



ANÁLISE DO IMPACTO DA CONEXÃO DE MÁQUINAS ASSÍNCRONAS TRIFÁSICAS NO SISTEMA ELÉTRICO DE DISTRIBUIÇÃO

Matheus Monteiro Cabral*¹, Marcelo Escobar de Oliveira¹

¹IFG – Instituto Federal de Goiás/*Campus* Itumbiara

Resumo - A distribuição de energia elétrica é parte fundamental da sociedade atual e, portanto, aumenta-se a exigência na qualidade de energia elétrica ofertada pelas concessionárias. Diversos fatores podem influenciar nesta qualidade, sendo um deles o próprio comportamento da carga conectada à rede. Dentre os componentes que são recorrentemente empregados nos sistemas de distribuição destaca-se os motores assíncronos, os quais são aplicados desde residências até grandes indústrias. Quando comparado com outros tipos de máquinas (síncronas e a de corrente contínua) esses motores possuem maior robustez, alto conjugado de partida, acionamento simples e reduzido tamanho. Assim, para analisar a influência da utilização de máquinas assíncronas na operação de uma rede de distribuição, foram realizadas simulações com o sistema teste IEEE 37 barras. Para os casos analisados realizou-se variações nas potências das máquinas e comparou-as em ambas as partidas: direta e com soft-starter. As simulações foram realizadas no OpenDSS. Os valores de queda de tensão de linha, perdas e potência ativa e reativa são demonstrados para cada uma das situações. Finalmente, expõe-se a importância da utilização de técnicas para a diminuição do impacto da partida dos motores na qualidade da energia.

Palavras-Chave – assíncronas; distribuição; máquinas; OpenDSS; partidas; soft-starter;

IMPACT ANALYSIS OF THE CONNECTION OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MACHINES TO THE POWER DISTRIBUTION SYSTEM

Abstract - The power distribution system is a fundamental part of today's society, thus there is an increase the demand for energy quality offered by the electric utility. Several factors can influence in this quality, one of them the behavior of the load connected to the line. The asynchronous machine is a usually employed component in the power distribution system. There is applications from domestic to industrial areas. If compared with other machine construction (synchronous machine and DC machine), these motor has higher robustness, high starting torque, simple drive, and small size. Therefore, in order to

matc150@hotmail.com

analyze a distribution line, the IEEE 37 node test feeder was used. For the cases performed, there is variations on the machine's power. Comparing them in both direct starter and using a soft-starter. The OpenDSS performed the simulations. For each situation, the voltage sag, active losses and reactive losses are demonstrated. Finally, is shown the importance of the use of technics that decreases the impact of the machine starting.

Keywords – asynchronous; distribution; machines; OpenDSS; starting; soft starter;

I. INTRODUÇÃO

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte [1], nomeado de Sistema Interligado Nacional (SIN). Este foi desenvolvido visando o aumento da qualidade de energia que chega ao consumidor final, sendo os setores residencial, industrial e de comércio, presentes na área de distribuição, etapa final de todo o processo de transmissão de energia elétrica.

Os elevados valores de tensão empregados no sistema de transmissão são transformados nas subestações de distribuição, para que possam ser utilizadas pelos consumidores na rede de distribuição. Há consumidores que podem ser conectados diretamente no sistema de média tensão - MT (níveis de tensão entre 1kV e 69kV) ou de alta tensão - AT (níveis de tensão entre 69kV e 138kV), os quais são normalmente comércio e indústrias de grande porte. Na entrada de suas instalações é empregado um transformador que reduz tais valores de tensão de MT e AT para os níveis de baixa tensão (BT), adequando-os aos níveis exigidos pelos equipamentos. No Brasil, na BT são utilizados os valores de 220/127 volts, 380/220 volts e 440/220 volts [2], dependendo do Estado e da concessionária responsável pela rede.

Em todos os níveis de tensão, o sistema recebe conexão de diversos tipos de cargas. O comportamento dos equipamentos conectados influencia diretamente nos níveis de tensão, corrente, potências ativas e reativas presentes na rede. Equipamentos puramente resistivos, como fornos-elétricos e chuveiros, demandam altas potências ativas. Os capacitivos, como o banco de capacitores, podem promover o aumento da tensão nos barramentos, enquanto indutivos, como aquecedores por indução, podem diminuir estes níveis.

