenta o motor, quando utilizada a técnica da modulação por largura de pulsos PWM para comando das chaves.

**Figura 16** - Padrão de ondas de tensão e correntes com chaveamento PWM.



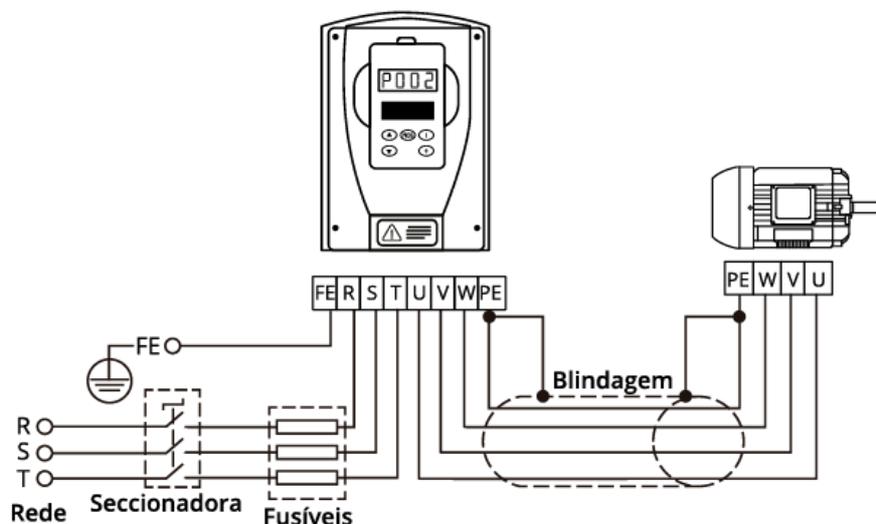
**Fonte:** Adaptado de WEG S.A. (2005).

### 3.3. Instalação de inversores

---

Os **inversores de frequência** devem ser, obrigatoriamente, conectados a um condutor de proteção (PE). Esse aterramento deverá seguir rigorosamente as normas locais das concessionárias e da ABNT, a NBR 5410 -2004. É prudente não compartilhar a fiação desse aterramento com outros equipamentos que operem com altas correntes, por exemplo: motores de alta potência, máquinas de solda, etc. Também não devemos utilizar o neutro da rede como proteção. Na Figura 17 temos um exemplo de instalação de inversor.

**Figura 17** - Esquema de montagem de um inversor, conexão de potência e proteção.



**Fonte:** Adaptado de WEG S.A. (2005).

A instalação dos inversores é feita normalmente dentro de painéis com o objetivo de protegê-los contra agentes agressivos, como poeiras e raios solares, contra insetos e, também, contra água. Dessa forma, você deve prever um painel que possibilite o espaço interno para a manutenção e a troca de calor com o meio e, assim, seguir a recomendação dos fabricantes quanto às dimensões dos painéis onde serão instalados os inversores. Essa recomendação relaciona o modelo do inversor às dimensões do painel e à vazão do ar dos ventiladores. Todas essas relações podem ser observadas na Tabela 3.

**Tabela 03** - Dimensões sugeridas de painéis para instalação de inversores

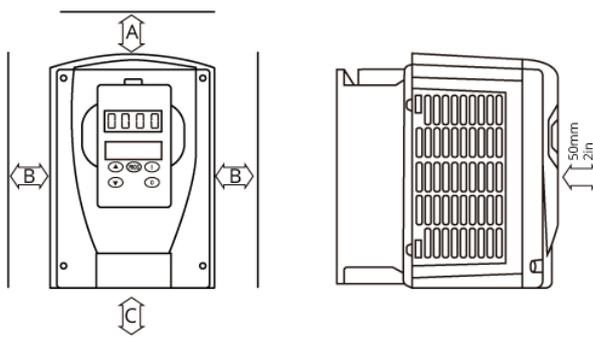
Modelo CFW - 09	Dimensões do painel			Ventilação
	Largura (mm)	Altura (mm)	Profund. (mm)	CFM (L/s)
16A	600	1000	400	226 (107)
24A ... 28A		1200		
30A ... 70A		1500		
86A ... 105A		2000	600	452 (214)
130A ... 142A				880 (415)
180A				1700 (800)
240A				
361A	800			
450A ... 600A				

**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2006).

Mesmo seguindo as dimensões da Tabela 3 para o tamanho do painel, ao instalar o inversor dentro de um painel, ele deverá ter no mínimo estas distâncias recomendadas na Tabela 4, entre elas as paredes do painel para não prejudicar a troca de calor.

