

A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TENSÃO NO ACIONAMENTO DE CARGAS POR MOTORES DE INDUÇÃO

Hian Gabriel Sossolote¹; Luan Granja da Silva¹; Victor Molieri de Oliveira^{2,4}; Thiago Raniel^{3,4*}

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ² Graduação em Engenharia Elétrica – UNESP; ³ Mestre em Engenharia – UNESP; ⁴ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

*Autor correspondente: thiago.raniel@gmail.com

RESUMO

O objetivo desse trabalho é solucionar o problema de uma determinada indústria, que durante seu processo de operação, um motor elétrico 6,6KV e 4000 HP de um soprador de ar estava causando queda de tensão no sistema em que pertencia ocasionando a interrupção do motor e do sistema elétrico a qual pertence. Analisar as causas que ocasionaram a queda de tensão e buscar o melhor tipo de partida para corrigir o problema de interrupção causado pela queda de tensão e aquecimento durante a partida deste motor, para isso foram realizados estudos e testes afim de obter o melhor resultado e o dimensionamento mais adequado para a partida deste motor, visando a confiabilidade do sistema industrial em que o motor se encontra, através desses estudos foi analisado que a solução de um método de partida seria a parte mais barata ao invés de dimensionar uma nova rede de alimentação que permita que os valores de queda de tensão não sejam prejudiciais ao sistema.

PALAVRA-CHAVE: queda de tensão, motores, partidas de motores.

1 INTRODUÇÃO

A queda de tensão é um grande problema enfrentado pelos profissionais da área elétrica, ela é presente desde a GTD, nas pequenas casas, nas indústrias, quando se fala em queda de tensão residencial, podemos usar como exemplo uma residência em que ao ligar o chuveiro faz com que a luz fique mais fraca ou pisque, isto é muito comum em sistemas dimensionados de uma maneira errada e mal distribuídos, geralmente nestes casos o problema se encontra no dimensionamento errado nos condutores elétricos desse sistema.

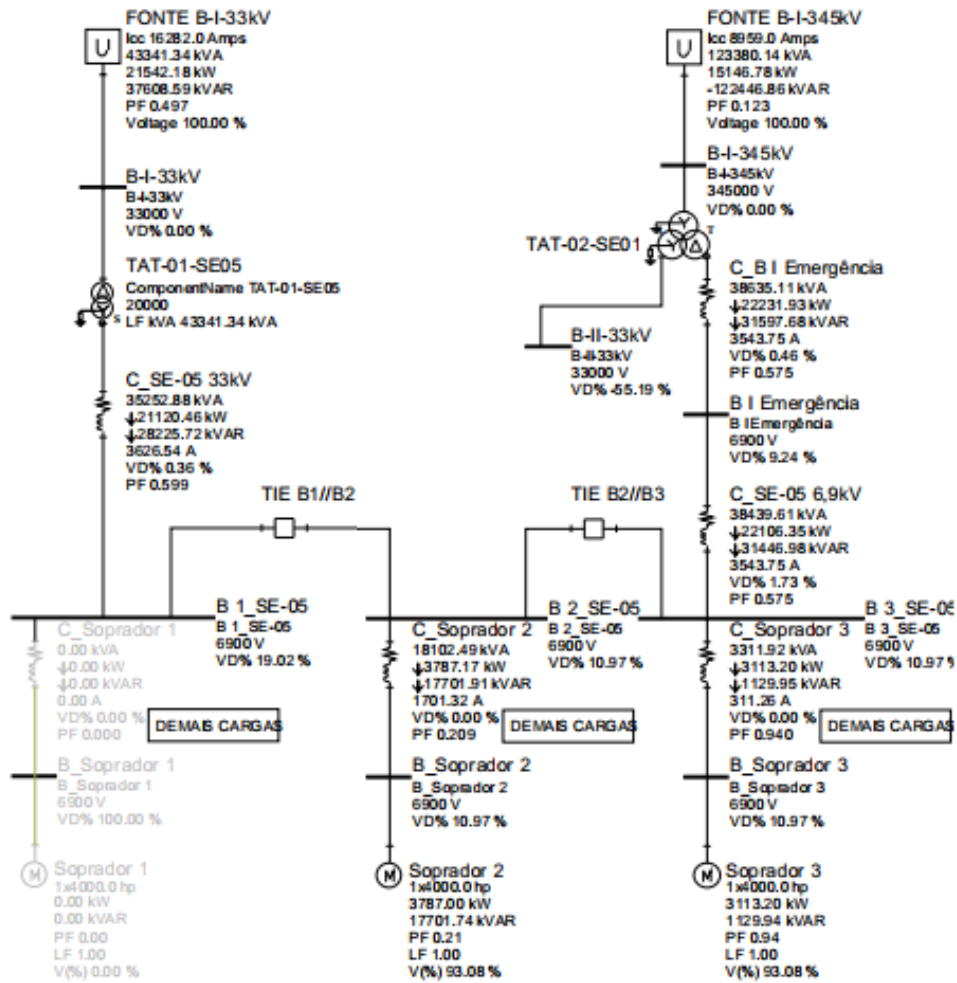
1.1 Norma brasileira regulamentadora 5410 (NBR5410)