Existem também outros equipamentos que injetam distorções harmônicas à rede, como os inversores.

Os motores assíncronos são uma junção das características resistivas e indutivas. Altamente utilizados por conta de sua robustez, acionamento simples e alto conjugado de partida. Suas aplicações estão presentes na área residencial, como em geladeiras e ar condicionados, na de comércio, com refrigeradores e ventiladores, e nas indústrias, como bombas, esmerilhadoras, dentre outros.

A partida destas máquinas demanda altos valores de potência ativa e reativa, para que alcancem o regime nominal de funcionamento. Isto pode acarretar problemas para os níveis normais da rede de distribuição, um exemplo sendo a queda de tensão no barramento ao qual está conectada.

Neste trabalho investiga-se esse comportamento, conectando ao sistema de distribuição máquinas assíncronas de diferentes valores e pontos da rede. Para a análise utilizou-se o sistema de MT teste IEEE 37 barras e máquinas com valores de 2 cv e 152,1 cv. Um primeiro teste é feito com a conexão de 15 motores de 2cv ao sistema, utilizando os valores das potências para uma situação de partida direta e uma com utilização do dispositivo soft-starter. O segundo repete o mesmo processo, porém conecta motores de 152,1cv em determinadas barras do sistema.

Finalmente, utilizando o fluxo de potência presente no software OpenDSS, são analisados os valores de tensão, potências ativas e reativas, que são consequência da conexão destas máquinas ao sistema de distribuição, evidenciando os impactos aos níveis nominais de funcionamento da rede, que influenciam na qualidade de energia fornecida pelas concessionárias.

II. MÁQUINA ASSÍNCRONA TRIFÁSICA

A máquina assíncrona ou de indução é amplamente utilizada em diversos setores, devido a sua robustez e facilidade para a conexão à rede, sendo necessário em motores de baixa potência, apenas energizar seus terminais.

Existem duas partes principais nestas máquinas, o estator e o rotor. Quando conectado à rede trifásica os enrolamentos presentes no estator criarão fluxos magnéticos girantes. Segundo a lei de Faraday-Neumann-Lenz, a variação de fluxo magnético pelo tempo induz tensões e, portanto, correntes serão induzidas no material do rotor, criando também um fluxo magnético. Com isso, um conjugado é produzido pela tendência ao alinhamento dos dois campos magnéticos existentes na região interna da máquina, fazendo com que o rotor gire.

Em uma situação em que um motor é conectado à rede, com seu rotor girando próximo a velocidade nominal da máquina, o comportamento da corrente será quase linear e seu valor próximo ao da nominal. A desvantagem encontrada nestas máquinas é justamente quando estão sendo partidas com o seu rotor parado. Para isso exige-se um conjugado maior para retirá-lo da situação de repouso, obtendo-se assim altos valores de corrente para que este consiga aproximar da velocidade de rotação nominal.

Na Tabela I são apresentados os valores de corrente de partida para um motor de 2cv [3] e um de 152,1cv [4], em uma situação em que não há cargas conectadas ao seu rotor. A magnitude desses valores aumenta em conjunto com a

potência de saída das máquinas. A relação corrente de partida por corrente nominal (I_p/I_n) mostra quantas vezes o valor da corrente nominal é multiplicada para a situação transitória em uma partida direta, evidenciando a necessidade de uma atenção por parte das concessionárias em relação à partida dos motores.

Tabela I. Especificações dos motores utilizados

Características	2cv	152,1cv
Potência (kW)	1,5	110
Tensão (V)	380	380
Velocidade (rpm)	1720	740
Conjugado nominal (kgfm)	0,84	145
$\eta\%$ (nominal)	82,5	94,5
FP (cos ϕ) (nominal)	0,78	0,81
Momento de inércia (kgm ²)	0,0056	12,6
N° de polos	4	4
Corrente nominal (A)	4	218
Corrente de partida (A)	27,2	1308
I_p/I_n	6,8	6

Com o intuito de diminuir tais valores, criaram-se diversos tipos de partida, sendo elas a conexão estrela-triângulo, série-paralelo, utilizando chaves compensadoras ou autotransformadores, através de inversores de frequência e por soft-starters.

