

# Motores Eléctricos

- ▶ Conheça desde os componentes, falhas mais comuns até como evitar o acontecimento delas.



**TRACTIAN**



# SUMÁRIO

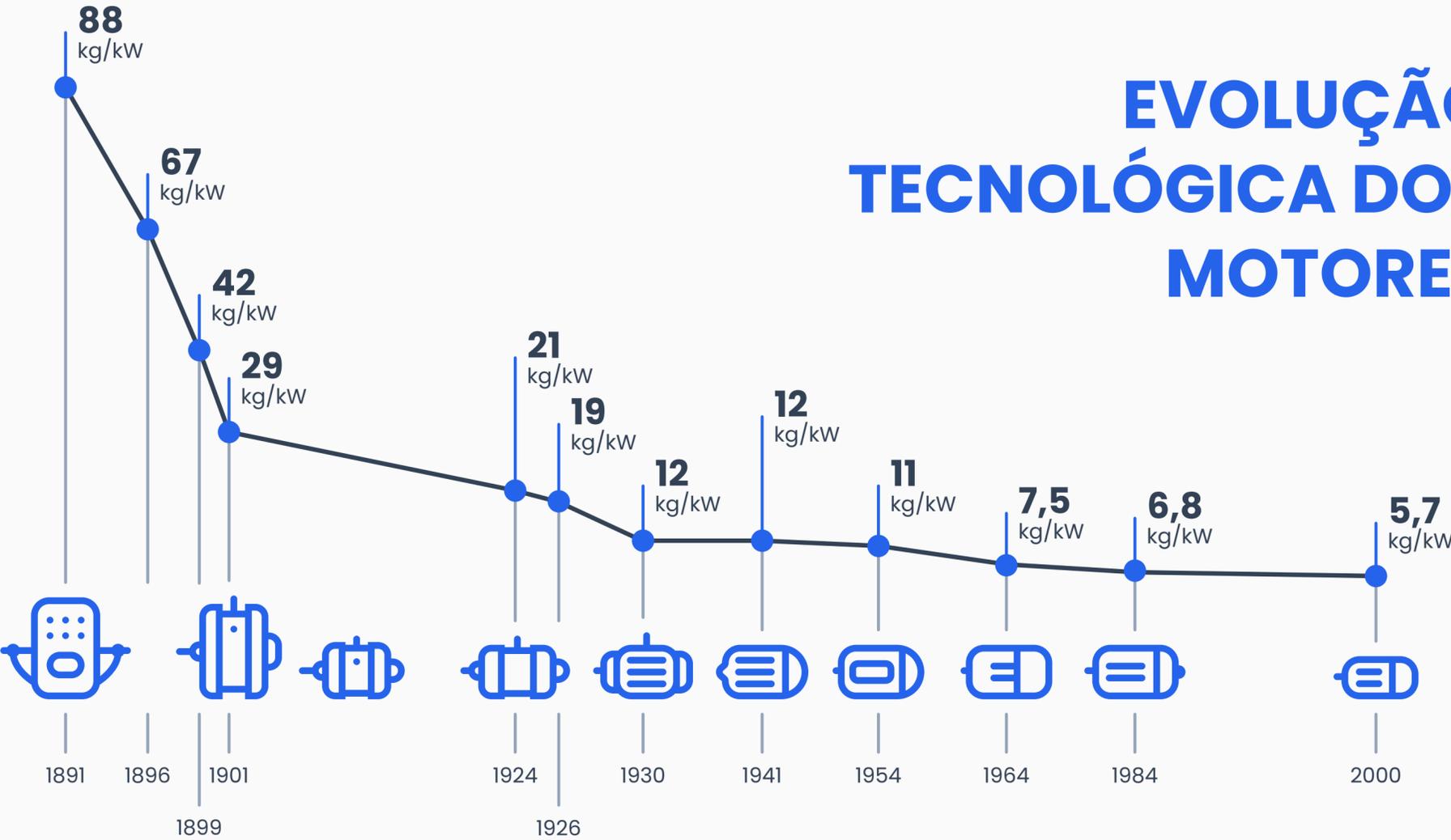
03	Introdução
04	O que é motor elétrico?
05	Tipos de motores
15	Partes e componentes
26	Princípios de funcionamento
28	Por que eles queimam?
41	Falhas mais comuns
57	Como evitar essas condições?
58	—— Termografia
60	—— Análise circuito de motores
61	—— Monitorando vibração
62	—— Monitorando energia elétrica

# INTRODUÇÃO

Motores elétricos funcionam como o “coração” de qualquer fábrica ou indústria. São eles que acionam linhas de montagem, impulsionam correias transportadoras, dão mobilidade a juntas robóticas. Por serem usados em quase todos os ambientes industriais, os motores têm se tornado cada vez mais complexos e técnicos, e fazê-los operar com desempenho máximo é um grande desafio.

**Por isso, não é exagero nenhum falar que eles são responsáveis por movimentar a indústria.**

## EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS MOTORES

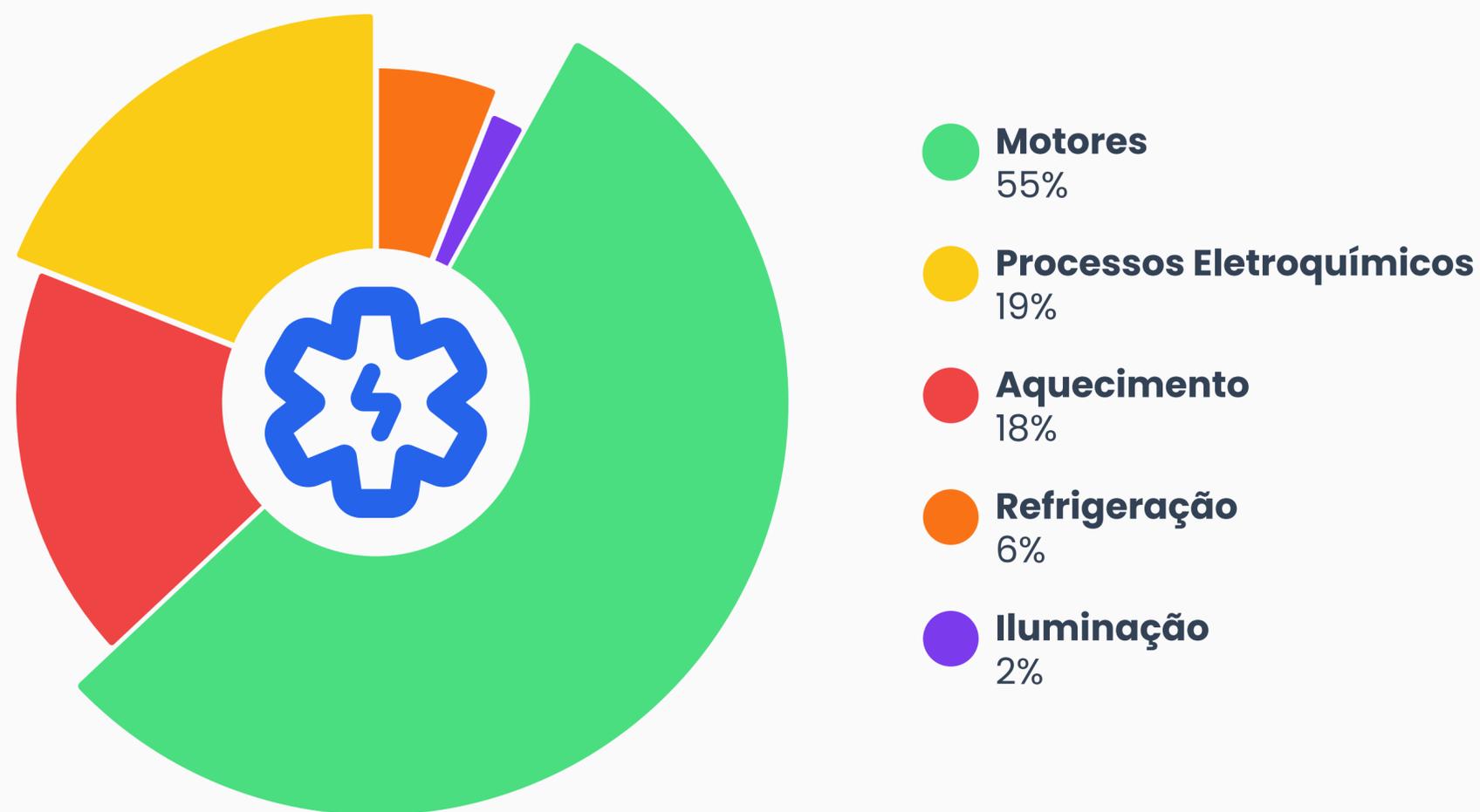


# O QUE É O MOTOR ELÉTRICO?

O motor elétrico é capaz de transformar energia elétrica em energia mecânica, utilizando o princípio da interação entre dois campos magnéticos.

Eles são os que mais consomem energia dentro da indústria.

Confira o gráfico ao lado, da **utilização de energia elétrica no Brasil, no setor industrial.**



# TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS

Existem dois tipos de motores que se ramificam gerando outros, são eles:



## Motor Corrente Alternada

Monofásico, Universal e Trifásico.



## Motor Corrente Contínua

Excitação em série,  
Excitação independente,  
Excitação Compound e  
Imã Permanente.

# MOTOR CORRENTE ALTERNADA

# MOTOR CORRENTE CONTÍNUA

## Motores Elétricos



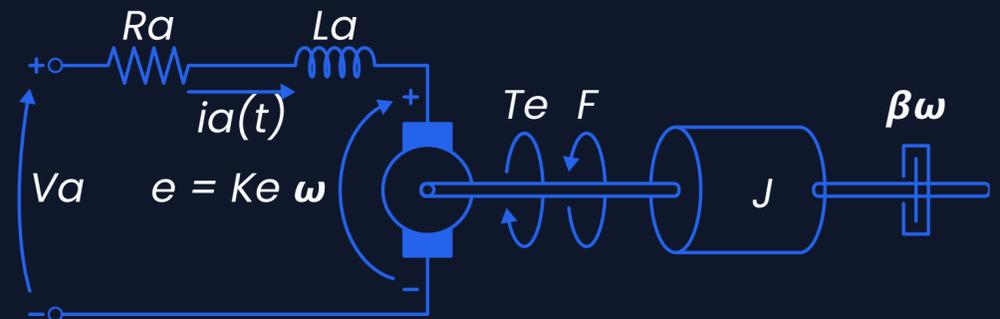
# MOTORES CORRENTE CONTÍNUA

Os motores de corrente contínua são utilizados para ações que requerem posicionamento, velocidade variável, tração e alto torque de partida, é considerado um componente importante para os sistemas de controle.

Eles estão presentes em inúmeros processos de automação, além de laminadoras, extrusoras, prensas, elevadores, moinho de rolos, bobinadeiras e outros.

O comportamento fundamental do CC é onde  $v_a(t)$  é a tensão aplicada por uma fonte de corrente contínua,  $R_a$  a resistência de armadura,  $L_a$  a indutância de armadura,  $e(t)$  é a tensão induzida na armadura, a velocidade angular,  $T_e(t)$  o torque mecânico,  $F$  o atrito estático,  $J$  o momento de inércia e o atrito viscoso.

## Diagrama eletromecânico de um motor CC



# MOTORES CORRENTE CONTÍNUA

## Características:

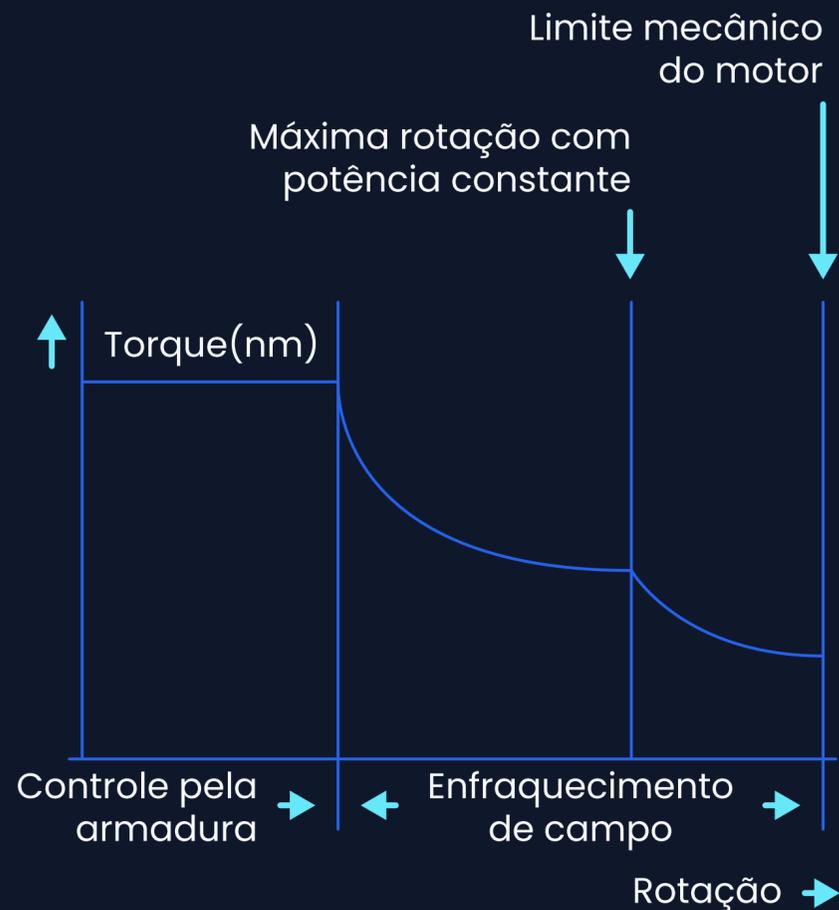
Alto torque na partida e em baixas rotações

Ampla variação de velocidade

Facilidade em controlar a velocidade

Flexibilidade (vários tipos de excitação)

Relativa simplicidade dos modernos conversores CA/CC



# MOTORES CORRENTE ALTERNADA MONOFÁSICOS

São usados quando só há uma fase, principalmente em aplicações que exigem potências menores geralmente inferiores a 3kW;

Importante destacar que eles não conseguem dar partida por conta própria, então é necessário usar de componentes extras como os modelos com capacitor de partida e permanente.

São usados em aspiradores de pó, ventiladores, máquinas de lavar, geladeiras, em algumas **bombas centrífugas**, etc.



# MOTORES SÍNCRONOS

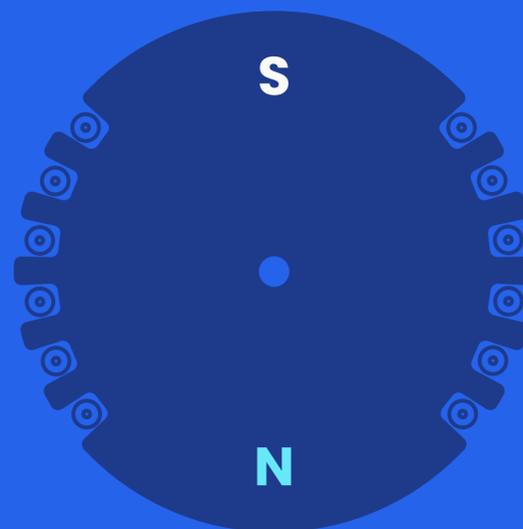
Possui esse nome por conta do rotor que gira com a mesma velocidade do campo magnético girante, produzido no enrolamento trifásico do estator. Eles são semelhantes aos alternadores, mas se diferem em como o enrolamento do rotor é feito.

Os rotores são divididos em dois tipos: Polos Salientes ou Polos Lisos.

Os motores Síncronos possuem características de alto rendimento e torques, velocidade constante nas variações de carga, baixo custo de **manutenção**, além de correção do fator de potência da rede.