**Tabela 04** - Espaçamentos recomendados para inversores em painéis.

Modelo CFW-09	A	B	C
$\leq 30$ A	40mm	30mm	50mm
	1.57in	1.18in	2in
$\geq 30$ A $\leq 142$ A	100mm	40mm	130mm
	4in	1.57in	5.12in
$\geq 180$ A	150mm	80mm	250mm
	6in	3.15in	10in



**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2006).

Após seguir as recomendações para a instalação, passe para a ligação elétrica com a rede que irá alimentá-lo. O valor da tensão desta deverá ser compatível ao da tensão nominal do inversor e, quando a interferência eletromagnética gerada pelo inversor for um problema para outros equipamentos, você deve utilizar fiação blindada ou protegida por conduíte metálico para conexão de saída do inversor para o motor. Nesse caso, conecte a blindagem de cada extremidade ao ponto de aterramento do inversor e à carcaça do motor.

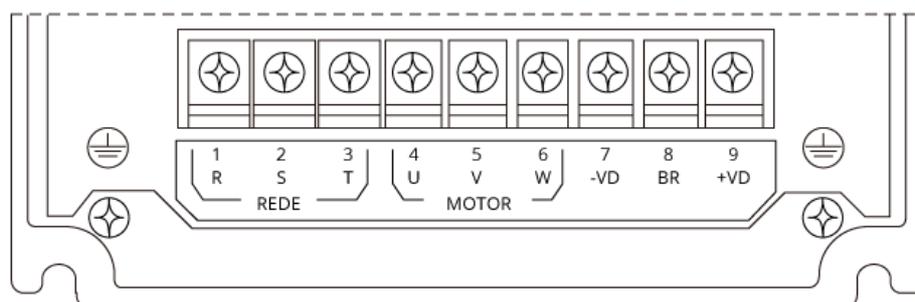
Ao aterrar a carcaça do motor, procure aterrar também o painel e o inversor ao mesmo ponto. Em relação aos cabos de potência do motor, é recomendado passá-los por um caminhamento separados da fiação de sinais e de controle.

### 3.3.1 Bornes de potência

Os **bornes de potência** fazem parte do inversor e são utilizados para conectar a rede elétrica ao inversor e este ao motor. Os bornes podem assumir tamanhos e configurações diferentes, dependendo do modelo do inversor.

Os modelos de inversores cuja corrente corresponda a até 10 Amperes podem operar em apenas duas fases (operação monofásica) e alimentar um motor trifásico sem redução da corrente nominal. A tensão de alimentação CA, nesse caso, pode ser conectada em dois dos 3 terminais de entrada (R, S e T) e deverá ser conectada aos três bornes (U, V e W) na saída para o motor. A representação dos bornes de potência do inversor é vista na Figura 18.

**Figura 18** - Detalhe dos bornes de potência do inversor.



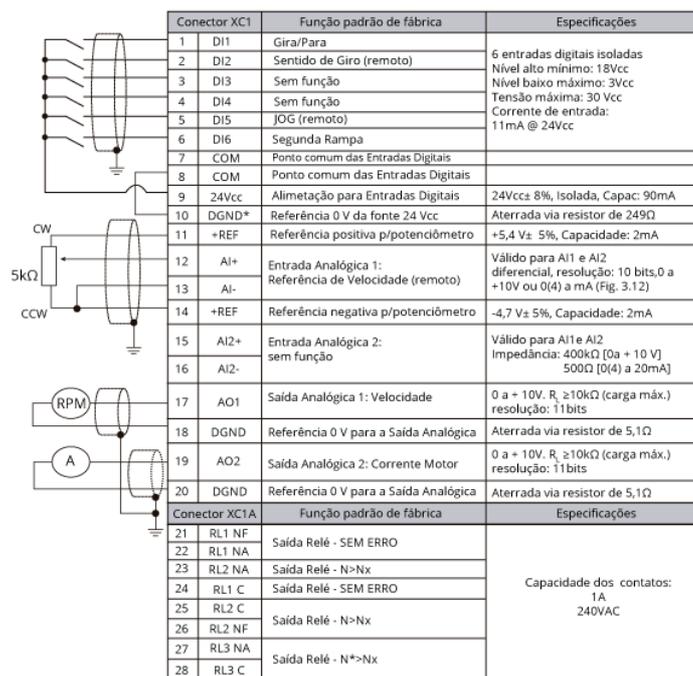
**Fonte:** Adaptado de WEG S.A (2006).