Segundo a NBR 5410 no ponto “6.2.7.1 Quedas de tensão” irão ser abordados os tópicos relacionados sobre a queda de tensão no sistema elétrico, em qualquer ponto de energia na instalação, a queda de tensão verificada não deve ultrapassar aos seguintes valores, em relação ao valor da tensão nominal, (i) 7%, calculados a partir dos terminais do secundário do transformador de média e baixa tensão, no caso de transformador de propriedade das próprias unidades consumidoras; (ii) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do

transformador média e baixa tensão da companhia distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado; (iii) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, e nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição; (iv)

7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio (v) estes limites de queda de tensão são válidos quando a tensão nominal dos equipamentos a serem utilizados forem compatíveis com a tensão fornecida (NBR5410).

Figura 1. Diagrama unifilar industrial.



Fonte: Extraído de Alvarenga e Almeida, 2018.

Quadro 1. Fontes do Sistema.

Fontes do Sistema		
Grandezas	Fonte Normal	Fonte de Emergência
Tensão	33KV	345 KV
Frequência	60 Hz	60 Hz
Contribuição	16,282 KA	8,959 KA

Fonte: Extraído de Alvarenga e Almeida, 2018.

1.2 Queda de tensão em motores elétricos

Nas indústrias não são diferentes, existem diversas cargas que ao serem ligadas geram uma queda de tensão no

sistema, um motor trifásico durante sua partida solicitam da rede uma corrente de 4-10 x a sua corrente nominal, este valor é necessário para que o motor supere sua própria inercia, e o conjugado

da carga quando acoplado, assim por um determinado período (3-10 segundos) a corrente que circula nos condutores deste motor estará bem acima da projetada nominal, como consequência estará submetido a uma queda de tensão está queda de tensão não deve ser superior a 10% (NBR5410/040).

Os motores elétricos quando ligados exercem um esforço para que seu eixo comece a rodar, este esforço é denominado conjugado do motor. Já cargas acopladas neste motor reagem como uma resistência, esta resistência oferecida pela carga se denomina conjugado da carga ou conjugado resistente, para que qualquer motor consiga suprir o conjugado resistente, é necessário que o conjugado do motor seja superior ao conjugado da carga, pois somente assim esse motor será capaz de tirar esta carga da inércia (NBR5410).

1.3 Planta industrial

O caso em específico que vamos analisar trata-se de uma queda de tensão durante acionamento de um motor trifásico de 6,6KV e 4000 HP. Uma indústria específica gerou um problema em seu processo durante a partida de um motor elétrico do soprador de ar. É composta por três sopradores de ar idênticos, sendo que dois ficam direto em

operação e um fica de reserva, durante a partida do segundo soprador o sistema elétrico sofreu uma brusca queda de tensão impactando na parada do soprador e dos outros equipamentos da indústria que é alimentado por esse mesmo sistema elétrico (ALVARENGA; ALMEIDA, 2018).