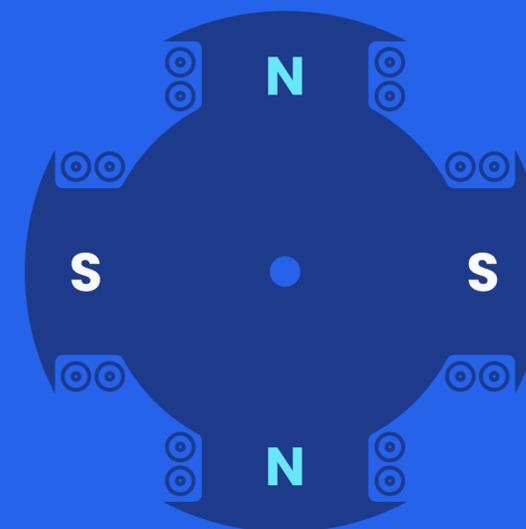
## Tipos de Polos

- Rotor de Polos Lisos
- Altas Velocidades (2 a 4 polos)
- Turbinas a gas ou vapor



**Rotor de Polos Lisos**  
**p = 1**

- Rotor de Polos Salientes
- Baixas Velocidades (+ 4 polos)
- Turbinas hidráulicas



**Rotor de Polos Salientes**  
**p = 2**

# MOTORES SÍNCRONOS

Aplicações se dividem em diversas áreas:



## Mineração

(britadores, moinhos, correias transportadoras e outros)



## Papel e celulose

(extrusoras, picadores, desfibradores)



## Saneamento

(bombas)



## Siderurgia

(laminadores, ventiladores, bombas e compressores)



## Química e petroquímica

(compressores, ventiladores, exaustores e bombas)



## Transmissão de energia

(compensadores síncronos)



## Borracha

(extrusoras, moinhos e misturadores)



## Cimento

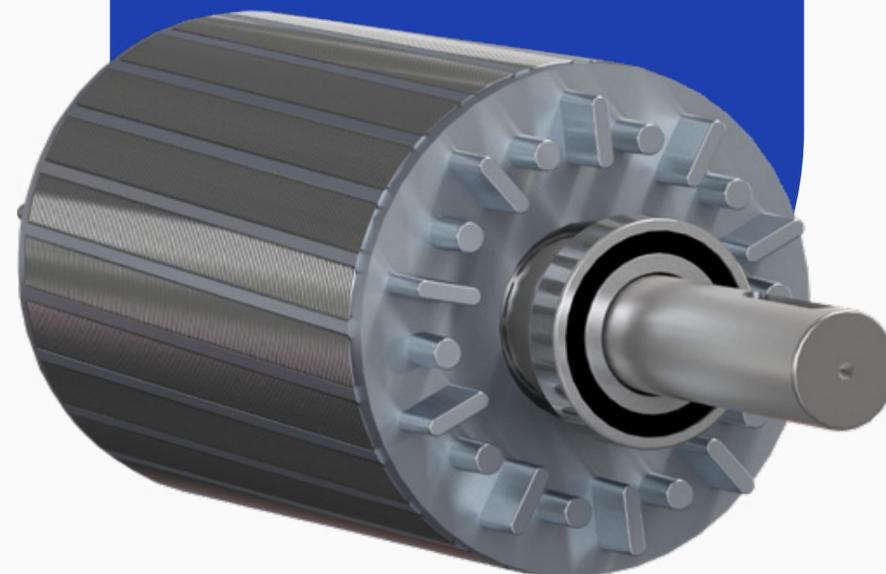
(britadores, moinhos e correias transportadoras)

# MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Representam 90% da potência dos motores fabricados, sendo responsáveis por 25% do consumo energético brasileiro. Eles são divididos em dois tipos:

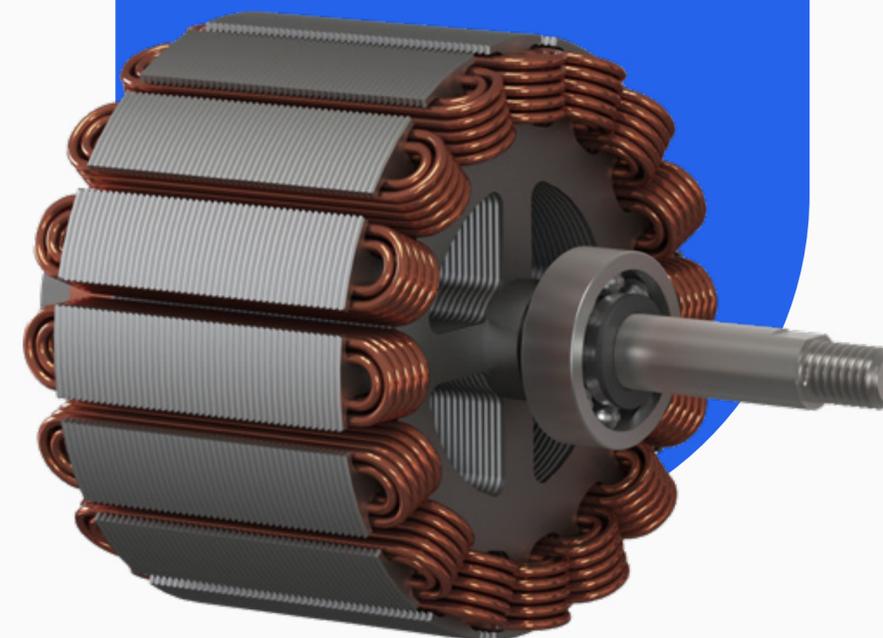
1

**ROTOR  
GAIOLA DE  
ESQUILO**



2

**ROTOR  
BOBINADO**

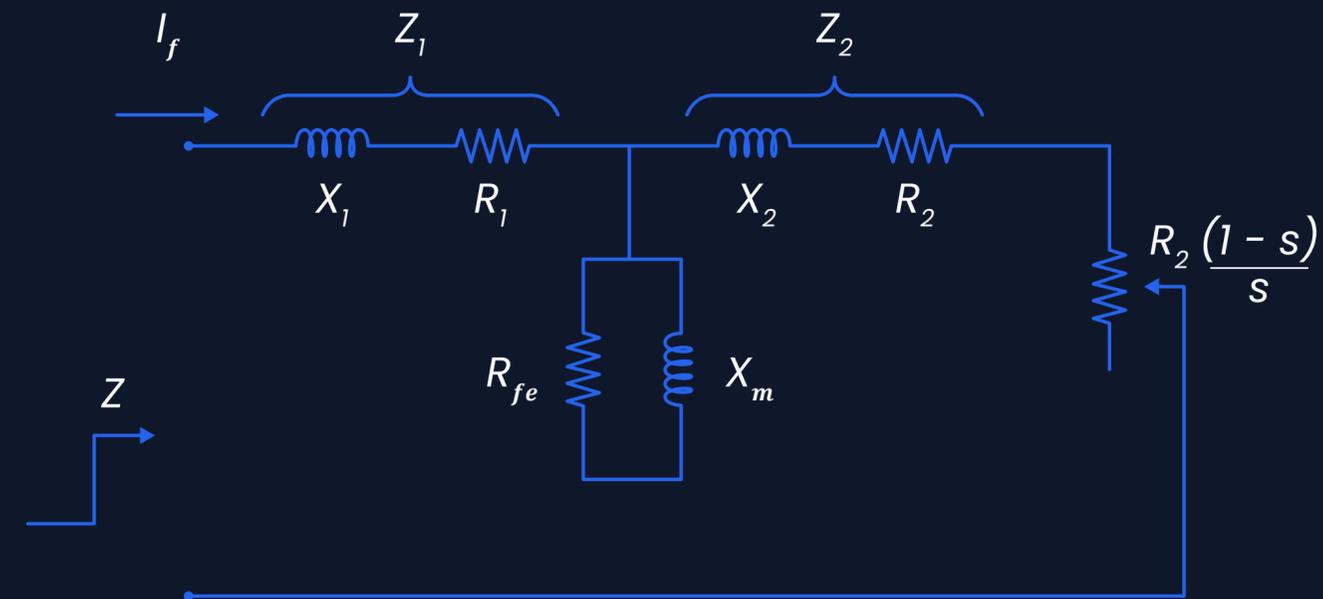


O motor de indução trifásico (MIT) possui o enrolamento responsável pelo campo girante. Além disso, pode ter um rotor gaiola de esquilo que ao entrar em contato com o campo girante, sofre uma indução.

Ele é chamado de assíncrono, pois a velocidade do campo girante é maior que a do rotor. A diferença entre os dois é chamada de escorregamento. A montagem do enrolamento é feita com relação entre o número de polos, ranhuras e potência (NASCIMENTO JUNIOR 2011).

Segundo Nascimento Junior (2015), o MIT é mais utilizado por conta de sua construção resistente, reduzido custo de fabricação, necessidade de **manutenção** relativamente baixa e funcionamento eficiente.

## Circuito equivalente motor trifásico



# CARACTERÍSTICAS



Facilidade da utilização da energia elétrica



Bons rendimentos



Versatilidade de adaptação às cargas



Facilidade de transporte



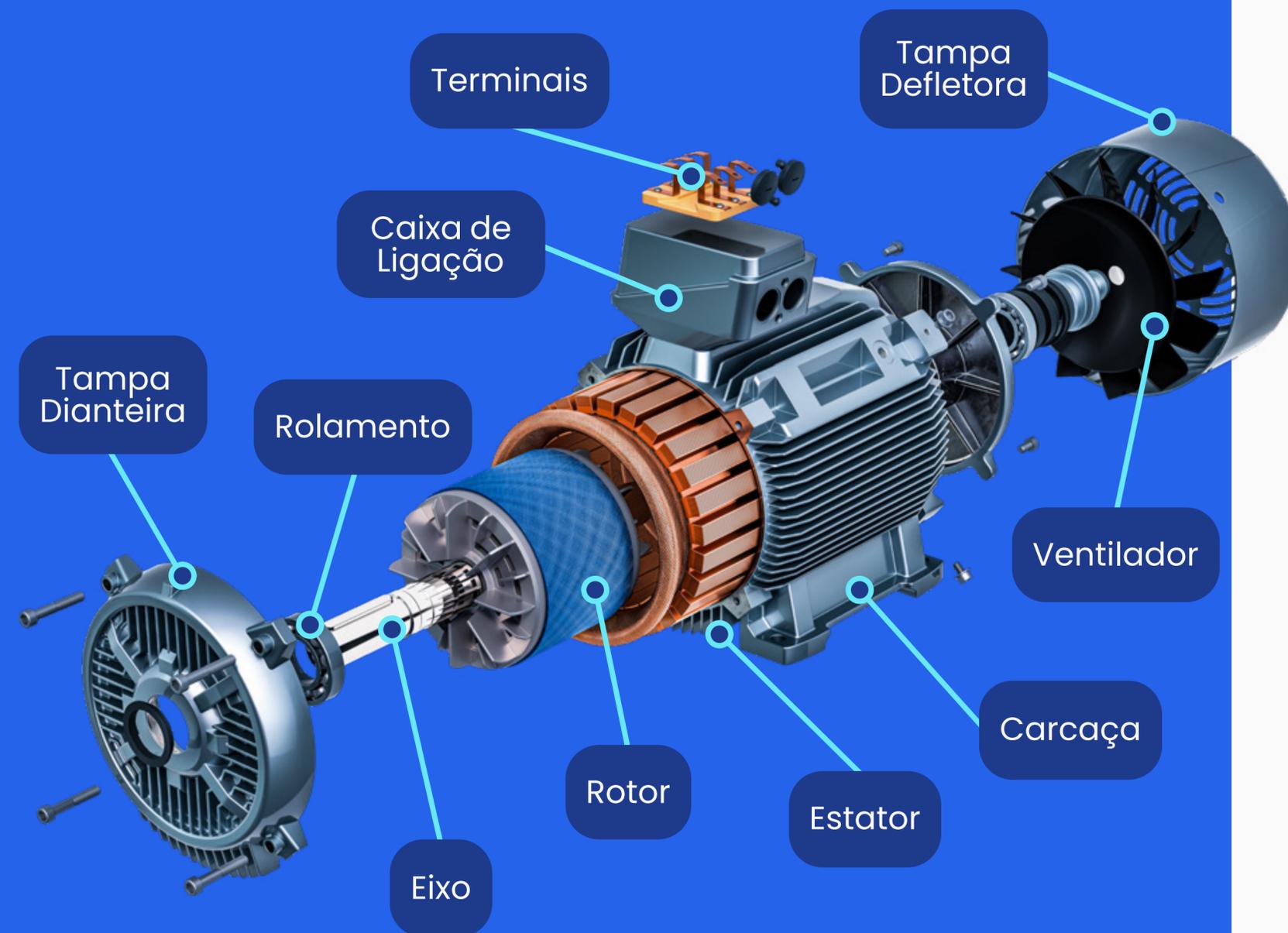
Baixo custo



Limpeza



Simplicidade de comando



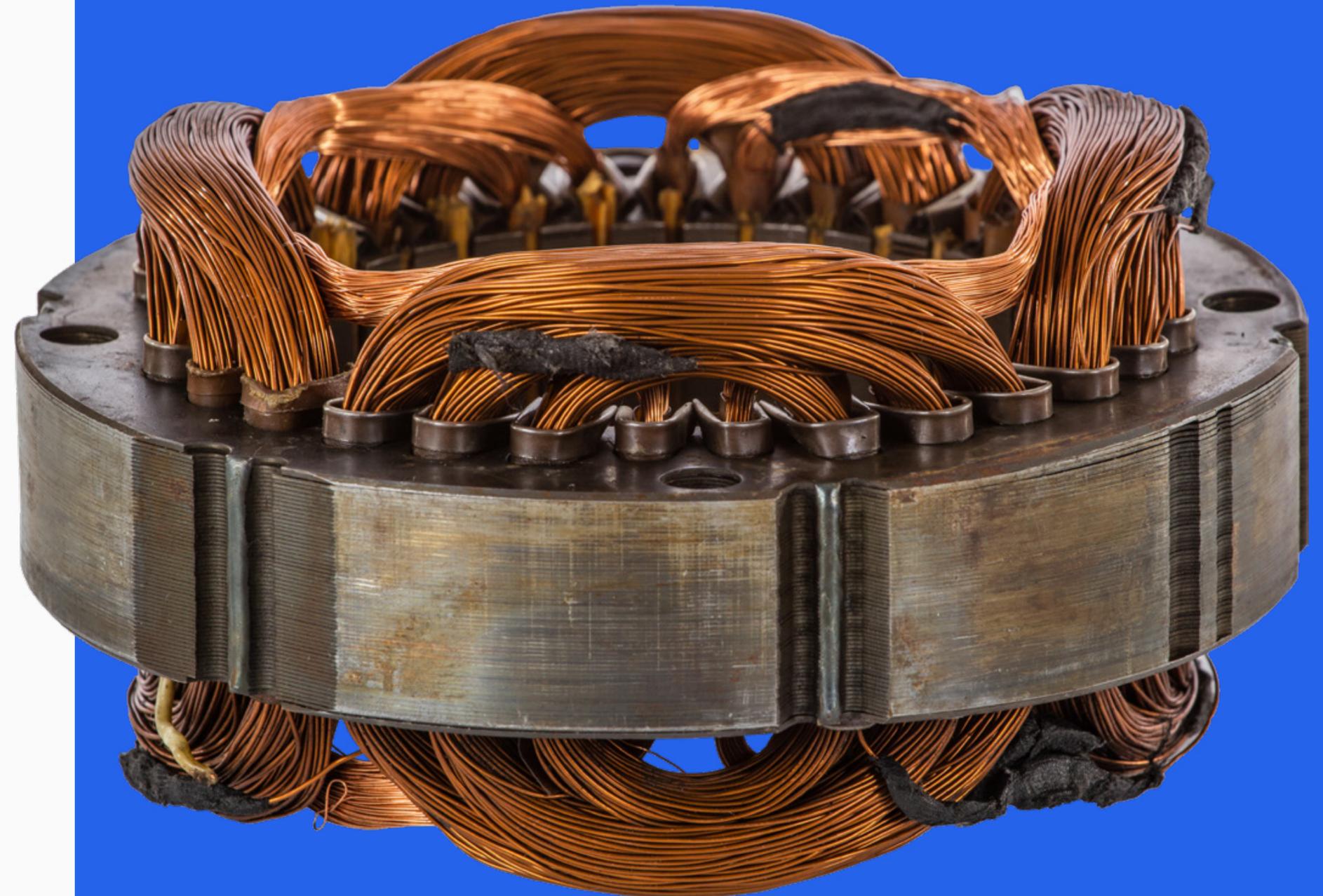
## PARTES E COMPONENTES DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

Antes de entender como é o princípio de funcionamento do motor de indução trifásico com rotor gaiola de esquilo, é preciso que haja um conhecimento da função de cada uma das partes que o compõem.