Tais equipamentos tendem a melhorar a qualidade da energia do sistema, por conta do decremento da magnitude da corrente de partida necessária para que o motor alcance sua velocidade nominal. Com isto, diminui-se a ocorrência de situações onde haja queda de tensão além dos limites permitidos pela concessionária e eventuais acionamentos de dispositivos de proteção contra estes tipos de surtos.

III. QUALIDADE DE ENERGIA

Um sistema bem planejado, com seus devidos dispositivos de proteção e com a disposição de cargas igualmente distribuídas entre as fases, tende a diminuir os problemas inerentes a transmissão de energia elétrica.

Conforme [5], a qualidade de energia considera um conjunto de problemas que podem ocorrer no sistema, como variações de tensão, interrupções, harmônicas, etc. Sendo elas divididas em variações de curta (menor que um minuto) e longa (maior que um minuto) duração.

Em [6], alguns fenômenos relacionados à qualidade de energia são caracterizados por:

- Sobre-tensões de longa duração: durante um tempo superior a 1 minuto, onde há incremento da tensão eficaz (rms – *root mean square*) da rede, entre 1,1 até 1,2 pu.
- Sub tensões de longa duração: superiores a 1 minuto, onde o valor eficaz da tensão do sistema varia entre 0,8 a 0,9 pu.
- Interrupção sustentada: duração maior que 1 minuto e o valor de tensão permanece em 0.
- Afundamentos de tensão (*voltage sag*): duração entre 0,5 ciclo a 1 minuto, com a magnitude de tensão variando entre 0,1 até 0,9 pu. Usualmente associados

com falhas no sistema, também podem ser causados por energização de cargas pesadas e elevada corrente de partida em motores.

- Sobre-tensão (*voltage swell*): com durações de 0,5 ciclo a 1 minuto e variação de tensão entre 1,1 a 1,8 pu.

A parte transitória da partida das máquinas demonstradas na Tabela I, é um problema para o sistema de distribuição. Em uma partida direta, a magnitude dos valores de corrente faz com que apareçam afundamentos de tensão no sistema de distribuição, que podem durar de 0,5 ciclo a 1 minuto.

Isto impacta na qualidade de energia que é fornecida pela concessionária. Neste trabalho, serão demonstrados os valores de tensão dos nós aos quais as máquinas estão conectadas, além de evidenciar o impacto do afundamento de tensão instantâneo, apresentando os valores de tensão máximo e mínimo dentre os nós do sistema.

IV. SISTEMA IEEE 37 BARRAS E CONEXÃO DAS NOVAS CARGAS

O OpenDSS é o responsável por simular o funcionamento do sistema IEEE 37 barras, calculando todos os valores de tensão e potência, para cada um dos nós. Este *software* utiliza um método de análise de fluxo de potência que injeta correntes e analisa através de iterações as respostas do sistema.

As cargas introduzidas serão as máquinas demonstradas na Tabela I. Os valores de potência ativa e reativa em ambas as partidas, direta e com soft-starter, são distribuídos igualmente entre as fases. O soft-starter foi configurado para operar com um limite de 25% do valor máximo de corrente de partida, ou seja, 6,85A para o motor de 2cv e 327A para o de 152,1cv, e estão demonstrados na Tabela II.

Tabela II. Potência dos motores.

Motor	2cv		152,1cv	
	Direta	Soft-starter	Direta	Soft-starter
Potência ativa (kW)	5,41	1,352	258,27	63,567
Potência reativa (kVAr)	17,203	4,3	821,234	205,308

Em uma indústria utiliza-se várias máquinas de baixa potência, sendo elas partes componentes do processo como esteiras rolantes horizontais, que auxiliam no transporte dos materiais, ou utilizadas com efeito específico, como esmerilhadoras, bombas, ventiladores, compressores, entre outros. Imitando este comportamento dentro do sistema utilizado, serão partidas em paralelo 15 máquinas de 2cv.