O sistema elétrico analisado trata-se de uma indústria que tem as seguintes características; (i) alimentação principal fonte de 33 KV; (ii) alimentação de emergência fonte de 345 KV; (iii) trafo principal 20 MVA 33/6,9 KV; (iv) trafo de emergência 20 MVA 345/6,9 KV; (v) três motores elétricos dos sopradores 6,6 KV 4000 HP. Conforme a Figura 1, pode-se ver o diagrama unifilar industrial, e o Quadro 1 os dados das grandezas elétricas da indústria (ALVARENGA; ALMEIDA, 2018).

1.4 Análise do sistema elétrico

Durante a partida do segundo motor do soprador, o mesmo gerou uma queda de tensão muito alta no sistema, causando interrupção no motor e nos outros equipamentos do sistema industrial. Sendo assim foram feitas análises alterando as fontes de alimentação e verificado os seguintes dados no Quadro 2 (Senai MS, 2022).

Quadro 2. Análises das simulações.

Resultados simulados x Resultados medidos		
Alternativas	Queda de tensão	Tempo de aceleração
Simulação – Cenário 1	19,02%	6,08 s
Simulação – Cenário 2	10,99%	4,50 s
Medição	12,43%	4,56 s

Fonte: Extraído de Alvarenga e Almeida, 2018.

De acordo com esses resultados obtidos por simulações e medições pode-se notar a necessidade de escolher um método para a partida e controle desses motores elétricos, que visa redução da queda de tensão durante a partida do soprador (Senai MS, 2022).

O grande problema da queda de tensão é que os equipamentos são

projetados para trabalhar numa determinada faixa de tensão, caso o valor seja maior ou menor irá ser prejudicial aos equipamentos que são alimentados por esse sistema. Existem alguns tipos de partida de motores, que todos visam solucionar a redução na corrente de partida e conseqüentemente a queda de tensão (SENAI MS, 2022).

1.5 Tipos de partida de motores elétricos

Durante a partida de motores de indução trifásicos, a corrente de pico aumenta cerca de 4-10 vezes a corrente nominal. Devido a essas correntes altas de pico criaram-se alguns métodos de partida para reduzir essas correntes, tais como (i) partida direta; (ii) partida estrela-triângulo; (iii) partida chave compensadora; (iv) soft starter; (v) inversor de frequência (SENAI MS, 2022).

1.5.1 Partida direta

A partida direta é a mais simples das partidas para acionar os motores elétricos pois o motor recebe tensão nominal trifásica da rede em seus terminais, apenas com um dispositivo de seccionamento para ligar e desligar o motor. Embora essa partida seja simples ela possui algumas características relevantes, pois ela interfere no funcionamento do motor e na rede a qual ele é alimentado, o uso é interessante quando se tem a necessidade de obter o maior desempenho do motor durante a partida e o torque nominal de partida (SENAI MS, 2022).

Essa partida só é recomendada em motores trifásicos com potência nominal abaixo de 7,5 CV, a rede elétrica que alimenta o motor tem que suportar e ter capacidade de conduzir a corrente de pico por um curto tempo e a corrente nominal de operação do motor, conforme a Figura 2 veremos o diagrama de força e comando da partida direta (SENAI MS, 2022).

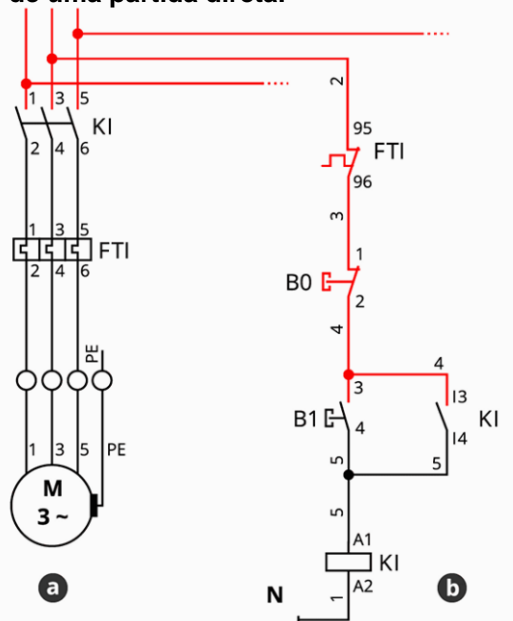
1.5.2 Partida estrela-triângulo

A partida estrela triângulo é uma maneira de partir o motor elétrico com a redução da corrente de pico através da alteração dos fechamentos de bobinas dos motores, é necessário que o motor elétrico possua dupla tensão de alimentação por exemplo 220/380V, e tenha os seis terminais para efetuar a partida. Tem um baixo custo para ser instalada, e reduz a corrente de pico em cerca de 33% e tem uma redução de 1/3 do torque nominal. A Figura 3 mostra o diagrama de força e comando de uma partida estrela triângulo (SENAI MS, 2022).