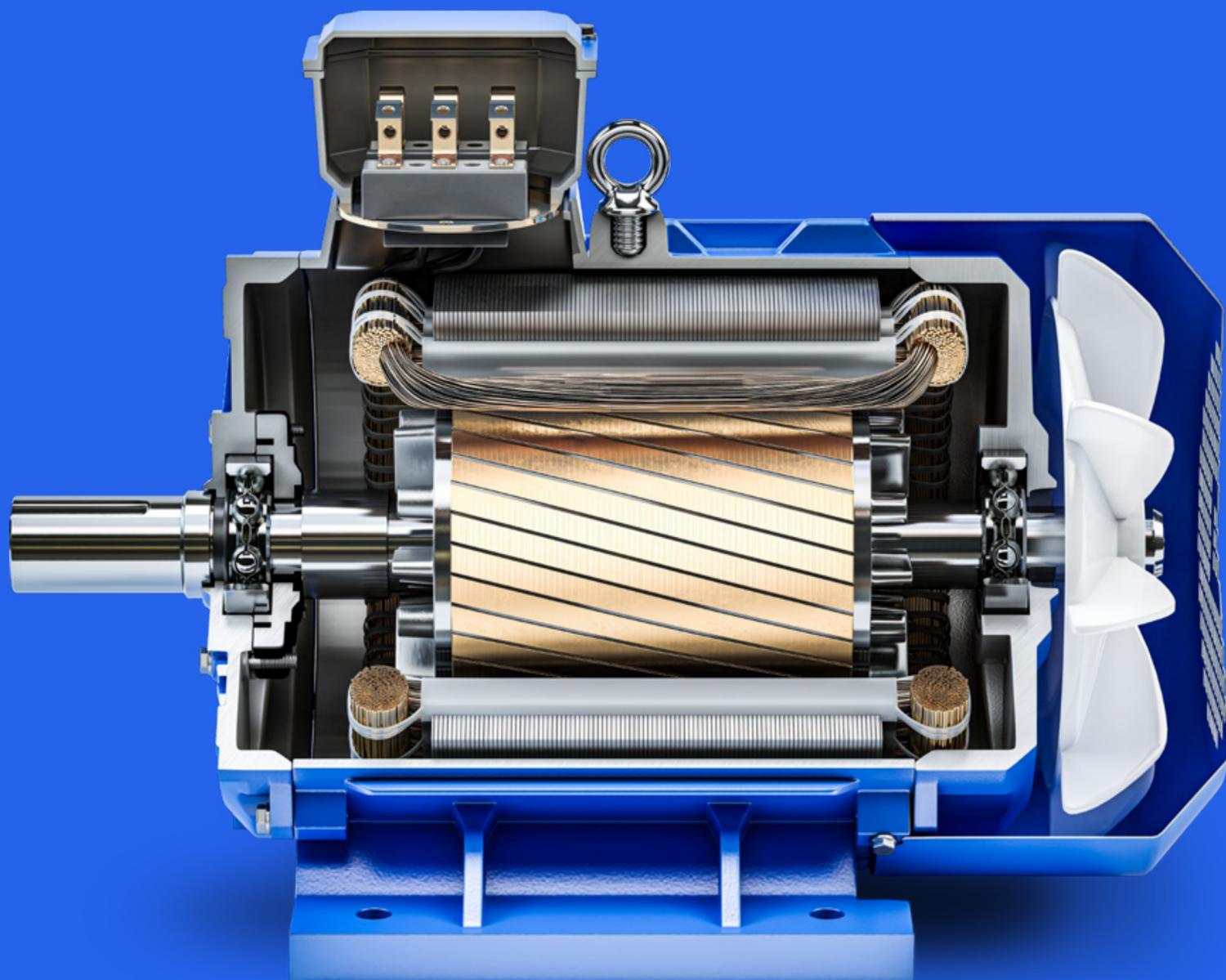
## ESTATOR

É a parte que se mantém fixa à carcaça, com o objetivo de conduzir o fluxo magnético para transformar a energia cinética do induzido.

O estator é feito de material ferromagnético laminado, geralmente aço silício. Em suas ranhuras ficam alojadas as bobinas dos enrolamentos. Tal laminação ajuda a aumentar a isolamento, evitar as correntes de fuga e parasitas, aumentando o rendimento da máquina. É nele que se forma um campo magnético capaz de induzir uma corrente no rotor.



## Motores Elétricos



O núcleo do estator é constituído por um empacotamento de chapas de material magnético com baixa densidade de perdas magnéticas (condutor magnético).

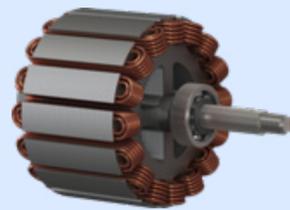
O enrolamento trifásico é formado por três conjuntos semelhantes de bobinas - uma para cada fase - ligado à rede trifásica de alimentação.

A carcaça é o componente estrutural do motor, alojando, suportando e protegendo a parte estatórica e rotórica do motor. Ela é confeccionada em liga especial de alumínio injetado sob pressão ou em ferro fundido cinzento, proporcionando rigidez ao motor e baixos níveis de vibração.

## ROTOR

O rotor é a parte girante do motor.

Há dois tipos que são constituídos por:



### Rotor bobinado

Eixo, núcleo, enrolamentos, anéis coletores e escovas



### Rotor Gaiola de esquilo

Eixo, núcleo, anéis curto circuitados e barras condutoras

O eixo é a parte mecânica onde ocorre a rotação e o local onde é montado o conjunto do rotor, apoiados em mancais. Ele transmite a potência desenvolvida pelo motor e é tratado termicamente para evitar problemas como: empenamento e fadiga.

O núcleo é composto por material magnético, semelhante ao do estator (condutor magnético), onde há barras de cobre ou alumínio, dispostas paralelamente entre si e unidas em suas extremidades.

A gaiola possui anéis metálicos na tampa e na base, que permite a circulação de correntes por elas (condutor elétrico).

Basicamente, o rotor é tudo que gira em torno de seu próprio eixo produzindo movimentos de rotação.

## TAMPAS

São elementos de união do conjunto que servem de apoio aos **rolamentos**.

Essas tampas atuam como caixas de mancais, fabricadas em alumínio injetado sob pressão ou em ferro fundido. São elas que garantem ao motor a alta resistência mecânica necessária.

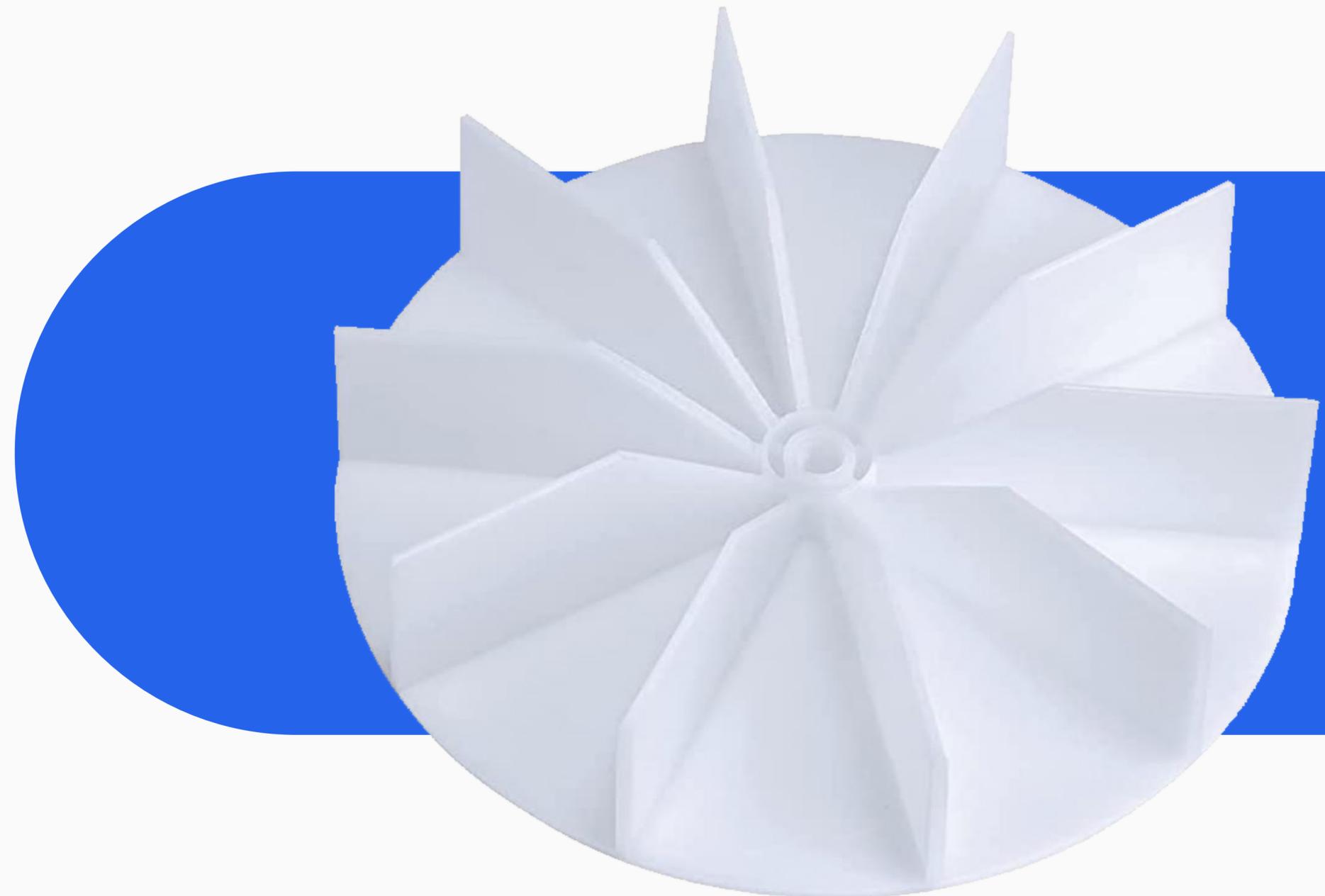
## ATERRAMENTO

Os motores possuem terminais para aterramento localizados no interior da caixa de ligação, confeccionados em latão e assegurando um perfeito contato elétrico.

## VENTILADOR OU VENTOINHA

Essa parte foi projetada para obter um sistema de ventilação forçada, impedindo que o motor superaqueça.

O objetivo é garantir o máximo de resfriamento possível, associado a um nível de **ruído** reduzido. O ventilador pode ser de polipropileno ou de alumínio não faiscante.



## BOBINAGEM

Todos os condutores utilizados nos enrolamentos dos motores são de cobre, isolados por um verniz à base de poliéster.

Os isolantes do estator podem ser de algumas classes de isolamento em função da temperatura de operação do motor.

### Classes de isolamento segundo NBR 5116

Classe de Isolamento	A	E	B	F	H
<b>Temperatura ambiente</b>	40	40	40	40	40
<b>Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média</b>	5	5	10	10	15
<b>Total: Temperatura do ponto mais quente</b>	105	120	130	155	180

## CAIXA DE LIGAÇÃO

Sua principal função é servir de alojamento dos cabos de alimentação, fortalecendo o ambiente externo e protegendo os cabos de um possível contato físico acidental.

Sendo assim, a caixa de ligação pode ser de chapa de aço ou de alumínio injetado sob pressão, permitindo um deslocamento a cada 90°, para facilitar a montagem.

## PLACAS DE BORNES

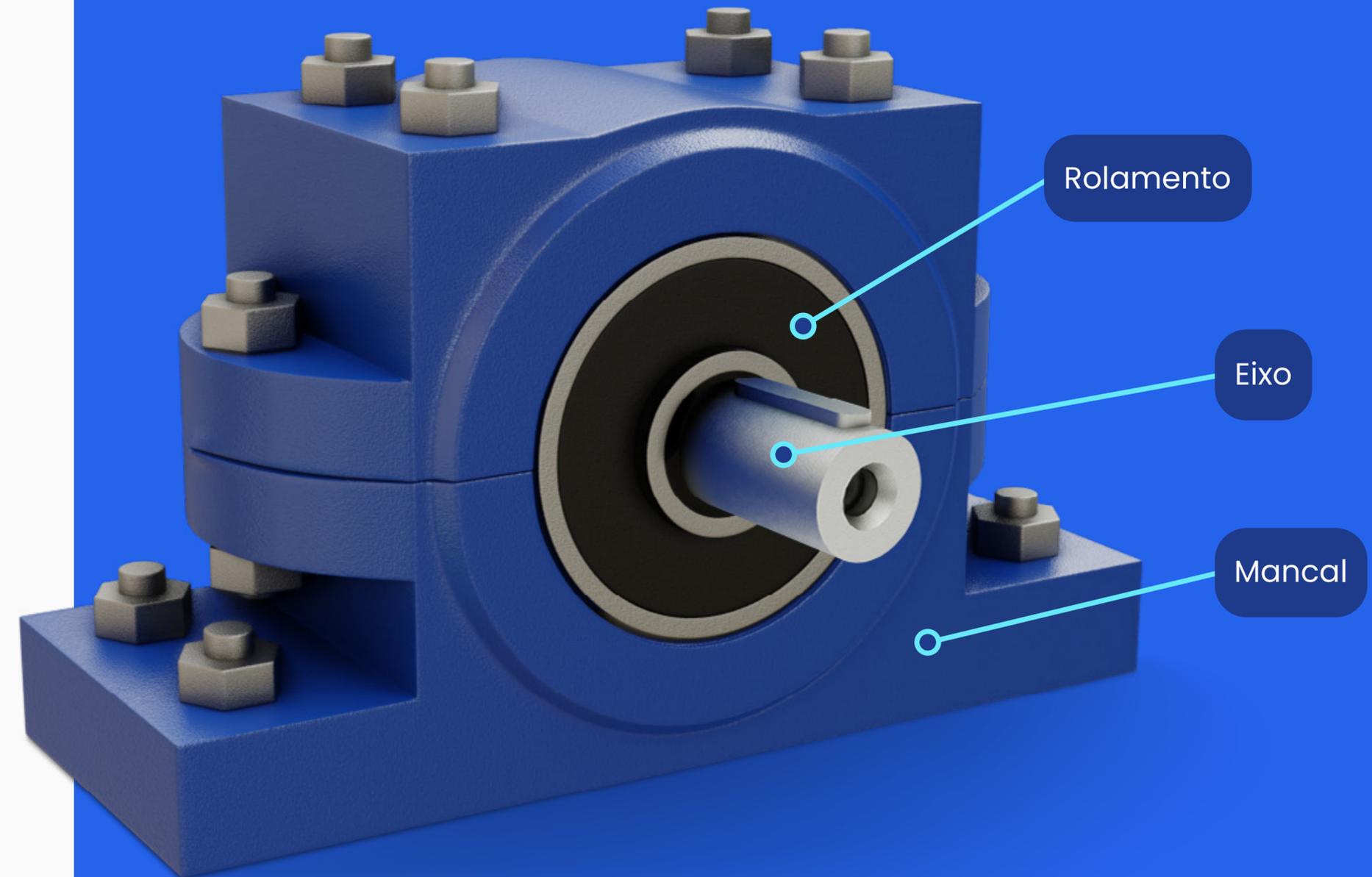
Para uma perfeita ligação dos motores, as placas de bornes são confeccionadas em material auto extingüível não higroscópico, resistente à corrente de fuga e de alta rigidez dielétrica.

## MANCAIS

Este é um elemento mecânico de fundamental importância para os motores, tanto na fase construtiva como na operação.

A função do **mancal** é apoiar os elementos móveis internos do motor e auxiliar a transmissão do movimento com o menor atrito possível. Por isso, é fundamental manter os limites de folgas entre estator e rotor pré-determinados em função do elemento de ligação magnética (gap de ar).

Os mancais de **rolamento** podem ser **lubrificados** com graxa, enquanto a lubrificação dos mancais de deslizamento é feita com óleo.



## **PASSADOR DE FIOS**

Utilizado para assegurar uma perfeita vedação entre a caixa de ligação e o ambiente externo.

## **CHAVETA**

Foi projetada para garantir a perfeita fixação do cubo do elemento de carga ao eixo do motor. É confeccionada em aço SAE 1045.

## **OLHAL DE SUSPENSÃO**

Tem por finalidade facilitar a movimentação, transporte e instalação.

Sua instalação é realizada nos motores conforme o tipo de carcaça, podendo ser fixo ou de aço forjado, rosqueado na própria carcaça.

# PLACA DE IDENTIFICAÇÃO

É o elemento utilizado para coleta das principais informações para a instalação e manutenção adequada.

The diagram shows a motor identification plate with various technical specifications and connection diagrams. Annotations with arrows point to specific fields on the plate:

- Motor trifásico**: Points to the '3~' symbol.
- Corrente Alternada**: Points to the '280L' symbol.
- Regime de serviço**: Points to the 'S1' symbol.
- Rendimento**: Points to the '95,8%' value.
- Frequência**: Points to the '60 Hz' value.
- Número de vezes que a corrente de partida é maior que a nominal**: Points to the '6,0' value (Ip/In).
- Tipos de conexão dos enrolamentos**: Points to the connection diagrams for 380V (Delta) and 660V (Star).
- Grau de proteção**: Points to the 'IP23' symbol.
- Classe de isolamento**: Points to the '80 K' value.
- Rotação nominal**: Points to the '3565' RPM value.
- Categoria do conjugado**: Points to the 'N' symbol.
- Tensões nominais do motor**: Points to the '380/660 V' value.
- Correntes nominais do motor**: Points to the '535/308 A' value.
- Número do lote**: Points to the 'SS992-F' symbol.
- Ano de fabricação**: Points to the '10/22' symbol.