### 3.3.2 Conexões de sinais de controle

As **conexões do sinal de controle** do inversor, que abrangem as entradas digitais, as entradas e saídas analógicas e o controle dos três relés, são feitas no cartão eletrônico de controle, o qual apresenta duas barras de conectores divididos em dois barramentos.

O barramento denominado "XC1" contém os bornes dos sinais digitais e analógicos, e o barramento "XC1A" contém os bornes dos três relés, como vemos na Figura 19.

**Figura 19** - Distribuição dos bornes de sinais e controle inversor WEG.



**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2006).

### 3.3.3 Dimensionamento do inversor de frequência

Embora os fabricantes busquem fazer a escolha do inversor através dos catálogos, o mais fácil possível, ainda existem muitas variáveis associadas à seleção do motor e do inversor que deverão ser consideradas no momento de escolher um inversor.

A dificuldade é encontrar a melhor relação custo / benefício de acordo com os seguintes critérios:

- Necessidade de torque elevado na partida;
- Compatibilidade com a tensão da rede de alimentação;
- Condições ambientais onde o motor e o inversor estão instalados: temperatura, altitude, umidade, poeira, etc.;
- Ventilação para o inversor e o motor;
- Resposta dinâmica (necessidade de resposta de torque e de velocidade);
- Tipos de carga a serem acionados: é fundamental conhecer o tipo de carga que será acionado, pois o comportamento dinâmico das máquinas tem uma diferença acentuada. Por exemplo, um compressor tem uma curva de carga bastante diferente da de um ventilador;
- Tipo de referência de velocidade (por potenciômetro, IHM, rede, entrada analógica, etc.);
- Tipo de comunicação disponível;
- Emissão de ruídos eletromagnéticos;

Como qualquer equipamento elétrico, é essencial que o inversor seja corretamente especificado para sua aplicação, levando em consideração todas as possibilidades de operação. Podemos dizer que o sistema está corretamente definido quando a especificação do inversor e do motor está correta, ou seja, o tamanho e o tipo do motor selecionado estão corretos para o tamanho do inversor.

Dessa maneira, o torque requerido pela carga em toda faixa de velocidade deverá ser totalmente atendido pelo motor, pois, caso contrário, haverá sérios problemas. É fundamental verificar se essa condição é atendida, pois, em alguns casos, o torque pode variar em função da velocidade, como ocorre em uma bomba centrífuga que tem seu torque aumentado com o quadrado da velocidade.

O mesmo não ocorre em uma esteira transportadora, pois ela mantém o torque constante para toda faixa de velocidade. Como já foi citado anteriormente, a seleção de um inversor pode ser feita de uma forma bem simples, apenas com o uso de tabelas fornecidas pelos fabricantes.

A seguir mostraremos a Tabela 05, que apresenta os dados de potência dos motores e do inversor compatível para acioná-los.

**Tabela 05 - Seleção do inversor compatível com a corrente do motor**

Modelo: Corrente / Tensão	3,6/ 380-480		4/ 380-480		5,5/ 380-480		9/ 380-480		13/ 380-480		16/ 380-480		24/ 380-480	
Carga <sup>(1)</sup>	CT/VT		CT/VT		CT/VT		CT/VT		CT/VT		CT/VT		CT/VT	
Potência (kVA) <sup>(2)</sup>	2,7		3,0		4,2		6,9		9,9		12,2		18,3	
Corrente nominal de saída (A) <sup>(3)</sup>	3,6		4		5,5		9		13		16		24	
Corrente de saída máxima (A) <sup>(4)</sup>	5,4		6		8,3		13,5		19,5		24		36	
Corrente nominal de entrada (A)	4,3		4,8		6,6		10,8		15,6		19,2		28,8	
Freq. de chaveamento (kHz)	5		5		5		5		5		5		5	
Motor máximo (cv) <sup>(5)</sup>	1,5		2		3		5		7,5		10		15	
Pot. Dissipada nominal (W)	60		66		92		152		218		268		403	
Mecânica	1		1		1		1		2		2		2	