1.5.3 Partida com chave compensadora

Na partida com chave compensadora utiliza-se um autotransformador para fornecer tensão reduzida nas bobinas do motor durante a partida, após atingir a velocidade nominal o mesmo recebe tensão nominal da rede nos terminais. Quando alimentado no TAP de 65%, a corrente de pico é reduzida em 42% do seu valor de partida; quando é alimentado pelo TAP de 80%, a corrente de pico reduz para 64% do valor de partida, Com essas condições, o motor parte com a tensão reduzida que sai do autotransformador para reduzir a corrente de pico durante a partida. A partida com chave compensadora é utilizada em motores acima de 50 CV. A Figura 4 mostra um autotransformador (partida por chave compensadora) e a Figura 5 mostra o diagrama de força e comando de uma partida via chave compensadora (WEG NET, 2022).

Figura 2. Diagrama de força e comando de uma partida direta.



Fonte: Extraído de WEG NET, 2022.

1.5.4 Soft starter

Soft starter é um dispositivo eletroeletrônico que tem a finalidade de proteger e controlar o motor elétrico durante sua partida e parada. A soft starter tem a capacidade de suavizar a partida e parada do motor, também pode limitar a corrente durante a partida para reduzir a corrente de pico, também a possibilidade de controle de redução de tensão durante a partida também afim de reduzir a corrente de pico. Tem parâmetros que são alterados para controlar e proteger o motor durante a partida, parada e durante seu funcionamento, conforme a figura 6 é mostrado uma Soft starter SSW900 WEG (WEG NET, 2022).

Figura 6. *Soft Starter*.



Fonte: Extraído de WEG NET, 2022.

1.5.5 Inversor de frequência

O inversor de frequência é um equipamento eletroeletrônico de alta tecnologia para o acionamento e controle de motores trifásicos de indução, possui precisão no controle do conjugado, velocidade e a posição. É utilizado em diversas aplicações. Possui diversos parâmetros para controlar e proteger os motores elétricos durante seu regime de trabalho, parâmetros como rampas de aceleração e desaceleração, controles vetoriais, lineares, PWM, autoajuste, múltiplas

velocidades, conforme Figura 7 é mostrado um inversor de frequência CFW 700 WEG (WEG NET, 2022).

Figura 7. Inversor de frequência.



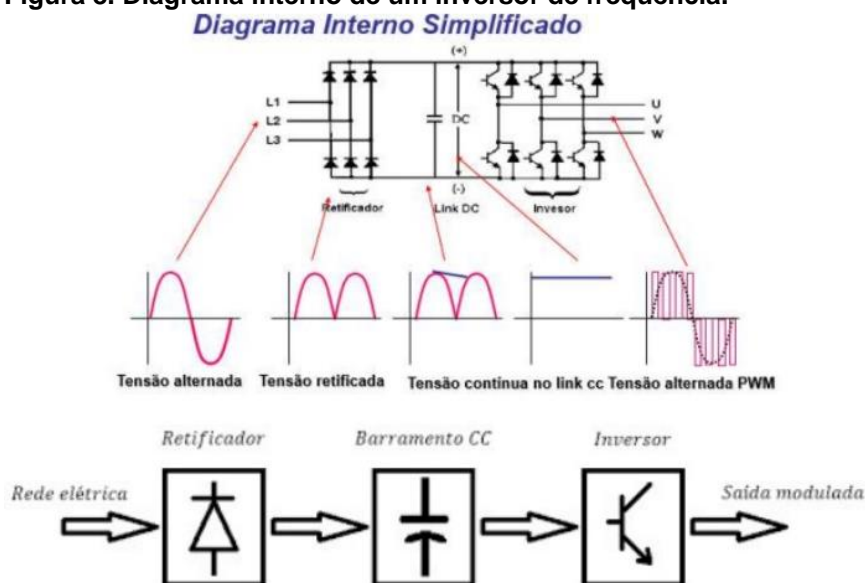
Fonte: Extraído de WEG NET, 2022.