<b>3~280L</b>		<b>300(400)</b> kW(HP-cv)	
MOTOR DE INDUÇÃO - GAIOLA	FS <b>1,15</b>	60 Hz	
<b>380/660</b> V		<b>535/308</b> A	
RPM <b>3565</b>	FP <b>0,89</b>	REG <b>S1</b>	
ISOL <b>F</b>	ΔT <b>80 K</b>	REND <b>95,8%</b>	Ip/In <b>6,0</b>
<b>IP23</b>	ALT <b>1000</b> m.a.n.m	CAT <b>N</b>	AMB. <b>40 °C</b>
		<b>918 kg</b>	

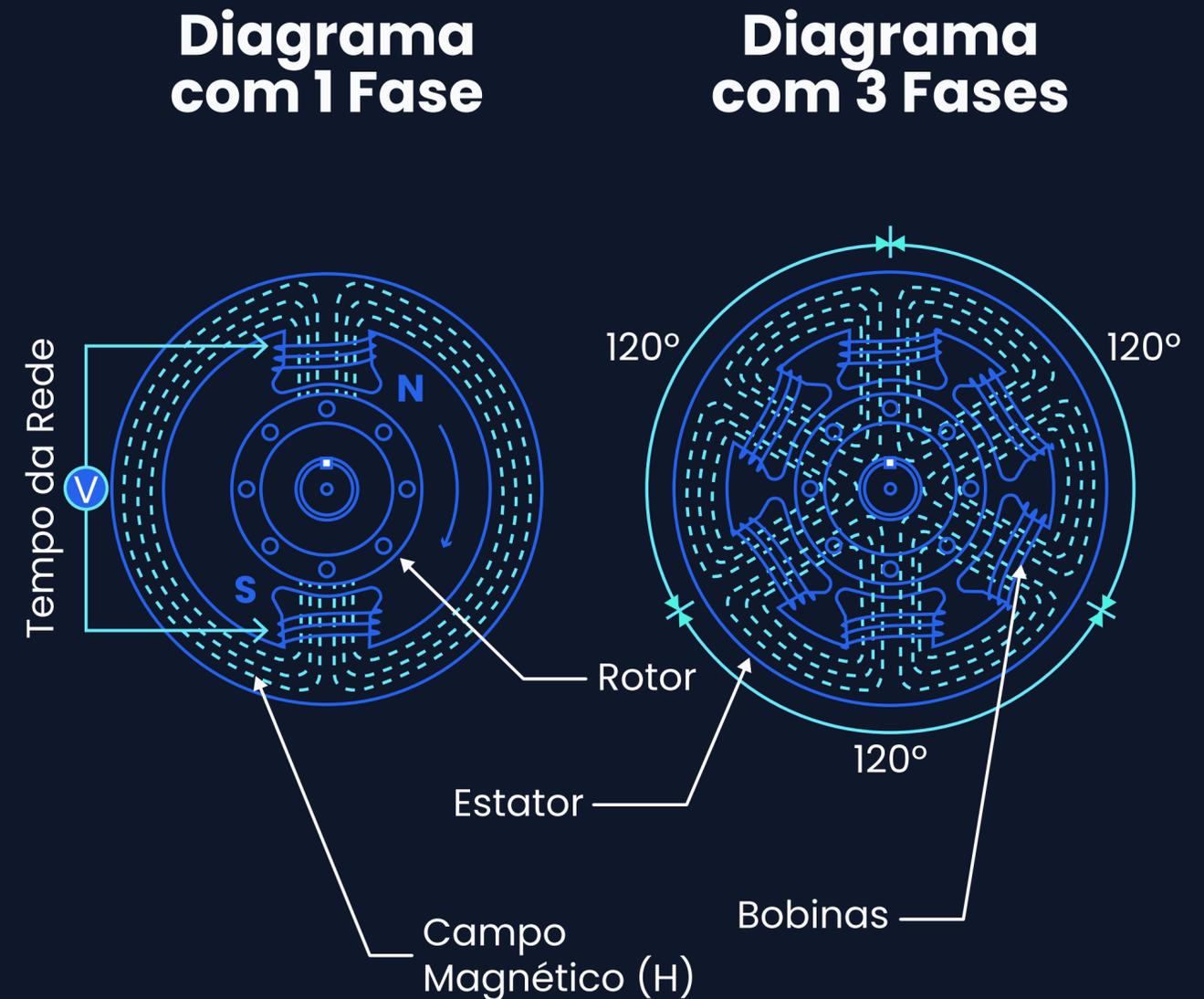
Connection diagrams:  
 380 V: Δ L1 L2 L3 (W2, U2, V2) / (U1, V1, W1)  
 660 V: Y L1 L2 L3 (W2, U2, V2) / (U1, V1, W1)

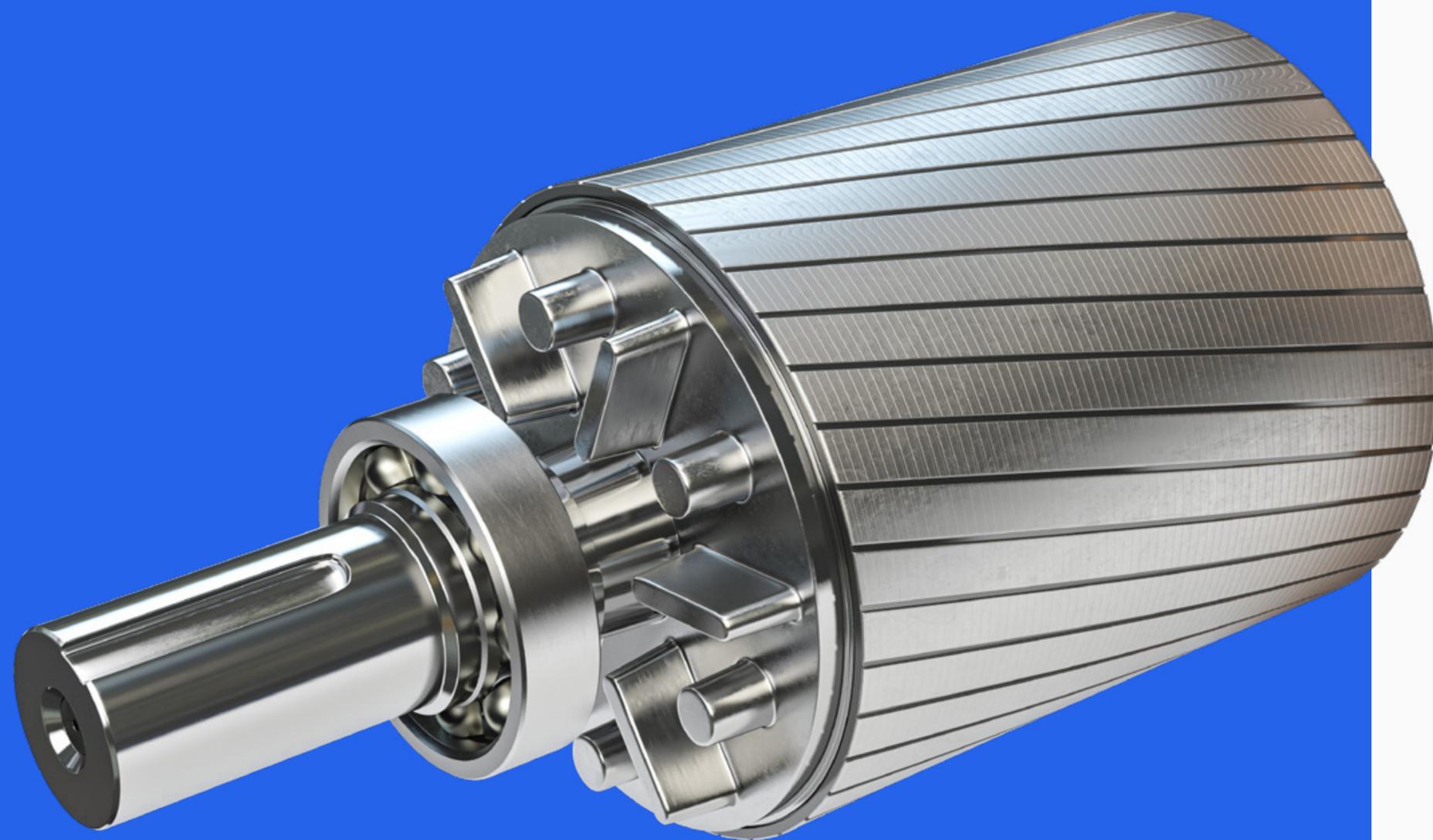
# PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento desses maquinários é utilizar do fenômeno da indução eletromagnética em condutores para manipular os campos magnéticos e assim gerar o movimento do rotor.

Com a passagem da corrente nas bobinas é gerado um fluxo magnético que percorre o núcleo do estator.

Associando três pares de bobina alimentados por uma rede trifásica, os fluxos interagem entre si de forma que resultam em um campo girante que rotaciona em torno do equipamento.





O rotor é constituído de um núcleo de lâminas de aço com os condutores curto circuitados dispostos paralelamente ao eixo e entranhados nas fendas em volta do perímetro do núcleo.

Como há a passagem de um campo magnético girante em um condutor é induzida uma corrente que percorre o núcleo do rotor e pela Lei de Lorentz é induzida uma força em função do campo e da corrente que gera o movimento rotativo de todo o sistema.



# POR QUE OS MOTORES QUEIMAM?



## Por que os motores queimam?

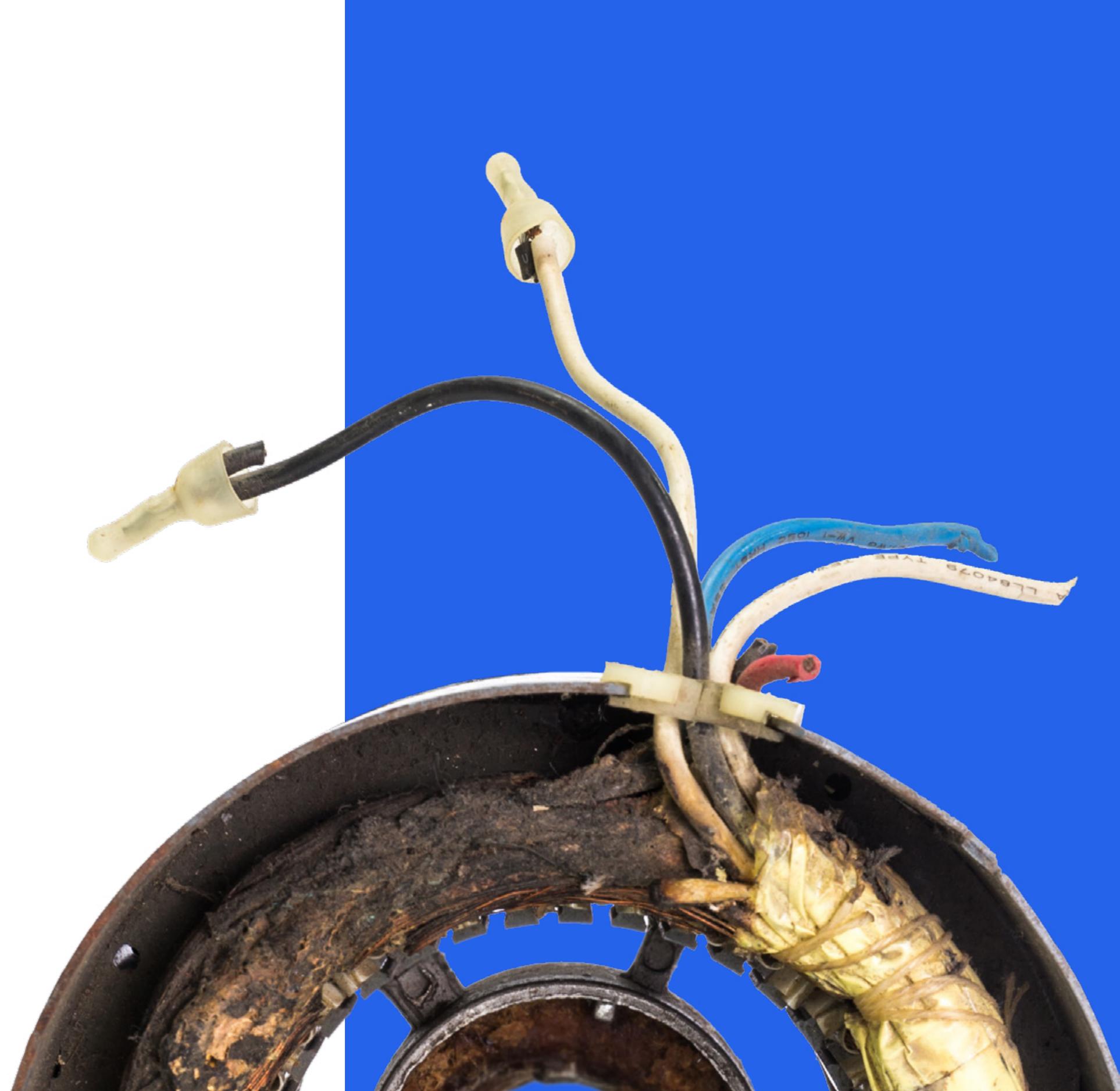
O motor depende dos **enrolamentos** em um bom estado e de uma alimentação adequada para que a indução eletromagnética ocorra como projetado e possa gerar a rotação do eixo.

A queima ocorre quando alguma condição de operação inadequada inflige uma corrente tão alta que danifica o condutor impedindo seu funcionamento.

## CURTO-CIRCUITO

Os condutores de cobre são revestidos por uma camada de esmalte isolante, assim é possível enrolar os fios das bobinas uma sobre as outras sem que haja o contato elétrico entre elas. Além disso, os condutores esmaltados são unidos com um verniz com o intuito de evitar que vibrem e atritam entre si, podendo danificar o esmalte.

Os enrolamentos também são envolvidos pela resina de impregnação, que tem a função de preencher os espaços vazios dentro das ranhuras do estator, auxiliando na dissipação de temperatura gerada pelo condutor.





## Motores Eléctricos

Todo esse sistema de isolamento dos enrolamentos existe para evitar o contato elétrico entre os condutores, caso ele venha a falhar ocorre o curto circuito e conseqüentemente a queima do condutor. Esses curtos podem ocorrer entre espiras de uma mesma uma mesma bobina, entre fases de bobinas distintas ou nas conexões das bobinas.

Os defeitos de isolação são associados com alguma contaminação interna do motor, com degradação do material isolante por ressecamento devido a temperatura excessiva ou por abrasão e com rápidas oscilações na tensão de alimentação.

## **SOBREAQUECIMENTO**

A passagem da corrente **elétrica** nos enrolamentos gera o aquecimento dos componentes devido ao efeito joule. Sendo assim é necessário que o calor gerado seja liberado para não causar o sobreaquecimento e assim deteriorar o isolamento dos condutores.



Elevação de Temperatura $\Delta\theta(^{\circ}\text{C})$	Tempo de Vida Útil (Anos)	Redução de Vida Útil (%)
0	20	0
1	18.46	7.7
2	17.04	14.8
3	15.73	21.4
4	14.54	27.3
5	13.43	32.8
6	12.42	37.9
7	11.49	42.5
8	10.63	46.8
9	9.84	50.8
10	9.11	54.4
15	6.24	68.8
20	4.31	78.4

Caso a temperatura das bobinas estejam acima do limite de isolamento, haverá um envelhecimento gradual e generalizado **reduzindo a vida útil do ativo.**

Rezende (2016) afirma que é possível associar o envelhecimento da isolação com o aumento da temperatura.

Importante lembrar que todos os motores possuem sistema de ventilação acoplado ao rotor. Servindo para retirar o calor interno.

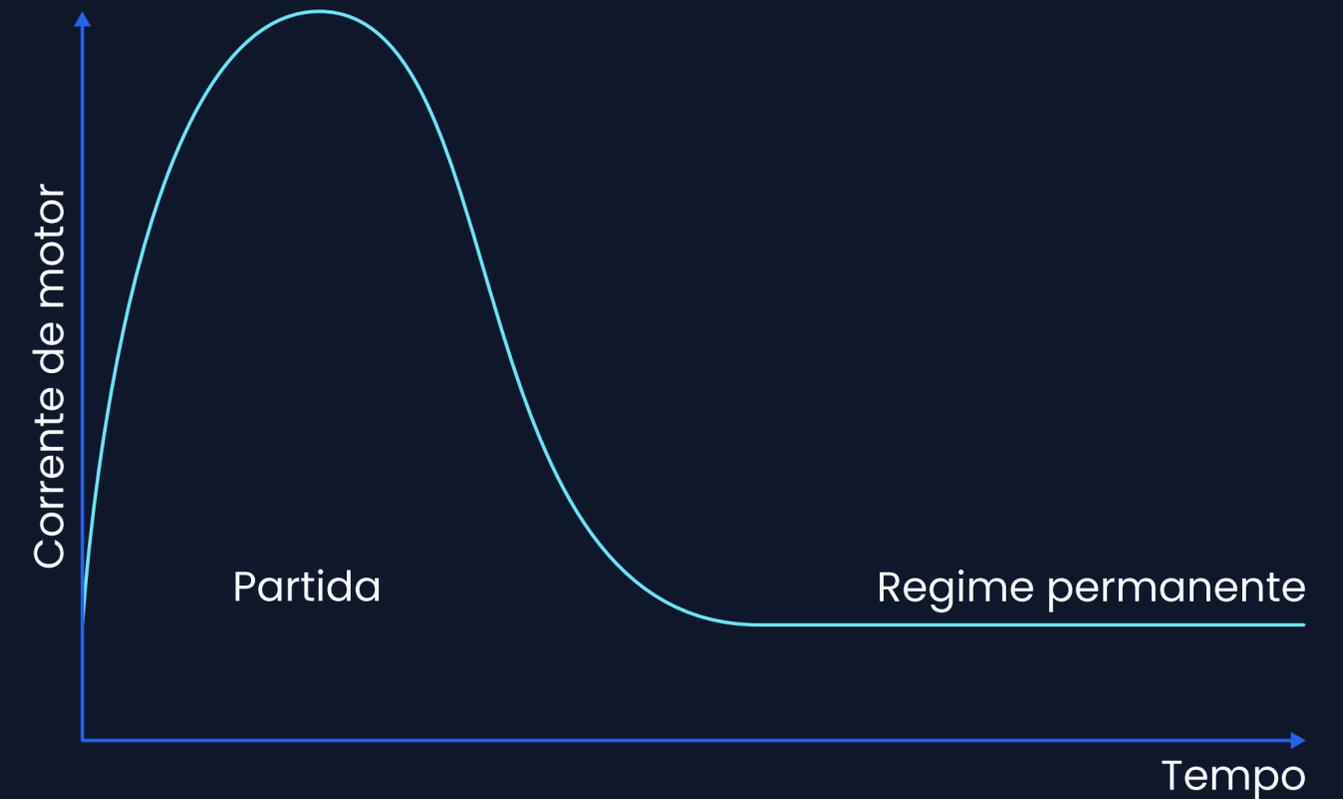


Qualquer impedimento do fluxo de ar pode ocasionar o sobreaquecimento, as causas mais comuns são acúmulo de sujeira, poeira, grama e ferrugem.