Modelo: Corrente / Tensão	30/ 380-480		38/ 380-480		45/ 380-480		60/ 380-480		70/ 380-480		86/ 380-480 3		105/ 80-480	
Carga <sup>(1)</sup>	CT	VT	CT	VT	CT	VT	CT	VT	CT	VT	CT	VT	CT	VT
Potência (kVA) <sup>(2)</sup>	23	27	29	34	34	41	46	53	53	66	66	80	80	99
Corrente nominal de saída (A) <sup>(3)</sup>	30	36	38	45	45	54	60	70	70	86	86	105	105	130
Corrente de saída máxima (A) <sup>(4)</sup>	45		57		68		90		105		129		158	
Corrente nominal de entrada (A)	36	43,2	45,6	54	54	64,8	72	84	84	103	103	126	126	56
Freq. de chaveamento (kHz)	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5
Motor máximo (cv) <sup>(5)</sup>	20	25	25	30	30	40	40	50	50	60	60	75	75	100
Pot. Dissipada nominal (kW)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2
Mecânica	3		4		4		5		5		6		6	

Modelo: Corrente / Tensão	142/ 380-480		180/ 380-480		240/ 380-480		361/ 380-480		450/ 380-480		600/ 380-480	
Carga <sup>(1)</sup>	CT	VT	CT/VT	CT/VT	CT/VT	CT/VT	CT/VT	CT/VT	CT/VT	CT/VT	CT/VT	
Potência (kVA) <sup>(2)</sup>	108	133	137		183		275		343		457	
Corrente nominal de saída (A) <sup>(3)</sup>	142	174	180		240		361		450		600	
Corrente de saída máxima (A) <sup>(4)</sup>	213		270		360		542		675		900	
Corrente nominal de entrada (A)	170	209	216		288		433		540		720	
Freq. de chaveamento (kHz)	5	2,5	2,5		2,5		2,5		2,5		2,5	
Motor máximo (cv) <sup>(5)</sup>	100	125	150		200		300		350		500	
Pot. Dissipada nominal (kW)	2,4	2,9	3		4		6		7,6		10	
Mecânica	7		8		8		9		10		10	

Padrão de fábrica

Obs.: CT= Torque Constante / VT= Torque Variável

**Fonte:** Adaptado de WEG S. A. (2006).

Nas tabelas acima, a carga é classificada com um torque constante (CT) ou variável (VT). Na segunda linha, a potência do inversor é dada em kVA. Nas linhas seguintes, temos as correntes nominal de saída e de saída máxima fornecidas pelo inversor. Para selecionar um inversor, é importante lembrar que em altitudes acima de 1000 metros os valores apresentados nas tabelas estarão sujeitos a mudanças e deverá ser feita uma consulta ao fabricante.

A corrente máxima de saída do inversor é calculada levando-se em consideração um fator de multiplicação de  $1,5 * \text{corrente nominal de saída do inversor}$ . Além disso, deve haver um inversor de frequência adequado à operação do motor, com vistas à potência máxima deste em cv.



## Atividade 03

---

Temos a seguinte situação: é necessário dimensionar um inversor para operar um conjunto motor-bomba que tenha torque constante (CT), motor de 150 (cv), 4 polos, 60 (Hz). Você pode fazer isso seguindo as orientações da Tabela 05, na qual se encontra um inversor relativo ao modelo 180 / 380-480. Esse modelo apresenta a capacidade para acionar o motor de 150 (cv), mesmo se o torque for constante ou variável.