Diagrama interno de funcionamento de um inversor de frequência detalhadamente em todas as etapas, desde a alimentação, tensão retificada, tensão no link cc, e tensão de saída PWM, a Figura 8 ilustra o diagrama interno do inversor de frequência, desde a entrada de tensão até sua retificação e após a saída de tensão PWM (WEG NET, 2022).

2 OBJETIVOS

Este trabalho visa solucionar um problema de uma indústria durante a operação de motor trifásico em seu sistema elétrico, analisar as causas que ocasionam a queda de tensão e buscar melhor aplicação de partida para corrigir o problema da queda de tensão e aquecimento durante a partida deste motor. Para isso, realizaram-se estudos e testes para obter o melhor resultado e melhor dimensionamento de uma partida para este sistema industrial em específico, cuja solução foi a utilização de um inversor de frequência WEG MVW3000.

Figura 8. Diagrama interno de um inversor de frequência.



Fonte: Extraído de WEG NET, 2022.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Escolheu-se o método por inversor de frequência da marca WEG MVW300, pela confiabilidade e por atender as demandas da empresa. Este método de partida é utilizado na maioria dos processos industriais por ser efetivo e contribuir para melhor funcionamento do sistema.

Antes de dimensionar o inversor de

frequência para atender a demanda da carga, cabe uma avaliação precisa do consumo da carga para que esse inversor atenda todas as grandezas elétricas do motor. Esses dados são coletados a partir dos dados de placa do motor instalado. Após avaliação desses dados, dimensionou-se o inversor para estar acionando o mesmo. O Quadro 3 ilustra os dados de placa do motor do soprador.

Quadro 3. Dados de placa do motor do soprador.

Potência Nominal	4000	HP
Tensão Nominal	6600	V
Torque nominal 100%	8006	N.m
Toque Nominal 87%	6102	N.m
Torque de partida 118%	9447	N.m
Torque máximo 268%	21456	N.m
Momento de Inércia	154,74	Kg.m ²
Rotação Nominal	3600	rpm
Frequência	60	hz
Número de polos	2	
Fator de Potência	0,944	i
Rendimento	95,85	%
Fator de Serviço	1,15	
Corrente Nominal	288	A
Corrente de partida	6,31	
Corrente a vazio	-	A
Corrente rotor travado	6.31	
Tempo de rotor travado a quente	7,2	s
Tempo de rotor travado a frio	8,5	s

Fonte: Extraído de Alvarenga e Almeida, 2018.

Pode-se observar que o motor opera com corrente nominal de 288 A

(Amperes) quando se dimensiona motores elétricos de indução trifásica leva-se em consideração a sua corrente nominal e a partir deste ponto dimensionam-se os condutores e os sistemas auxiliares e de proteção. O inversor de frequência

MVW3000 versão A310 V069, tem uma corrente nominal de 310 A e potência 4185 HP (Horse Power) sendo assim suficiente para acionar o motor dessa indústria. O modelo do inversor escolhido foi retirado no Quadro 4.

Quadro 4. Modelo do inversor MVW3000.

Modelo	Tensão Nominal (v)	Corrente nominal (A)	Potência Nominal [HP]	Potência Nominal [kW]	Potência dissipada [kW]	Vazão	Mecânica
MVW3000 A0310 V069	6900	310	4185	3120	116,78	16800 CFM 38745m ³ / h	D6/E6

Fonte: Extraído de WEG NET, 2022.

Quadro 5. Modelo do transformador defasador para inversor MVW3000.

Tensão do motor	Células por fase	Total de células	Número de pulsos padrão	Número de pulsos redundante n+1
6300-6900 V	6	18	18, 54, 36	126, 42

Fonte: Extraído de WEG NET, 2022.

Figura 9. Lista de parâmetros inversor de frequência MVW3000.