## ROTOR BLOQUEADO

Essa condição impõe uma sobrecarga extrema no motor de indução. A elevada corrente de rotor bloqueado faz com que toda a energia de entrada seja convertida em aquecimento do rotor e do estator.

Na partida com 100% de carga, as correntes nos enrolamentos do estator variam de 3 a 7 vezes, caso o motor não consiga fazer sua partida devido ao bloqueio a corrente continuará no patamar de partida causando o sobreaquecimento.



## PICOS DE TENSÃO

Essas **falhas** acontecem pelo aumento de tensão em uma ou mais fases, ou seja, se o motor não estiver protegido sua queima ocorrerá.

Sua causa pode ser relacionada a descargas atmosféricas cuja energia percorre a rede elétrica, oscilando a tensão de alimentação de forma violenta.

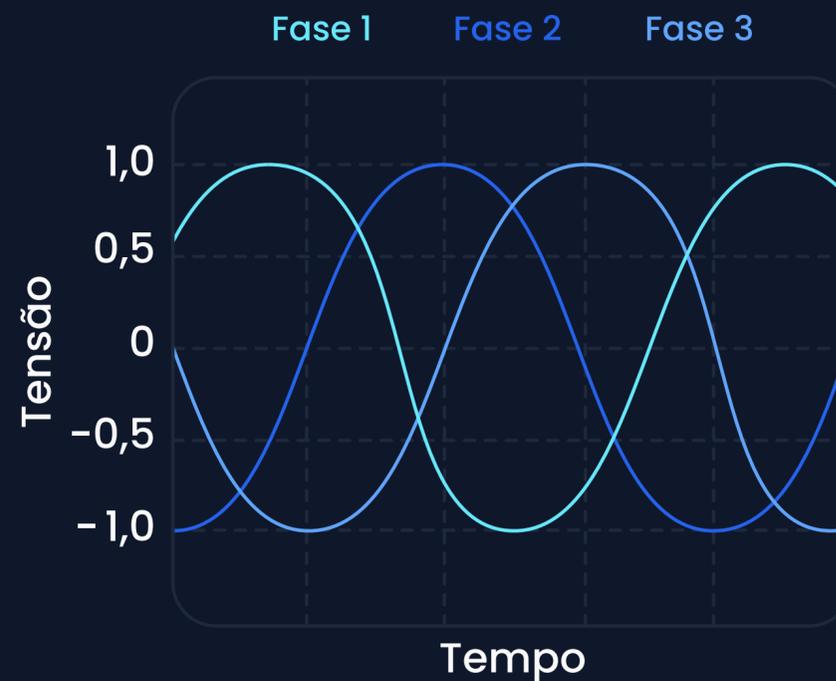
Além disso, podem ser ocasionados por manobras em banco de capacitores e com problemas no sistema de acionamento e controle do motor.



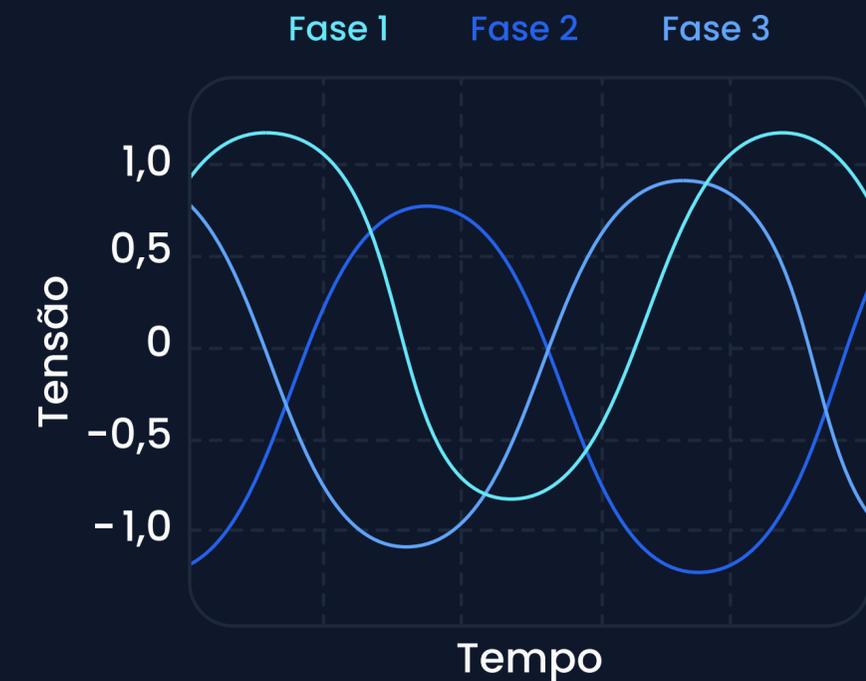
## DESBALANCEAMENTO DE TENSÃO

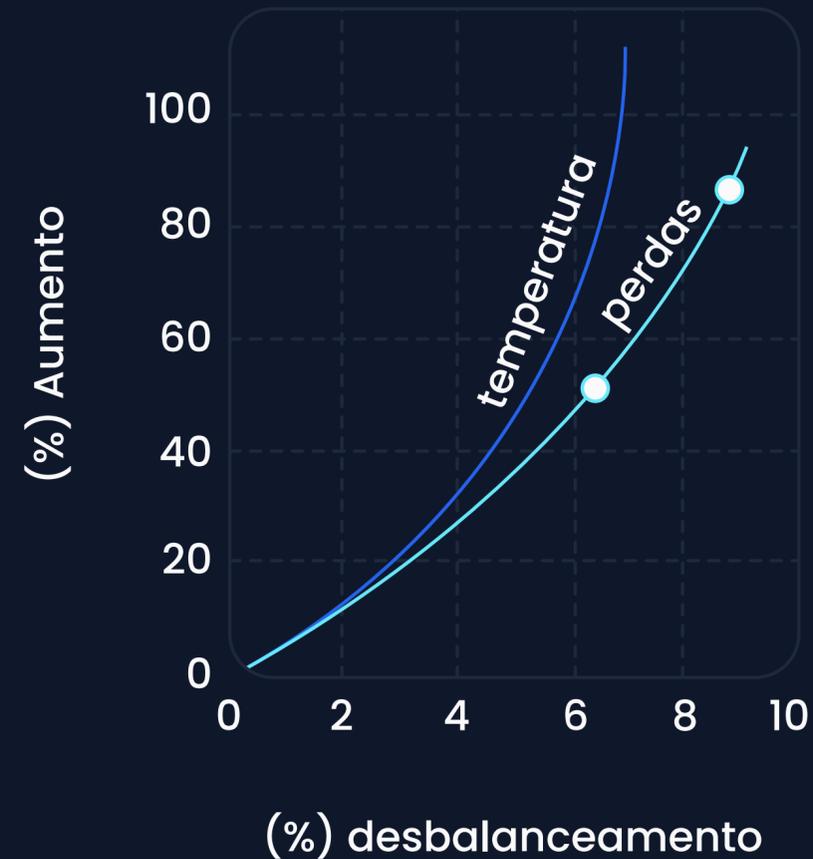
É uma condição que as fases apresentam diferentes amplitudes de tensão ou defasagem angular diferentes de  $120^\circ$  ou ainda as duas condições simultaneamente.

Tensões balanceadas



Tensões desbalanceadas





O desequilíbrio da tensão irá ocasionar **desperdício** de energia devido à existência de maiores perdas provocadas por altas correntes desequilibradas.

Estudos da Eletobrás em 2004 apontaram que desequilíbrios de 3,5% na tensão podem aumentar as perdas do motor em até 20% e desequilíbrios acima de 5% causam problemas operacionais imediatos.

Valores pequenos na faixa de 1 a 2% também são prejudiciais, já que ocasionam um aumento no consumo de energia, se não foram detectados o motor está superdimensionado.

Ou seja, a tensão da rede deve ser monitorada com frequência e um desequilíbrio maior do que 1% deve ser corrigido.

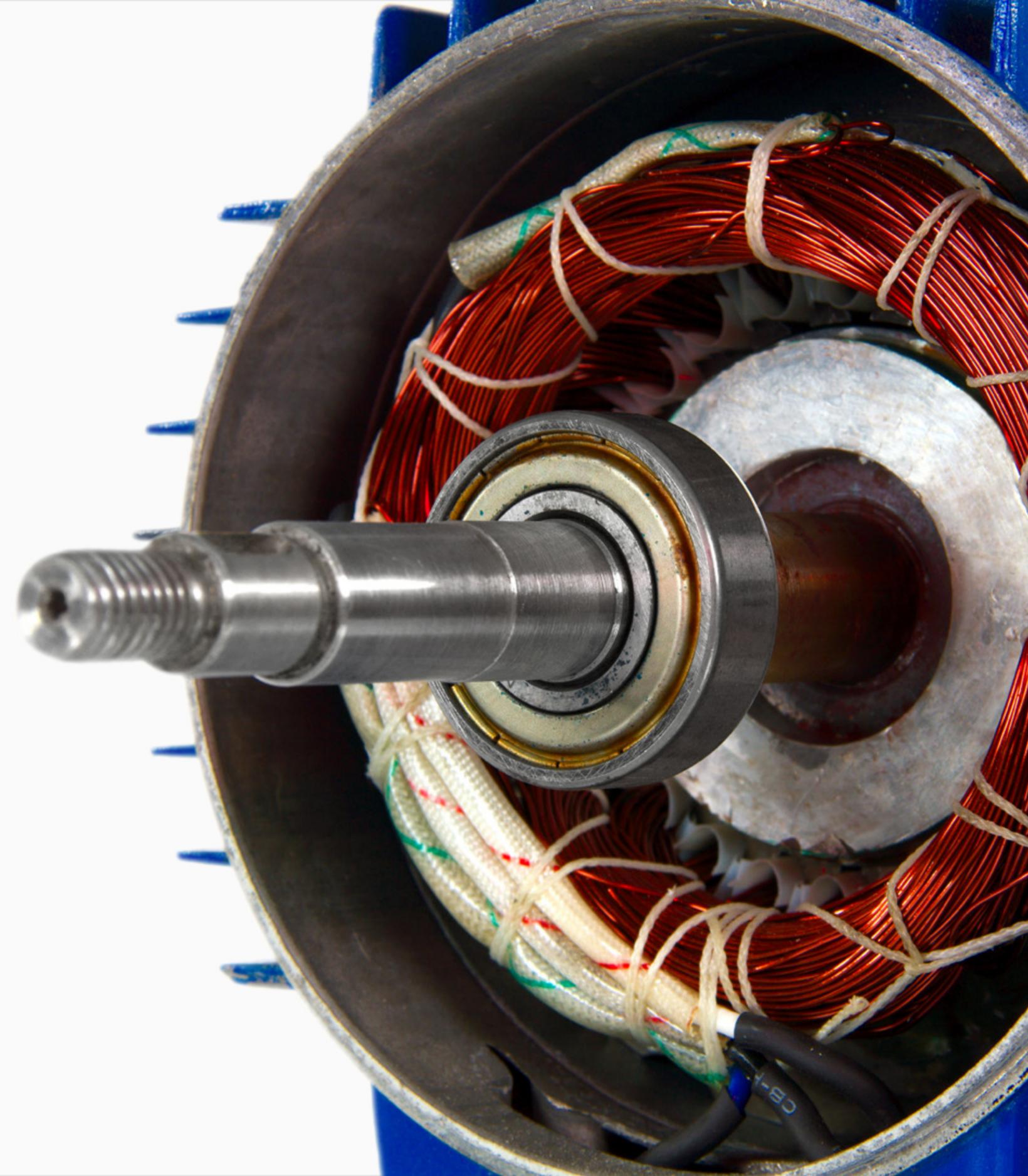
O **desbalanceamento** das fases causa efeitos operacionais no motor como: o surgimento de torque que age no sentido de frear o movimento, alterações do tempo de partida e diminuição do fator de potência.

## FALTA DE FASE

Essa condição ocorre quando há algum problema com a alimentação, sendo resultada por um rompimento no cabo de alimentação, queima de um fusível, queima de uma fase no transformador ou problemas no sistema de acionamento.

Se o motor não estiver em operação e ocorra a falta de fase ele não dará partida. Mas se ele já estiver em movimento, o torque será reduzido podendo parar ou continuar em baixa velocidade.

A falta de fase é a condição extrema do desbalanceamento de fases, assim ocorre um aumento considerável de correntes nas fases acionadas provocando o sobreaquecimento do motor.



## COMPONENTES DE PROTEÇÃO DO MOTOR

Os motores são suscetíveis a uma série de fenômenos que podem levar à queima do equipamento.

Então devemos utilizar recursos que irão proteger o equipamento na condição de sobreaquecimento para evitar danos aos enrolamentos.

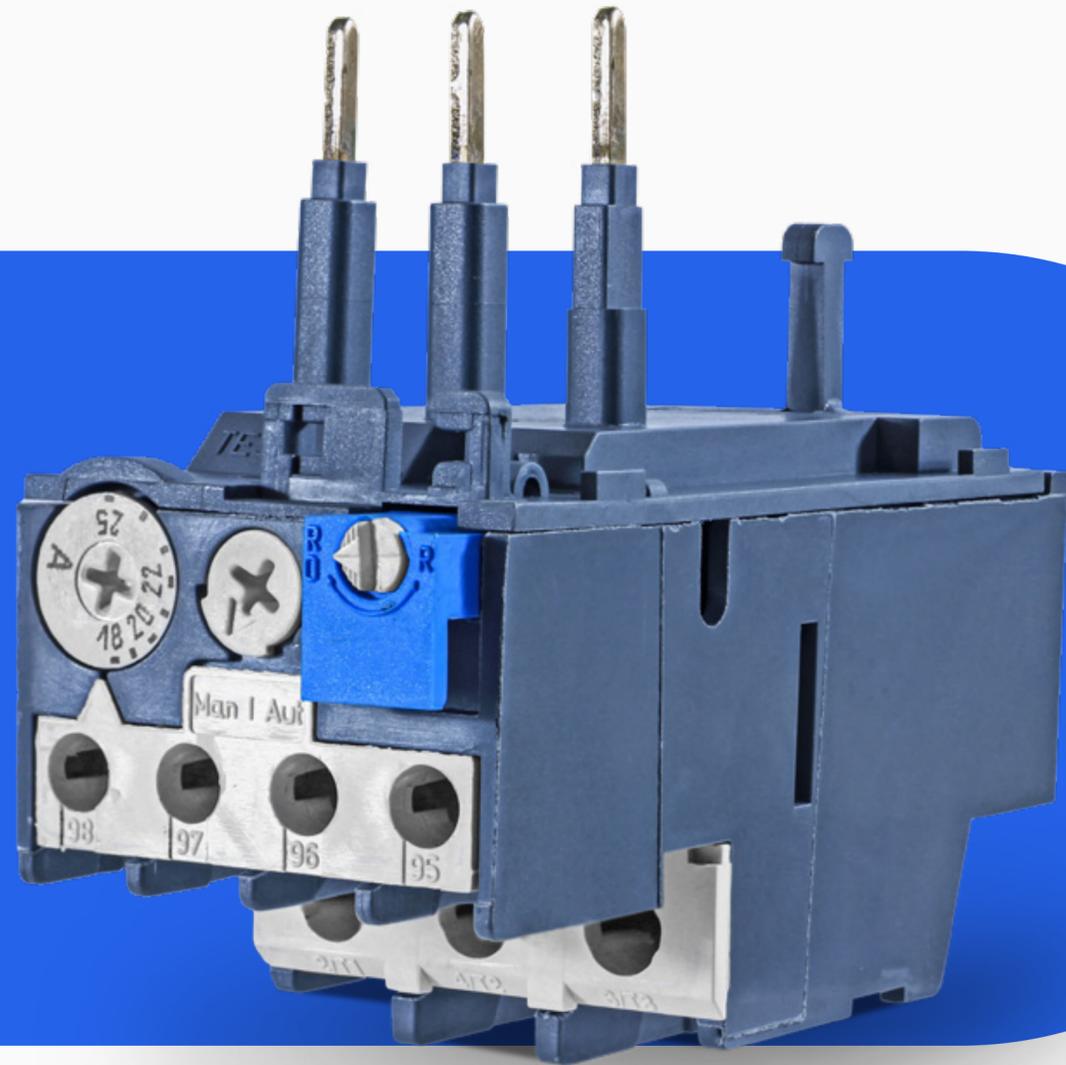
O fusível é o elemento mais básico e protege contra picos de corrente elevados porém não atua bem contra as demais condições.