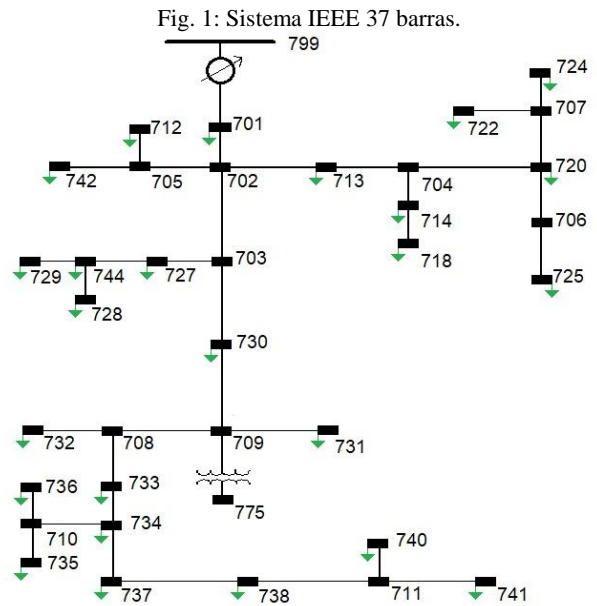
Como estas tem as mesmas características e estão sendo atuadas ao mesmo tempo, pode-se considerar que a corrente demandada é simplesmente 15 vezes o valor de uma, fazendo com que os valores de potência ativa e reativa sejam também multiplicados por este valor. Isto não acontecerá para a situação da máquina de 152,1cv, pois esta demanda uma corrente de partida muito superior à de 2cv.

Dois casos serão investigados, no primeiro a indústria receberá os valores de potência referentes a partida direta e à soft-starter das 15 máquinas de 2cv, e no segundo, receberão apenas os de uma de 152,1cv para ambas as partidas. São ao todo 6 indústrias distribuídas no sistema e para alimentá-las existem transformadores abaixadores com as características

de 4,8/0,38kV, 500kVA de potência, 0,045 (%r) de resistência dos enrolamentos, conexão delta – estrela (Δ/Y), conectados aos seus terminais. Tais transformadores estão distribuídos entre os nós 722, 724, 707, 720, 706 e 725 do sistema IEEE 37 barras, mostrados na Figura 1.

O circuito analisado é um alimentador real que se encontra na Califórnia, EUA. A tensão de operação é de 4,8kV em uma conexão delta (Δ), todos os seus segmentos passam pelo subsolo e suas cargas estão desbalanceadas entre as fases [7].

Existem dois transformadores AT/MT, um na subestação, responsável por abaixar a tensão de 230kV vindo da transmissão, para 4,8kV na distribuição, e um outro abaixador, conectado ao nó 709, de 4,8/0,48kV.



Utilizando o fluxo de potência disponível no OpenDSS são obtidos alguns valores que resumem o funcionamento do circuito de 37 barras e são demonstrados na Tabela III. Na Tabela IV são apresentados os valores das tensões considerando a configuração original do sistema, nas barras onde serão inseridas as indústrias citadas anteriormente.

Tabela III. Características do circuito IEEE 37 barras

Potência ativa total (MW)	2,6		
Potência reativa total (MVar)	1,6		
Tensão de linha	Vab	Vbc	Vca
Tensão Max (pu)	1,0043	1,0294	0,9944
Tensão Min (pu)	0,9585	0,9994	0,9442

Tabela IV. Valores de tensão para os nós antes da conexão das indústrias.

Barras	Vab	Vbc	Vca
722	0,9790	0,9993	0,9618
724	0,9788	0,9989	0,9617
707	0,9792	0,9998	0,9619
720	0,9810	1,0050	0,9635
706	0,9809	1,0046	0,9634
725	0,9808	1,0042	0,9633

Os valores de tensão máxima estão aliados ao barramento presente na saída do alimentador, denominado de nó 799R. Este detém valores altos devido à proximidade com a fonte e consequentemente as perdas na transmissão são quase nulas.

É possível verificar que o sistema não tem uma distribuição de cargas uniforme entre suas fases, pois existem diferenças nos valores de tensão. Na barra mais distante do alimentador (740), encontra-se os menores níveis de tensão, devido as perdas na linha de transmissão.

Com os dados originais do sistema e valores das potências que serão conectadas a rede é possível analisar os impactos destas cargas sobre valores de tensão e perdas, em dois casos específicos, o primeiro para as máquinas de 2cv e o segundo para as de 152,1cv.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Primeiro Caso – Máquinas de 2CV

Inicialmente, conectam-se as máquinas de 2cv, sendo 15 equipamentos em cada uma das 6 indústrias. O primeiro teste utiliza a partida direta e verifica as tensões das barras nas quais estas cargas estão conectadas, demonstradas na Tabela V.

Tabela V. Tensões de linha, motores de 2cv em partida direta.