Parâmetros do Motor P400 a P499					
Dados de Placa					
P400 ⁽¹⁾⁽⁴⁾	Tensão Nominal do Motor	0 a 9999	P296	V	11-81
P401 ⁽¹⁾	Corrente Nominal do Motor	0,0 a 1,30 x P295	1,0 x P295	A	11-81
P402 ⁽¹⁾	Velocidade do Motor	0 a 7200	1796	rpm	11-81
P403 ⁽¹⁾	Frequência do Motor	0 a 120	60	Hz	11-81
P405	Dados do Encoder	100 a 9999	1024	ppr	11-82
P406 ⁽¹⁾⁽²⁾	Ventilação do Motor	0 = Autoventilado 1 = Ventilação Independente	0	-	11-82
Parâmetros Medidos					
P408 ⁽¹⁾	Autoajuste	0 = Sem Autoganho 1 = Autoganho	0	-	11-82
P409 ⁽¹⁾	Resistência do Estator do Motor (Rs)	0,000 a 9,999	0,000	Ω	11-82
P410	Corrente de Magnetização do Motor (Imr)	0 a 1,25 x P295	0,0	A	11-82
P411 ⁽¹⁾	Indutância de Dispersão de Fluxo do Motor (σls)	0,00 a 99,99	0,00	mH	11-82
P412 ⁽¹⁾	Constante Lr/Rr	0,000 a 9,999	0,000	s	11-82
P413 ⁽¹⁾	Constante TM	0,00 a 99,99	0,00	s	11-82
P414	Tensão Magnetizante	0,0 a 20,0	0,0	%	11-83
P427	Indutância LDσ	0,00 a 99,99	4,85	mH	11-83
P428	Indutância LQσ	0,00 a 99,99	4,41	mH	11-83
P429	Resistência RD	0,000 a 9,999	1,139	Ω	11-84
P430	Resistência RQ	0,000 a 9,999	0,831	Ω	11-84
P431	Número de Pólos do Motor	2 a 64	4	-	11-84
P433	Indutância LQ	000,0 a 999,9	45,7	mH	11-84
P434	Indutância LD	000,0 a 999,9	86,9	mH	11-84
P436	Indutância LF	000,0 a 999,9	88	mH	11-84

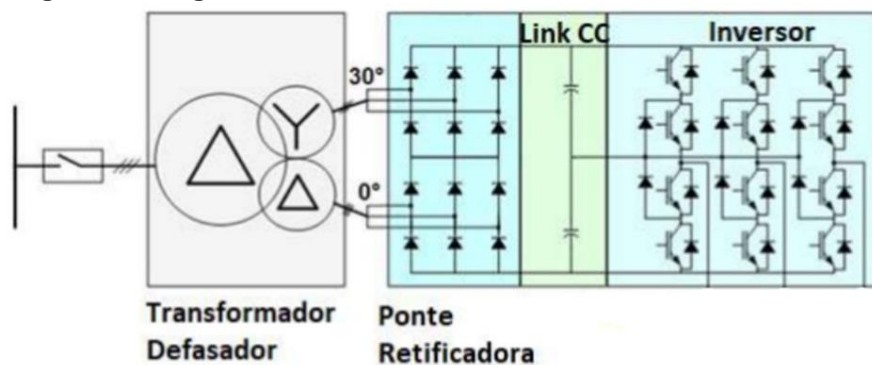
Fonte: Extraído de WEG NET, 2022.

Para ser implementado o sistema de partida por MVW 3000 foi necessário dimensionar o cubículo alimentador e o transformador defasador, transformador esse de suma importância para funcionamento do sistema. Conforme manuais WEG, o transformador defasador

escolhido seguiu os critérios impostos nos manuais de instalação do MVW3000. É um transformador com uma tensão nominal de 6300-6900 V com 6 células por fase com total de 18 células. O transformador defasador foi escolhido conforme os critérios

mostrados no Quadro 5.

Figura 10. Diagrama unifilar cubículo alimentador.



Fonte: Extraído de WEG NET, 2022.

Figura 11. Cubículo alimentador do MVW3000.



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Figura 12. Transformador defasador para uso no MVW3000.



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Figura 13. Inversor de frequência MVW3000 WEG.



Fonte: Extraído de WEG NET (2022).