	Proteção em função da corrente		Proteção com sondas térmicas no motor
	Fusível	Fusível e protetor térmico	
<b>Causas de sobre-aquecimento</b>			
Sobrecarga com corrente 1,2 vezes a corrente nominal	●	●	●
Rotor bloqueado	●	●	●
Falta de fase	●	●	●
Variação de tensão excessiva	●	●	●

● Não protegido

● Parcialmente protegido

● Totalmente protegido



A proteção térmica com o uso do relé de sobrecarga monitora a temperatura através da passagem da corrente e o isola do sistema se necessário.

Já a proteção térmica com o uso de sondas, a proteção se torna ainda mais precisa e diminui o tempo de reação pois mede diretamente a temperatura no equipamento.

Combinando esses componentes, monta-se um circuito de proteção que evita a queima e prolonga a vida útil do equipamento.

# FALHAS MAIS COMUNS





## Falhas mais comuns

Você sabe que problemas mecânicos ou elétricos podem fazer com os motores elétricos falhem, causando paradas na linha de produção e acarretando prejuízos à empresa.

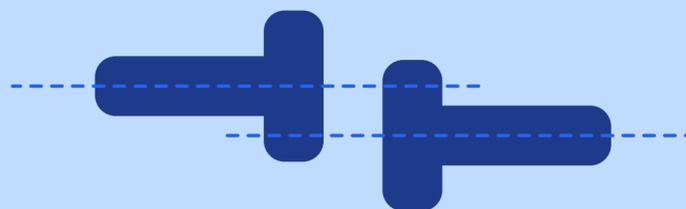
As questões que levam às suas falhas e seus componentes podem ser de diversas naturezas. Porém, a grande maioria pode ser evitada com equipes bem treinadas e com adoção de programas de manutenção eficazes, como sistemas de **monitoramento de condição** capazes de prever eventuais problemas.

Listamos as falhas mais comuns que acontecem nesse maquinário.

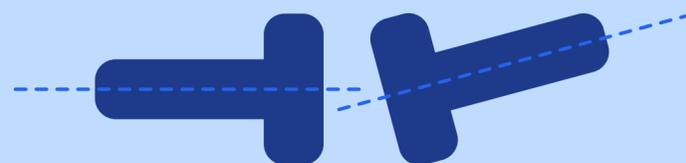
## DESALINHAMENTO

O problema ocorre quando o eixo de acionamento do motor (rotor) ou a peça de acoplamento não estão corretamente alinhados com a carga, resultando na transferência de esforços mecânicos que aumentam o desgaste do motor e sua carga mecânica aparente. Um dos efeitos deste problema é o aumento da vibração, tanto na carga quanto no motor em si.

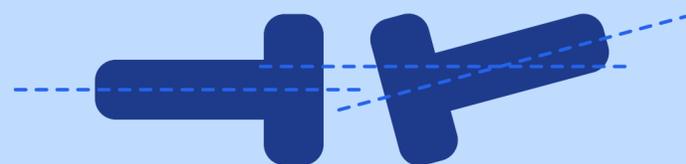
O **desalinhamento** pode ser classificado em três tipos: paralelo, angular ou combinado.



O desalinhamento **paralelo** ou radial ocorre quando as linhas de centro se apresentam de forma paralela.



Já o **angular** ou **axial** é observado a partir de um ângulo formado entre as linhas centrais do eixo, que se cruzam.



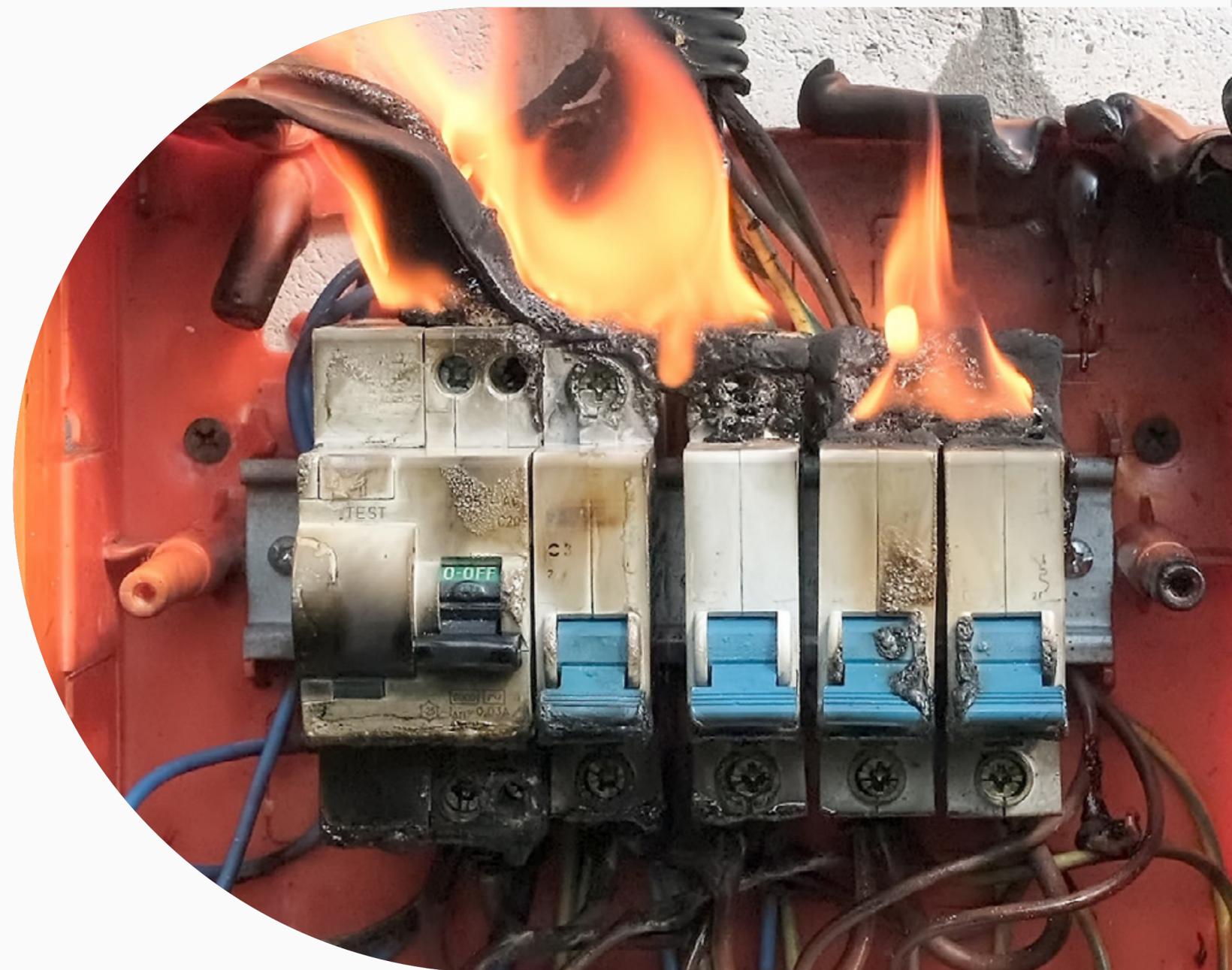
O **combinado**, traz tanto desvios paralelos quanto angulares nas linhas do centro, e é considerado o tipo mais comum entre os três.

## OVERLOAD/SOBRECARGA

Acontece quando um motor é exigido além do seu torque nominal, ou seja, a corrente elétrica de operação fica acima do normal, o que causa um superaquecimento. Isso faz com que a vida útil do motor diminua, e, dependendo do nível de sobrecarga, o dispositivo de proteção do motor pode ser acionado, o que causará uma parada inesperada na operação do ativo.

Quando um motor está sobrecarregado, é possível observar alguns sinais, como o consumo excessivo de corrente elétrica e torque insuficiente. O calor excessivo provocado pelo superaquecimento é uma das principais causas de falha, e o principal prejuízo é o desgaste prematuro do motor e de seus componentes mecânicos, que podem levar à falha permanente.

Além disso, o excesso de material, partidas, inércia, reversão, arrasto, regime incorreto, **vibração**, também contribuem para o aumento da temperatura.



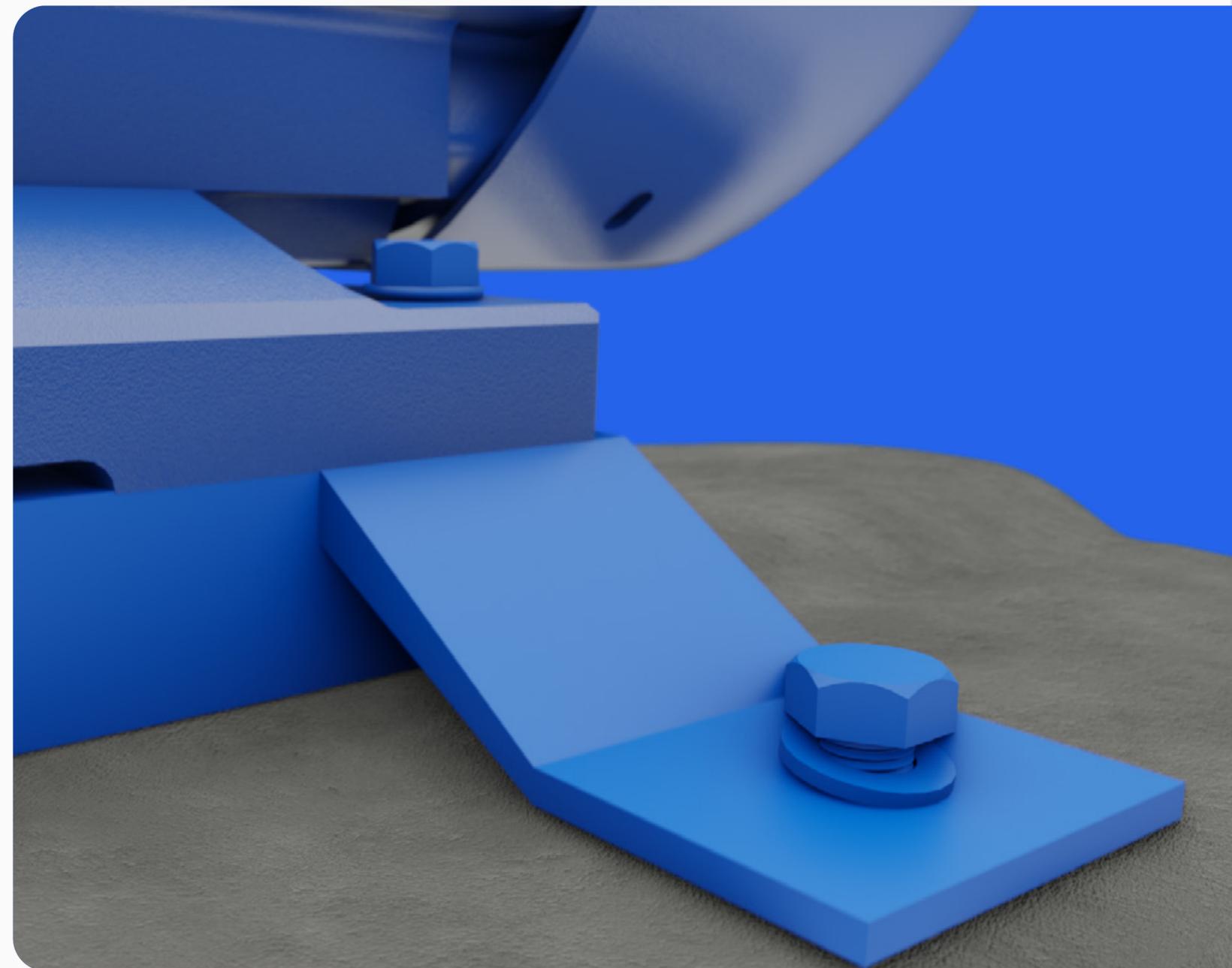
## PÉ SUAVE

Acontece quando a fixação dos pés do motor ou do seu componente acionado não estão assentados sobre a mesma superfície, desencadeando tensões mecânicas de desalinhamento tanto nos eixos do motor quanto da carga.

Essa falha pode acabar criando novas tensões mecânicas de desalinhamento. Uma das formas de detectar o problema é através da observação dos parafusos de fixação: quando ocorre o pé suave, dois parafusos geralmente ficam em posição diagonal.

Uma analogia simples para visualizar essa ocorrência é pensar em uma cadeira ou mesa desiguais: elas sempre balançam em uma determinada posição diagonal.

Para evitar que isso aconteça, é importante que motor e carga estejam afixados na superfície.



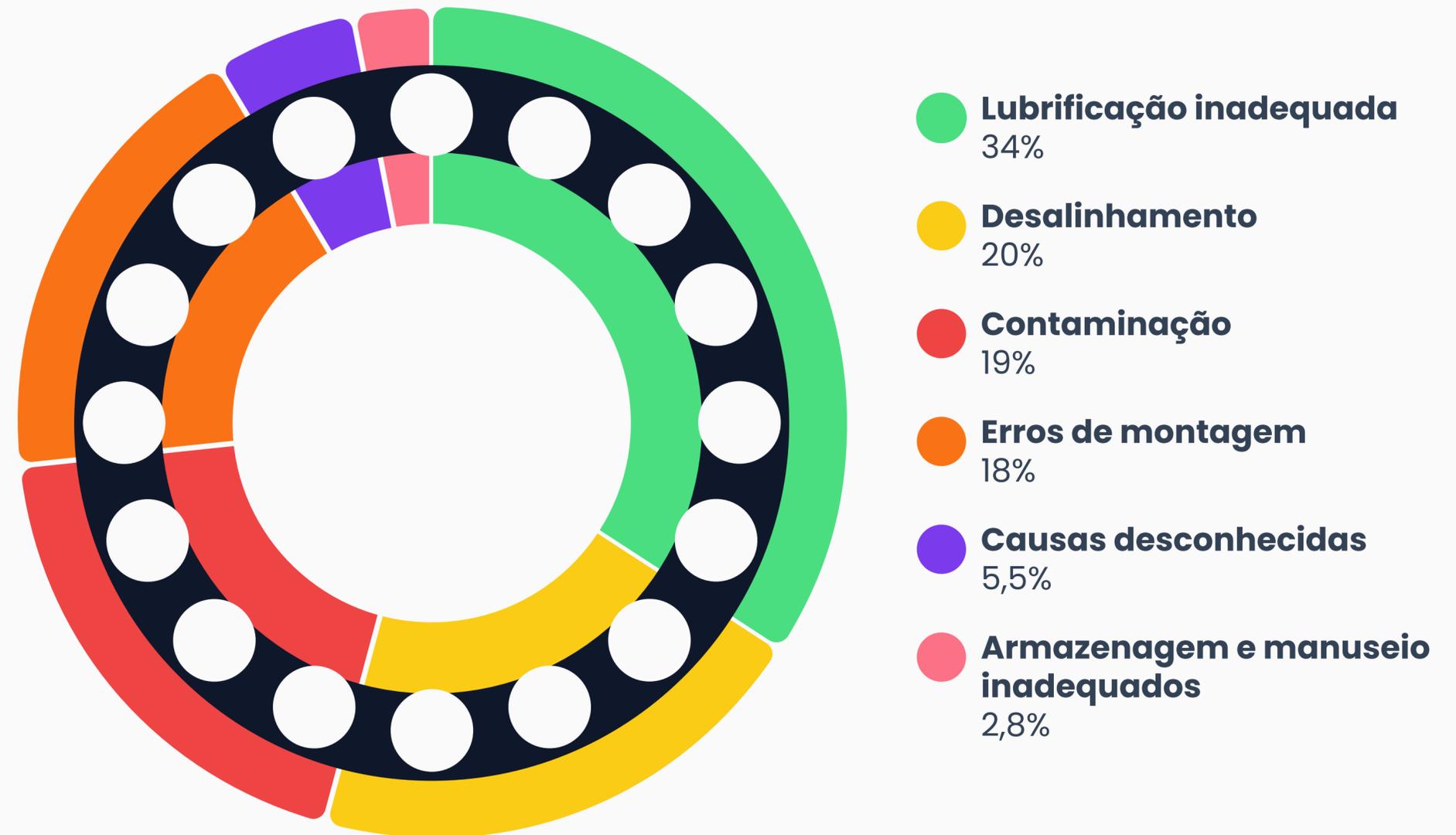
## DESGASTES DO ROLAMENTO

Estima-se que grande parte das falhas em motores sejam causadas por desgastes do rolamento.