### 3.3.4. Parametrização

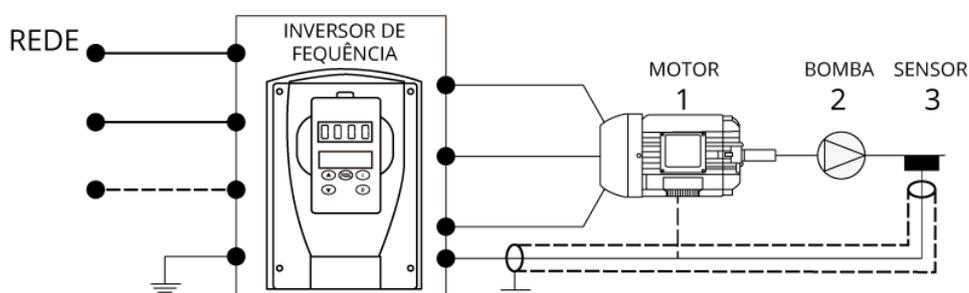
---

A parametrização do inversor é dividida basicamente em cinco partes: Parâmetros de leituras, de Regulação, de Configuração, do Motor e das Funções Especiais. Assim, como já foi explicado na parametrização da Soft-Starter, no começo desta aula, os parâmetros de Leitura, Regulação, Configuração e do Motor seguem a mesma formatação.

Já os parâmetros das Funções Especiais são utilizados para implementar o controle de processos que utilizam a técnica de controle robusto proporcional, integral e derivativo – PID. Os parâmetros desse controlador são ajustados na faixa de parâmetros entre “P500 a P550”, de acordo com os valores especificados para o ganho proporcional, integral e o derivativo.

Como exemplo, vamos parametrizar um inversor para acionar um motor de 4 polos, 60 (Hz), potência de 100 (cv), fator de serviço 1,15. O inversor deve ter um tempo de aceleração de 15 segundos, de desaceleração de 20 segundos e terá sua velocidade variada em função de um sinal analógico externo de um medidor de pressão, o qual emitirá uma corrente de 4 a 20 (mA). A Figura 20 representa o esquema elétrico do motor com o inversor.

**Figura 20** - Esquema de montagem de um processo de velocidade variável.



**Fonte:** WEG S.A. (2005).

A seguir mostraremos a Tabela 06, na qual vemos os parâmetros a serem programados no inversor para poder operar o motor e controlar sua velocidade em função de um sinal analógico externo ligado ao conector "XC1", bornes 12 e 13, que representam as entradas da porta AI1.

**Tabela 06** - Parâmetros de ajuste do inversor de frequência WEG.

PARÂMETRO	AJUSTE	DESCRIÇÃO
P000	5	Senha liberando o ajuste dos parâmetros
P100	15	Tempo de aceleração (rampa de acel.)

<b>PARÂMETRO</b>	<b>AJUSTE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
P101	20	Tempo de desaceleração (rampa de desacel.)
P120	0	Referência de backup de velocidade – deverá ficar inativa
P133	1200	Valor da velocidade mínima em que o motor poderá operar
P134	1740	Valor da velocidade máxima em que o motor poderá operar
P202	0	Tipo de controle tensão / frequência (V/F)
P206	30 s	Tempo de auto-reset quando ocorrer um erro
P205	2	Mostrar a velocidade do motor no P002
P220	0	Define a fonte de origem do comando, cuja função é optar pela situação LOCAL (IHM) ou pela situação REMOTO (via entradas digitais)
P221	0	Referência de velocidade na situação local (IHM)
P222	1	Referência de velocidade na situação remota. Entrada analógica AI1
P229	1	Define a origem dos comandos de acionar e desacionar a Soft-Starter SSW-03
P234	[1]	Ganho da entrada analógica AI1
P235	1	Definição do sinal de entrada na porta AI1 em corrente (4 a 20 mA)
P263	1	Seleção ligar e desligar a partida do motor (Gira/Para), pela entrada digital DI1

PARÂMETRO	AJUSTE	DESCRIÇÃO
P264 a P270	—	Entradas Digitais: DI2, DI3, DI4, DI5, DI5, DI6, DI7 e DI8, respectivamente, sem função
P400	380	Tensão nominal do motor
P401	141,4	Corrente nominal do motor
P402	1770	Velocidade nominal do motor
P404	21	Potência nominal do motor em KW