A norma NBR5410 diz que todo sistema elétrico de potência requer um dimensionamento adequado a fim de garantir a integridade física das pessoas, também do equipamento, assim como todos os inversores de frequência mais modernos existem vários parâmetros cuja finalidade é a proteção do motor e do sistema elétrico. No MVW3000 não é diferente, foi necessário a parametrização do Inversor com os dados de placa do motor, e ajustados todas as proteções para que o sistema funcione de forma confiável e segura. Abaixo segue alguns parâmetros que foram ajustados. A Figura 9 mostra alguns dos parâmetros do inversor de frequência escolhido e a Figura 10, o esquema elétrico unifilar do sistema a ser implementado.

As Figuras 11, 12 e 13 mostram como são realmente os equipamentos, o

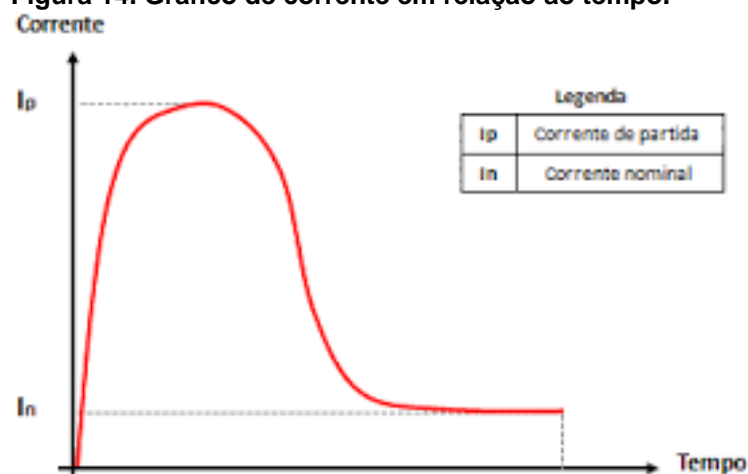
cabículo alimentador, o transformador defasador e o inversor de frequência WEG MVW3000.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O problema da queda de tensão ocorria devido ao aumento expressivo da corrente durante a partida dos motores.

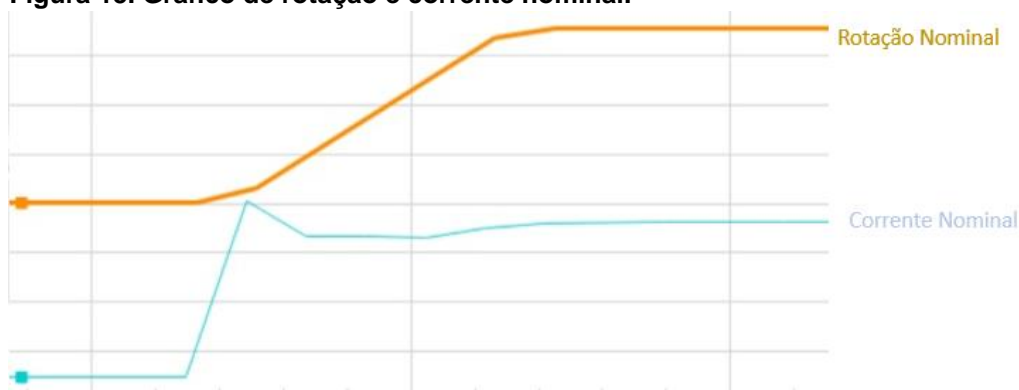
Essa corrente subia cerca de 6,31 vezes a corrente nominal do motor 1817 A. Isso ocasionava o afundamento da tensão o conseqüentemente a parada dos motores avaliando o gráfico de partida do motor abaixo podemos observar o aumento dessa corrente em relação a corrente nominal. A Figura 14 apresenta o gráfico de corrente x tempo.

Figura 14. Gráfico de corrente em relação ao tempo.



Fonte: Extraído de Alvarenga e Almeida, 2018.

Figura 15. Gráfico de rotação e corrente nominal.



Fonte: Extraído de Alvarenga e Almeida, 2018.

Tabela 1. Valores do motor durante a partida.