As falhas do rolamento podem acontecer por diversos motivos:

- Lubrificação inadequada
- vedação do rolamento ineficaz,
- tensões induzidas no eixo,
- desalinhamento
- contaminações, entre outros.

## Falhas em rolamentos: principais causas



Em linhas gerais, podemos classificar as falhas de rolamento em pré-operacionais e operacionais.

## Pré Operacional

**Danos que podem acontecer antes ou durante a instalação do rolamento.**

- Desalinhamento estático;
- Ajuste impreciso do eixo e caixa de mancal;
- Assentos de rolamentos nos eixos e nas caixas de mancal defeituosos, manuseio;
- Armazenagem;
- Tensão excessiva por passagem de corrente elétrica no rolamento e transporte, etc.

## Operacional

**Durante a operação do ativo.**

- Lubrificação ou vedação ineficientes;
- Falso brinelamento;
- Fadiga do material;
- Fuga de corrente (devido à passagem de corrente elétrica pelo rolamento) ;
- Desalinhamento operacional.

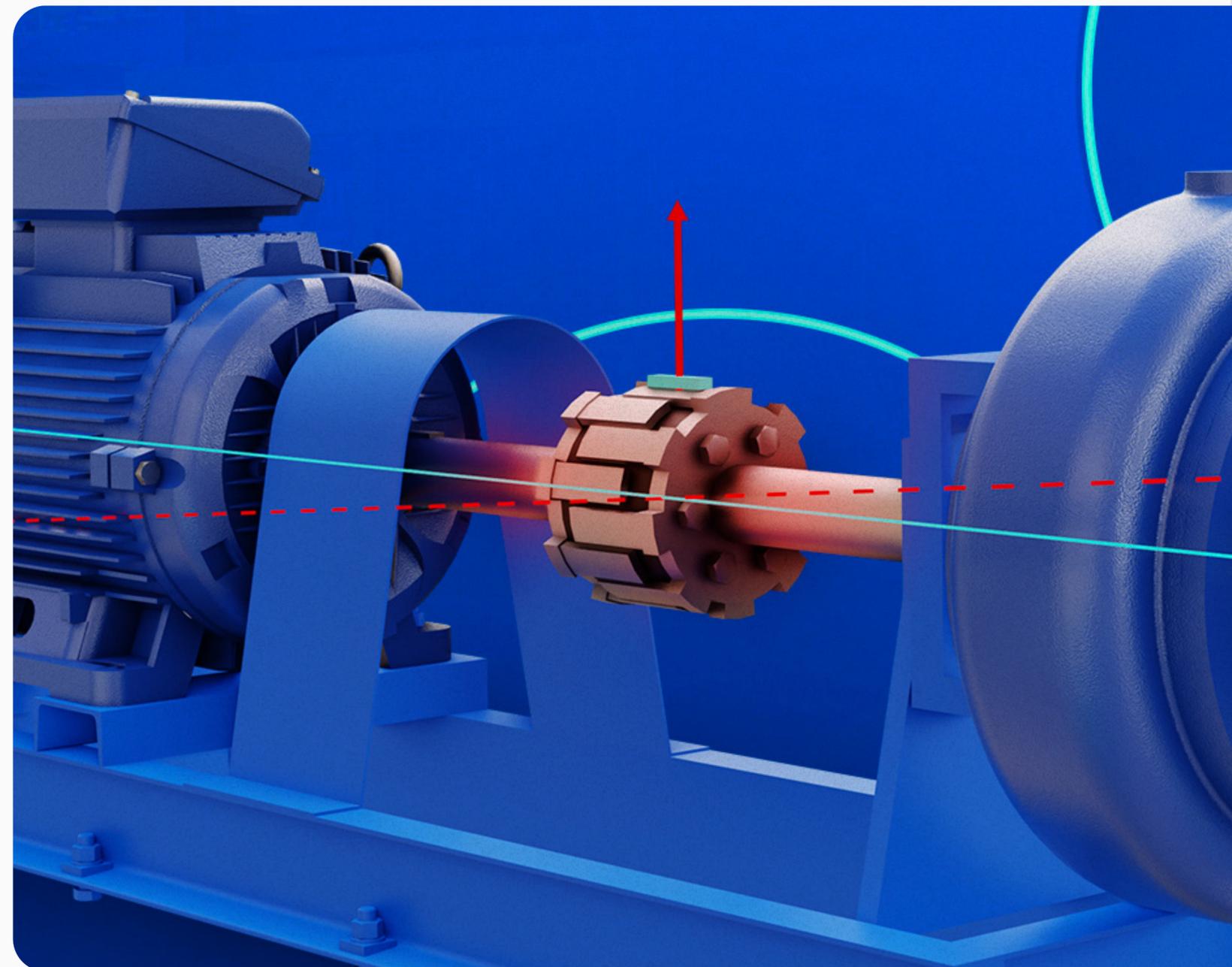
## DESBALANCEAMENTO DE EIXO

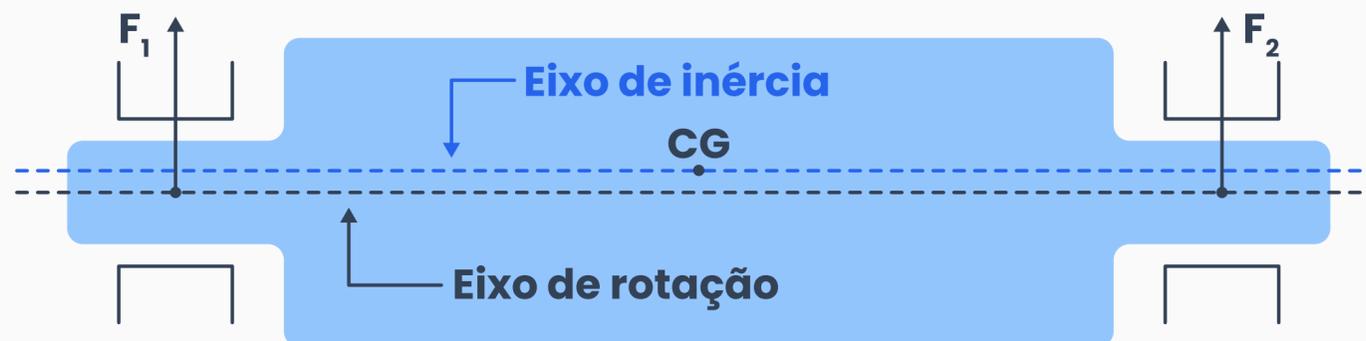
Ocorre quando uma parte giratória do centro de uma massa não gira sobre o eixo de rotação, causando desequilíbrio. A distribuição irregular de massa gera forças centrífugas que são transmitidas aos mancais e podem danificar componentes, resultando na diminuição da vida útil do ativo.

O **desbalanceamento** pode ser causado pelo acúmulo de sujeira, falta de pesos de balanceamento, massa irregular nos enrolamentos do motor ou mesmo variações de fabricação.

O principal prejuízo é o desgaste prematuro em componentes de transmissão mecânica, que conseqüentemente resulta em falhas prematuras do ativo.

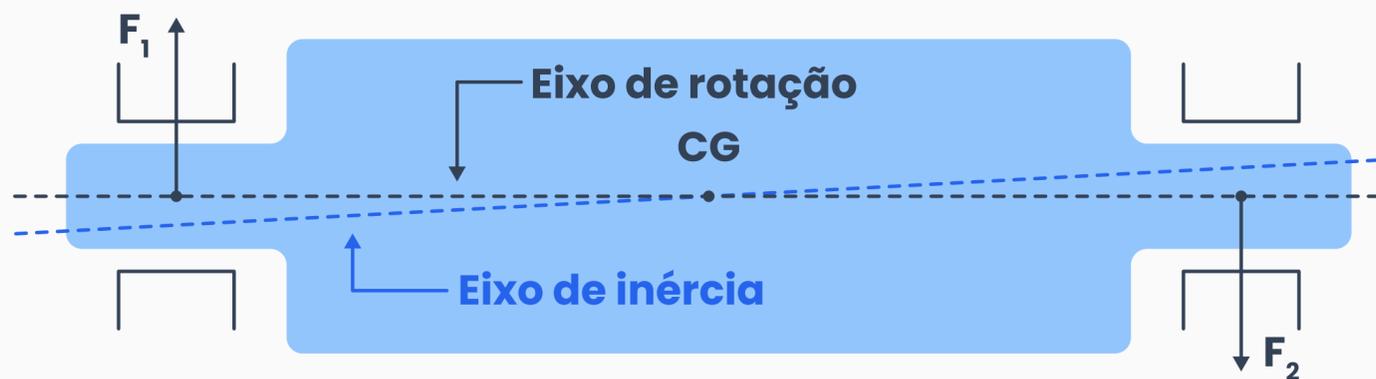
Também podemos classificá-lo em três tipos: estático, conjugado ou dinâmico.





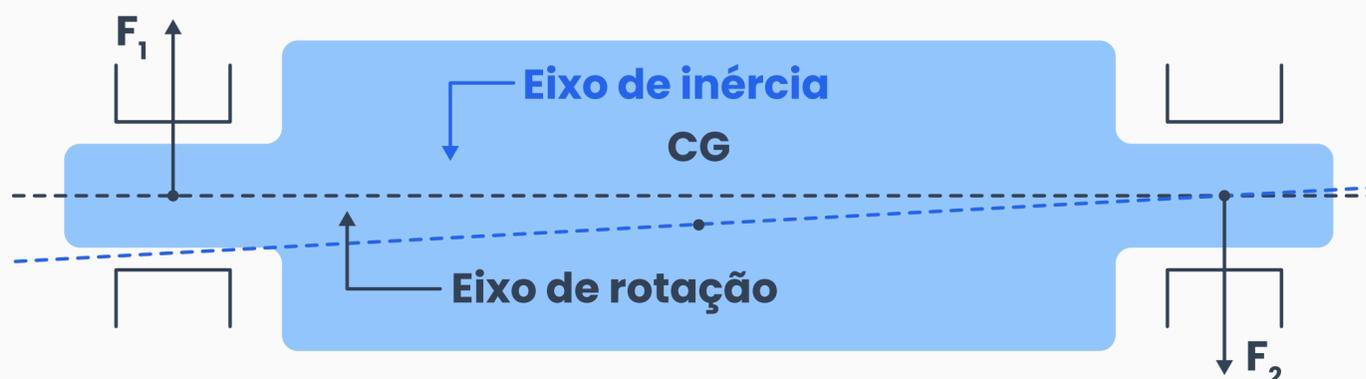
**Desbalanceamento Estático**

O eixo principal e o eixo ao redor do qual a máquina rotaciona se apresentam de forma paralela, mas não coincidem.



**Desbalanceamento Conjugado**

Os eixos não estão paralelos, mas há uma intersecção entre eles no centro de gravidade do rotor.



**Desbalanceamento Dinâmico**

É uma combinação entre estático e conjugado, onde eixo principal e eixo de rotação não são paralelos e tampouco se intersectam.

## FOLGAS MECÂNICAS

**Folga** ocorre quando há um desgaste excessivo entre as partes de um ativo. Ela pode acontecer no giro, pelo afastamento excessivo entre elementos fixos e de rotação; ou sem giro, em partes que normalmente são estacionárias, como um pé e uma base, por exemplo.

Há ainda uma terceira definição de folga, segundo o Vibration Diagnostic Manual for Technical Associates of Charlotte (Manual de diagnóstico de vibração da Technical Associates of Charlotte), a ser levada em consideração. Vamos analisá-las como tipos A, B e C.



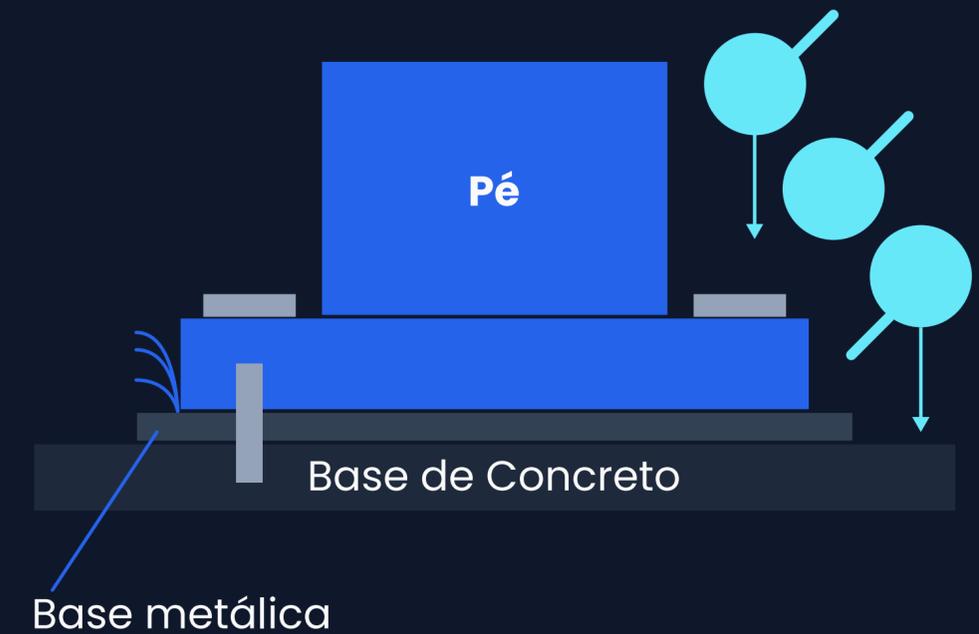
### Fatores que intensificam as folgas mecânicas

- Erosão ou afundamento no solo sob o equipamento;
- Parafusos da base frouxos;
- Avarias na estrutura da base da máquina.

## FOLGA MECÂNICA TIPO A

A folga tipo A, ou estrutural, é causada por fragilidade nos pés, base ou fundação do ativo, e ocorre geralmente por distorções da armação ou base, deterioração do rejuntamento ou do apoio ao solo e pela folga de parafusos que sustentam a base. Ela se manifesta no espectro através de uma onda de um pulso por rotação.

### Radial



## FOLGA MECÂNICA TIPO B

A folga tipo B tem como principal característica a presença de parafusos soltos no apoio da base, rachaduras no pedestal do mancal e/ou na estrutura do skid. No espectro, ela aparece como uma onda temporal de dois pulsos por rotação.

### Radial



## FOLGA MECÂNICA TIPO C

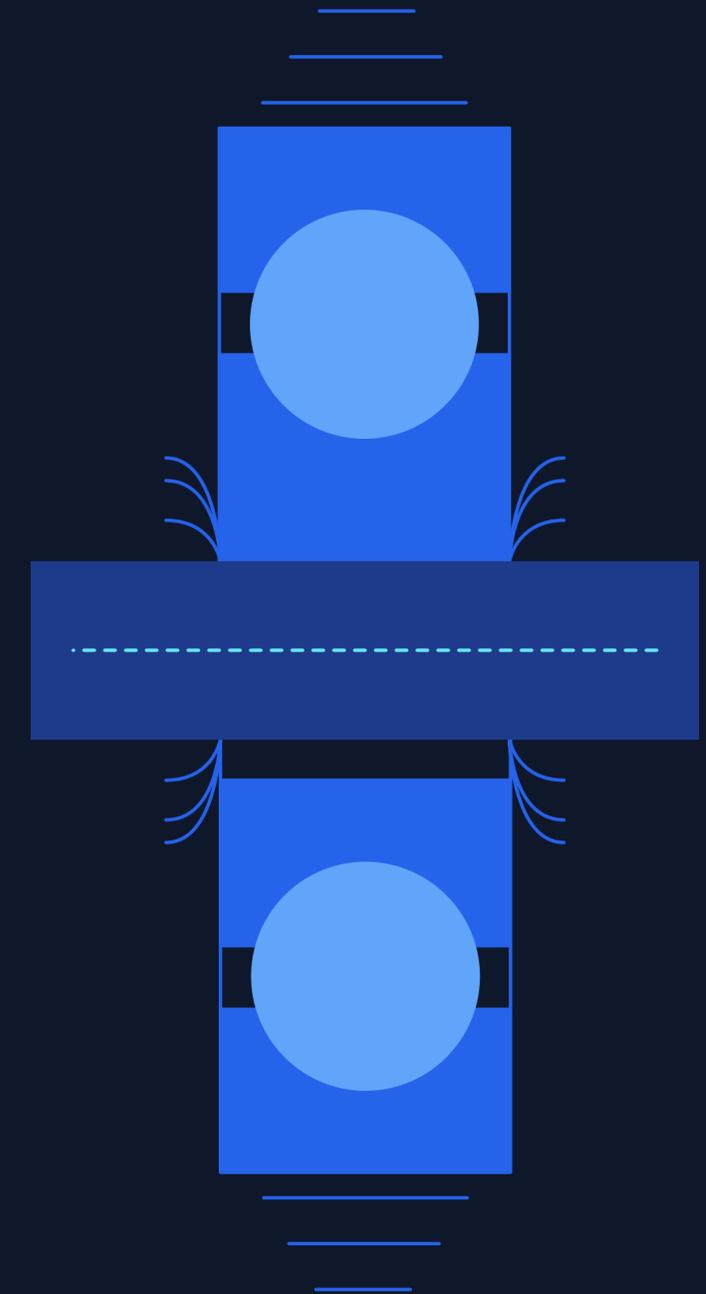
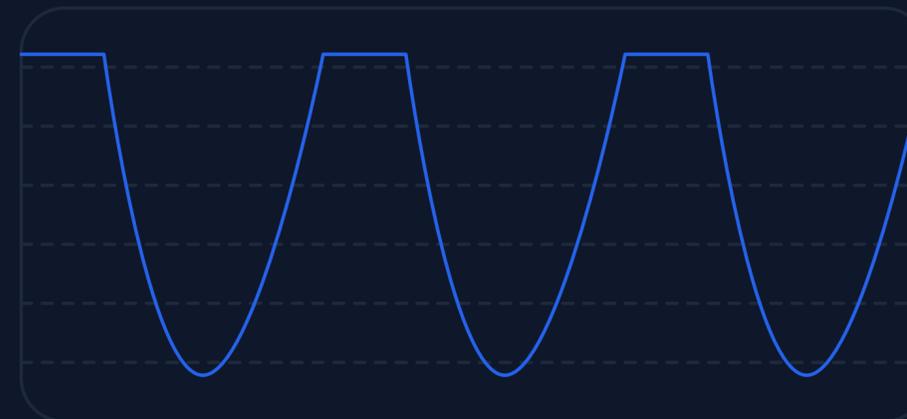
Já a folga tipo C ocorre por um ajuste incorreto entre as partes que compõem as forças dinâmicas do rotor, como folga excessiva entre rolamento e luva, um rotor solto em um determinado eixo ou um casquilho solto na tampa, por exemplo.