**Fonte:** WEG S. A. (2016).



### Atenção

O valor entre chaves [1] do parâmetro “P234” deverá ser ajustado pelo usuário para o melhor valor de acordo com as características da planta. Para iniciarmos a alteração dos parâmetros é necessário selecionarmos o parâmetro “P000” e alterar seu valor para “5”. Esse valor é uma senha que autoriza a mudança nos valores dos parâmetros. Após o término da parametrização no inversor, devemos voltar ao parâmetro “P000” e colocá-lo em “0”. Dessa forma, evitaremos que algum parâmetro seja alterado acidentalmente.

Tudo bem até aqui? Com esses estudos acerca da parametrização do inversor de frequência encerramos a nossa sétima aula, espero que você tenha alcançado êxito em seus estudos. Até a próxima aula!



## Leitura complementar

---

FRANCHI, C. M. **Inversores de frequência**: teoria e aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora Erica, 2012.

WEG S.A. **Guia de aplicação de inversores**: Soft-Starter. 2009. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-ssw-06-multimotores-10000601966-1.6x-aplicacao-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

WEG S.A. **Guia de aplicação de inversores de frequência da WEG**. 3. ed. Jaraguá: [s. l.], 2005. Disponível em: <<http://sidrasul.com.br/wp-content/uploads/2014/09/Guia-de-Applica%C3%A7%C3%A3o-de-Inversores-de-Frequ%C3%Aancia-WEG-3%C2%AA-Edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

WEG. **Catálogo do inversor de frequência CFW 09**. Jaraguá: [s. l.], 2006. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-09-inversor-de-frequencia-0899.5180-3.3x-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017. Inversores de frequência, teoria e aplicações do Cleiton Moro Franchi.

WEG S. A. **Soft-starter**: arrancador suave: chave de partida soft-starter: SSW-03 plus. 200?. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/1-62.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.



## Resumo

---

Nesta aula, você estudou os conceitos relativos aos conversores usados na partida e no controle de velocidade de motores. Em seguida, conheceu os dois modelos de chaves de estado sólido mais utilizados na indústria, com suas especificações e seu dimensionamento. Ao final, aprendeu a instalar e a parametrizar os dois modelos de chaves para uma aplicação típica.



## Autoavaliação

---

1. Qual o princípio de funcionamento da Soft-Starter?
2. Qual o princípio de funcionamento do inversor de frequência?
3. Quais são os componentes básicos de potência que compõem a Soft-Starter e o inversor de frequência?
4. O inversor de frequência apresenta duas formas de controlar a velocidade do motor, pesquise sobre essas formas e faça um comparativo entre ambas.
5. Pesquise nos catálogos dos inversores de frequência como implementar um controle PID e faça a parametrização adequada para essa aplicação.



## Referências

---

FRANCHI, C. M. **Inversores de frequência: teoria e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora Erica, 2012.

STEPHAN, Richard M. **Acionamento, comando e controle de máquinas elétricas**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2013.

WEG S.A. **Guia de aplicação de inversores de frequência da WEG**. 3. ed. Jaraguá: [s. l.], 2005. Disponível em: <<http://sidrasul.com.br/wp-content/uploads/2014/09/Guia-de-Aplica%C3%A7%C3%A3o-de-Inversores-de-Frequ%C3%Aancia-WEG-3%C2%AA-Edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

WEG. **Catálogo do inversor de frequência CFW 09**. Jaraguá: [s. l.], 2006. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-09-inversor-de-frequencia-0899.5180-3.3x-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

WEG S. A. **SSW06: Soft-Starter**. Jaraguá: [s. n.], 2016. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-09-inversor-de-frequencia-0899.5180-3.3x-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

WEG S. A. **Guia de aplicação de inversores: Soft-Starter.** 2009. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-ssw-06-multimotores-10000601966-1.6x-aplicacao-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

WEG S. A. **Soft-starter:** arrancador suave: chave de partida soft-starter: SSW-03 plus. 2005. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/1-62.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017.

WEG S.A. **Manual do usuário da soft-starter.** 2015. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-ssw07-users-manual-0899.5832-manual-english.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2018.