RPM (pu)	Frequência (hz)	Tempo de aceleração (s)	Conjugado da carga (ib.Pé)	Corrente de saída inversor
0,1	6	1,5	112,79	92,16 (33% IN)
0,2	12	3	338,37	201
0,3	18	4,5	563,95	279
0,4	24	6	1127,91	265
0,5	30	7,5	1973,83	256
0,6	36	9	2481,39	259
0,7	42	10,5	3383,72	260
0,8	48	12	4286,04	260
0,9	54	13,5	5639,53	261
1,0	60	15	6767,43	261

Fonte: Extraído de Alvarenga e Almeida, 2018.

Ao analisar as curvas de corrente durante a partida por MVW300, observou-se que esse aumento expressivo da corrente não ocorreu. Isso se dá pela característica do inversor de frequência em partir os motores de forma suave foi visto que ao utilizar o inversor de frequência a corrente se comportou da seguinte forma. A Figura 15 mostra o comportamento da rotação e corrente nominal durante o tempo. Com isso, os valores obtidos por comparação foram dados na Tabela 1.

5 CONCLUSÕES

No sistema elétrico de potência e muito comum que haja quedas de tensões, porém conforme a NBR5410 esses níveis de queda de tensão não devem ultrapassar os limites aceitáveis da norma que são em média de 10% pois valores acima desse nível de queda de tensão, já impactam negativamente no sistema como um todo, podendo haver desligamentos, queimas de componentes, aquecimento etc. Por isso há normas que devem ser seguidas quando há a necessidade de dimensionar um novo sistema elétrico.

Durante a partida direta de motores elétricos sempre haverá queda de tensão devido aumento da corrente de partida, porém em um sistema bem dimensionado esse valor de queda de tensão fica dentro do aceitável estabelecido por norma, porém a opção de utilizar partidas suaves são cada vez mais aceitas no sistema elétrico geral, pois além de mitigar os efeitos negativos da perda direta garantem um melhor funcionamento, proteção e confiabilidade dos motores a qual são instalados.

Esse artigo visa solucionar o problema da queda de tensão em motores de média tensão trifásicos, a partir de um novo método de partida, através do inversor de frequência MVW 3000 foi visto que a utilização do inversor de frequência durante a partida dos motores o valor

da corrente elétrica ficou abaixo da corrente nominal do motor durante partida e operação dos motores corrigindo assim a queda de tensão do sistema.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 17094-1 – 2018, “MÁQUINAS ELÉTRICAS GIRANTES - MOTORES DE INDUÇÃO – PARTE 1: TRIFÁSICOS”.

EXPORTER S.A. *In*: QUEDA DE TENSÃO: COMO EVITAR ESTE PROBLEMA NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS. 1.0. Curitiba: Exporter S.A., 2016. Disponível em: <<http://www.g20brasil.com.br/queda-de-tensao-como-evitar-este-problema-nas-instalacoes-eletricas/>>. Acesso em: 6 abr. 2022.

GRUPO WEG: Unidade Automação. *In*: Soft Starter: Manual Soft Starter. 4.0. Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automata%20-%20e-Controle-Industrial/Drives/Soft-Starters/c/BR_WDC_IA_DRV_SSW>. Acesso em: 1 abr. 2022.

NBR 5410 (Normas Brasileiras Regulamentadoras). Limites de Queda de Tensão: Quedas de Tensão. NBR 5410/97, item 6.2.7, [s. l.], 2002. Disponível em: <<https://drb-m.org/av1/12quedadeten-sao.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2022.

NORMAS REGULAMENTADORAS BRASILEIRAS (Brasil). NBR 5410. NORMA BRASILEIRA: ABNT NBR 5410. Instalações elétricas de baixa tensão, São Paulo, ano 2004, v. 2, n. 1, ed. 2 Edição, p. 1-209, 30 set. 2004. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/plugin-file.php/5810747/mod_resource/content/1/NBR5410%20-%20Instala%C3%A7%C3%B5es%20el%C3%A

9tri-
cas%20de%20baixa%20tens%C3%A3o
.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

WEG: Unidade Automação. *In*: Inversores de Frequência: Catálogos Inversores de Frequência. 2.0. Santa Catarina, 2021. Disponível em:

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automacao%20e%20Controle%20Industrial/Drives/Inversores-de-Frequencia/c/BR_WDC_IA_DRV_IVT>. Acesso em: 5 abr. 2022.