A aparição no espectro apresenta um piso de ruído elevado, detectando a folga, e vários harmônicos, que representam as respostas não lineares das peças soltas.

### Radial



### Forma de onda truncada



## DISTORÇÃO DE HARMÔNICAS

As harmônicas são os componentes de alta frequência de um sinal elétrico. Basicamente, são qualquer fonte adicional indesejada de alta frequência que fornecem energia aos enrolamentos no motor. Embora tal energia adicional não seja utilizada para rodar o eixo do motor, ela circula nos rolamentos, o que acaba contribuindo com perdas de energia interna (que acontecem em forma de geração de calor).

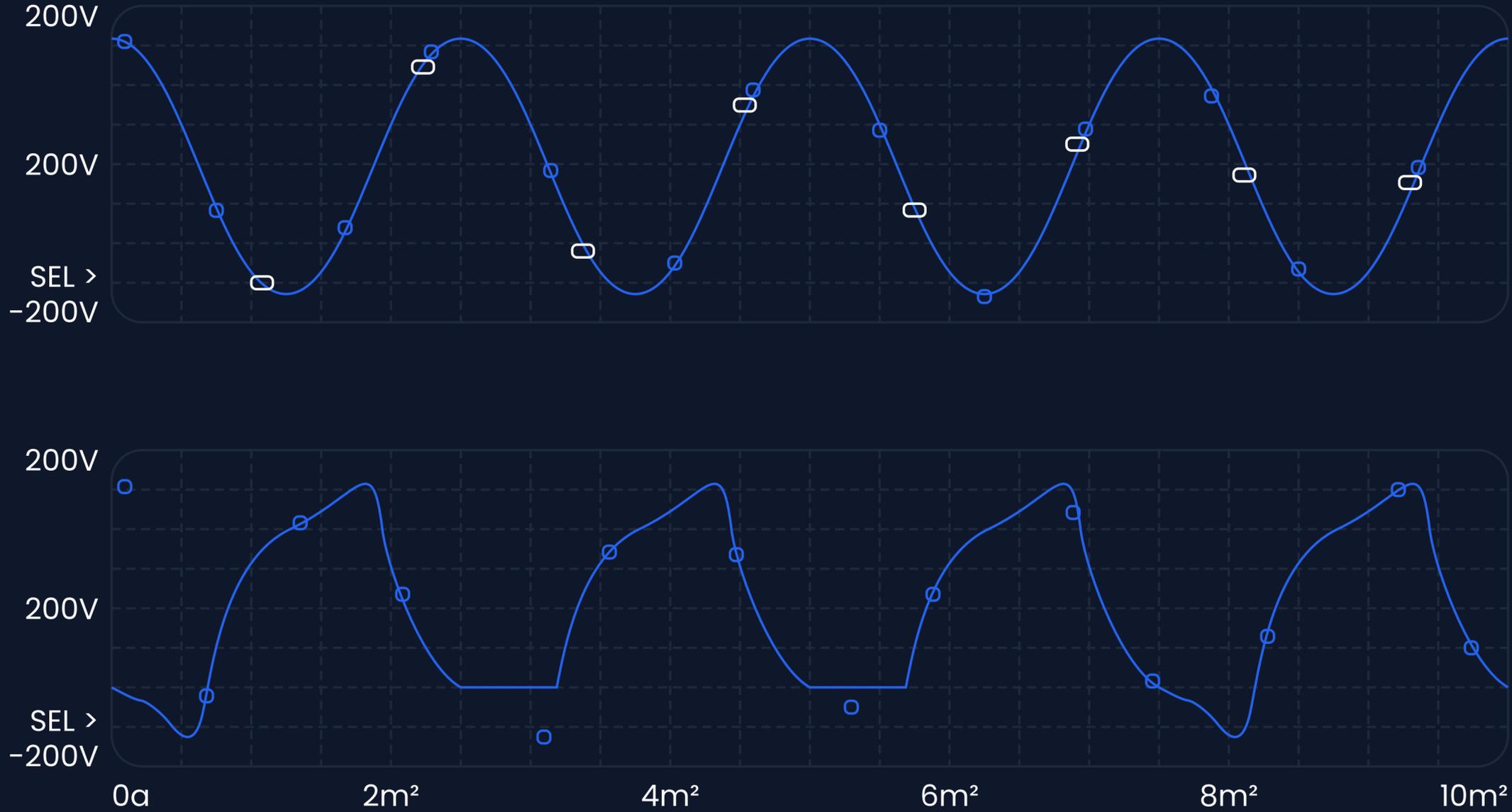
As perdas, ao longo do tempo, podem causar a deterioração da capacidade de isolamento dos enrolamentos. Em consequência disso, podemos observar problemas como aumento da temperatura de operação do ativo, perda gradual de eficiência do motor e custos adicionais de manutenção.

Qualquer sistema que serve cargas eletrônicas está sujeito a distorção de harmônicas. No entanto, é preciso investigar a origem dessas distorções para analisar se essas ocorrências estão fugindo à normalidade e podem vir a prejudicar o seu ativo.



Veja mais no gráfico a seguir.

Motores Eléctricos



## CORRENTE SIGMA

São as correntes parasitas que circulam por um circuito elétrico, geradas por frequência no sinal, nível de tensão, capacitâncias e indutâncias associadas aos condutores elétricos. Ao circularem por sistemas de proteção para terra, as correntes sigma podem causar disparos intempestivos e até mesmo o excesso de calor nos enrolamentos do motor.

As sigma são encontradas nos cabos do motor, e representam a soma da corrente das três fases em qualquer ponto no tempo. Um cenário ideal estabelece que a soma das correntes seja sempre igual a zero, ou seja, a corrente de retorno a partir da unidade deveria se igualar à corrente para a unidade.



Para prevenir o problema, é recomendável utilizar condutores bem dimensionados e de qualidade. Também evite soldas ou conexões inadequadas no condutor.

# COMO EVITAR ESSAS CONDIÇÕES?

Os métodos preventivos somados à manutenção preditiva surgem como melhor alternativa para quem quer estar um passo à frente das falhas, já que a ideia é sustentar um ritmo e manter as atividades em funcionamento todos os dias.

Técnicas como: Análise de Circuitos de Motores, Termografia, **monitoramento** de vibração e monitoramento de energia, são opções efetivas para **antecipar as falhas**, melhorar rotinas de manutenção e evitarem que os motores parem de funcionar.

## TERMOGRAFIA

Um dos maiores indícios de falhas elétricas ou de sobrecarga nas fábricas e indústrias tem a ver com o aumento exagerado de temperatura.

A termografia aponta os padrões de calor e radiação em máquinas, indicando falhas ou degradações, já que quanto maior a temperatura, maior a radiação infravermelha emitida, por ele.

Ela estende a visão humana através do espectro infravermelho - uma frequência eletromagnética emitida por qualquer corpo, com intensidade proporcional a sua temperatura.

A escala policromática (escala de temperatura) vai do preto (temperatura baixa) ao branco (temperatura mais elevada) permeando suaves variações de tonalidades de cores, que

dependem da escala usada. Na termografia é mais comum o uso da escala denominada IRON, que vai do preto ao branco através de tonalidades de violeta, azul, rosa, vermelho, laranja e amarelo. Contudo, existem outras escalas, que são utilizadas conforme a necessidade (SILVEIRA, 2010).

No motor elétrico, esse método é importante pois permite a identificação de falhas térmicas e desgastes em diversos pontos do ativo, sem a necessidade de desmontar o motor.



**Mas lembre-se :** cada motor é projetado para operar a uma temperatura interna específica.



Escala IRON

## Cores do Espectro Visível

Cor	Comprimento de Onda	Frequência
Vermelha	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
Laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
Amarela	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
Verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
Ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
Azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
Violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

## ANÁLISE CIRCUITO DE MOTORES

É uma técnica utilizada desde 1985 que emprega uma série de testes de baixa tensão, para a detecção e monitoramento de falhas em motores e/ou estatores bobinados desenergizados.

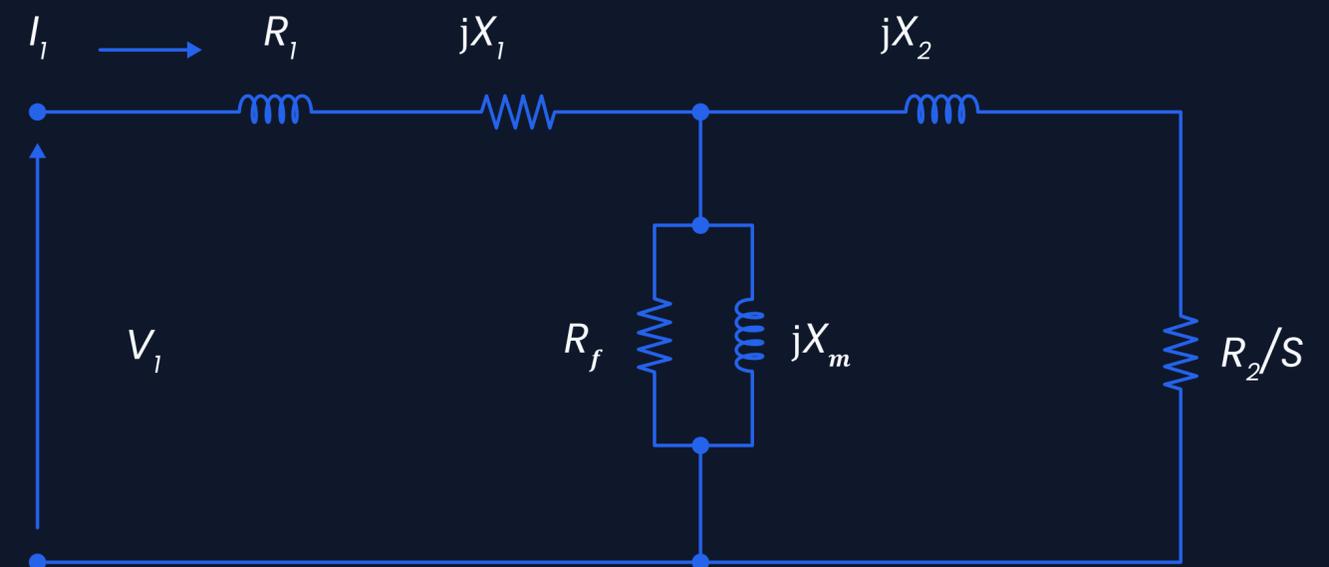
Também conhecida como teste MCA (Motor Circuit Analysis), permite identificar o desenvolvimento de falhas no início da vida útil do ativo, como: desequilíbrios de tensão e/ou degradação.

Martinez (2008) aponta que o ensaio considera que a maioria dos motores possui uma distribuição homogênea de  $120^\circ$  elétricos entre as fases e que as fases da fonte de tensão igualmente possuem uma defasagem de  $120^\circ$  elétricos.

Ainda segundo o mesmo autor, em cada fase quando a tensão aumenta, a corrente aumenta proporcional e igualmente em cada fase, e é limitada devido à impedância do circuito do motor.

### Os testes que compõem a técnica:

- Medição de resistência;
- Medição da impedância;
- Medição da indutância;
- Medição do ângulo de fase;
- Medição da resposta de corrente/frequência;
- Medição da resistência de isolamento.



## MONITORANDO VIBRAÇÃO

Acompanhando essa grandeza dos motores elétricos, é possível identificar e antecipar falhas, como: desalinhamento, desbalanceamento, folgas mecânicas, desgaste de rolamento, falta de lubrificação, sobrecarga e outros.

O **Smart Trac**, sensor de IoT de vibração, monitora não só esse tipo de ativo, e sim mais de 100 categorias de ativos com padrão de vibração definido.

Utilizando o aprendizado da máquina (machine learning) e estatística fazem uma avaliação completa da saúde e comportamento do ativo, ao coletar vibração, temperatura e horímetro sem precisar de coletas in loco.



## MONITORANDO ENERGIA ELÉTRICA

Com o monitoramento das fontes de alimentação é possível identificar as falhas na rede elétrica que danificam o motor elétrico no longo prazo como sobretensão, subtensão, baixo fator de potência e desbalanceamento de fases.

Então é possível atuar em possíveis problemas na rede elétrica, fazer melhores distribuições de cargas, redimensionar projetos e instalar bancos de capacitores para melhorar a qualidade da energia entregue aos ativos.

Não basta apenas inspecionar de forma pontual essas condições, o ideal é monitorar essas condições continuamente para garantir as condições nominais para prolongar a vida útil dos componentes e aumentar a eficiência dos sistemas.





## Motores Elétricos

O sensor Energy Trac coleta dados de ativos industriais automaticamente e em tempo real, alertando as equipes ao menor sinal de falha.

Ele mede dados de tensão e corrente trifásica e, a partir desses dados, é possível ter total controle sobre o consumo energético de uma operação.

Algumas falhas detectadas são: curto-circuito no embobinamento, sobrecarga, sobrecorrente, picos anômalos de corrente e tensão, falha e desbalancamento entre fases e outras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[01] KOSTENKO, M.; PIOTROVSKY, L. Electrical Machines. Moscow. Mir Publishers, 1977. 700p.

[02] KOSOW, I. L. Máquinas Elétricas e Transformadores. Porto Alegre. Editora Globo, 1979. 632p.

[03] REZENDE, P. H. Efeitos do desequilíbrio de tensões de suprimento nos motores trifásicos, obtidos de forma indireta. 2022 Trabalho de Iniciação Científica. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2016.

[04] FREITAS, P. C. F. Comparação dos rendimentos dos motores da linha padrão e de alto rendimento, obtidos de forma indireta. 2007 Trabalho de Iniciação Científica. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2005.

[05] ELETROBRÁS / PROCEL. Programa de eficiência industrial: módulo motor elétrico. Rio de Janeiro. 130 p. MEHL, Edvaldo L. M. Qualidade da energia elétrica. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>. Acesso em: 18 out.2007, 13:38.

[06] SOUTO, Olívio Carlos Nascimento. Modelagem e análise do desempenho térmico de motores de indução sob condições não ideais de alimentação. Uberlândia, dez. 2001. 399 p.30 Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia.

[07] ELETROBRÁS. Disseminação de informações em eficiência energética –Eficiência energética aplicada para comércio e indústria. Programa de combate ao desperdício de energia elétrica – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 2004. 309p

[08] GONÇALEZ, Fábio Gonçalves. Estudo do motor de indução trifásico e desenvolvimento de um dispositivo de proteção efetiva de motores operando em condições anormais.

[09] WOLL, R. F.; "Effect of Unbalanced Voltage on the Operation of Polyphase InductionMotors"; IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. IA-11, No. 1, January/1975.

[10] UNESP, Universidade Estadual Paulista. Motores Elétricos.

[11] Barbi, I.; "Teoria Fundamental do Motor de Indução". Disponível em: <http://ivobarbi.com/novo/wpcontent/uploads/2015/07/TeoriaFundamentaldoMotordelInducao.pdf>

[12] NASCIMENTO JUNIOR, Geraldo Carva. Máquinas elétricas: teorias e ensaios. 1. ed. São Paulo: Érica, 2006.

[13] SILVEIRA, Deivison. Manutenção preditiva em painéis elétricos com a utilização da termografia. 2010. Disponível em: . Acesso em: 28 dez. 2016.