Barras	Vab	Vbc	Vca
722	0,8866	0,9089	0,8666
724	0,8852	0,9073	0,8652
707	0,8870	0,9097	0,8670
720	0,8944	0,9204	0,8745
706	0,8926	0,9183	0,8725
725	0,8919	0,9173	0,8718

Analisando o pior caso (barra 724), aquele cujo níveis de tensão são os mais baixos, tem-se, quedas com valores aproximados, entre as tensões de linha Vab, Vbc e Vca, respectivamente, de 9,56%, 9,17% e 9,17%, em relação ao circuito original demonstrado na Tabela IV.

As perdas ativas se aproximam de 0,33MW e as reativas de 0,81MVar em todo o circuito, tais valores refletem em como máquinas à indução se comportam em uma partida à vazio, demandando altos valores de potência reativas, responsáveis por gerarem o campo magnético na região rotórica.

As respostas da partida através de um soft-starter demonstram um impacto muito menor se comparados aos da anterior.

Tabela VI. Tensões linha, motores de 2cv em partida soft-starter.

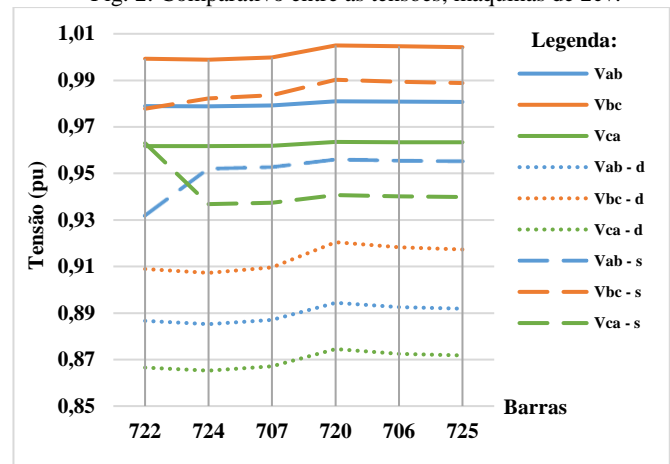
Barras	Vab	Vbc	Vca
722	0,9318	0,9778	0,9630
724	0,9519	0,9822	0,9368
707	0,9527	0,9836	0,9375
720	0,9559	0,9903	0,9408
706	0,9554	0,9894	0,9401
725	0,9551	0,9889	0,9399

A Tabela VI mostra que o pior caso, neste instante, também ocorre na barra 724, os seus níveis de tensão de linha Vab, Vbc e Vca são, respectivamente, 2,75%, 1,67% e 2,59%, em relação ao original. Isto equivale a um ganho médio de 6,95%, em relação ao caso anterior (partida direta), apenas por utilizar

um método mais suave de atuação. As perdas no circuito de distribuição também têm os seus valores diminuídos, sendo as ativas de 0,19MW e as reativas em torno de 0,49MVar.

Na Figura 2 é apresentado o comparativo entre as tensões de linha do circuito original (linhas sólidas), do circuito com as máquinas utilizando a partida direta (linhas pontilhadas) e utilizando um soft-starter (linhas tracejadas).

Fig. 2: Comparativo entre as tensões, máquinas de 2cv.



Na Tabela VII é exposto um panorama geral da resposta do circuito de 37 barras quanto à conexão das novas cargas de 2cv, em relação aos seus dois tipos de partidas. Os valores de máxima tensão se encontram no barramento que sai da alimentação (799) e os menores níveis mudam de nó em cada caso, sendo na partida direta na barra 724 e utilizando soft-starter na barra 741, mostrando que nem sempre os nós mais distantes do alimentador terão a maior queda de tensão do sistema.

Tabela VII. Resumo do comportamento do circuito à conexão das máquinas de 2cv.

Partida direta			
Potência ativa total (MW)	2,9		
Potência reativa total (MVar)	3,9		
Tensão de linha	Vab	Vbc	Vca
Tensão Max (pu), nó 799	0,9420	0,9719	0,9253
Tensão Min (pu), nó 724	0,8852	0,9072	0,8652
Partida soft-starter			
Potência ativa total (MW)	2,7		
Potência reativa total (MVar)	2,0		
Tensão de linha	Vab	Vbc	Vca
Tensão Max (pu), nó 799	0,9859	1,0220	0,9795
Tensão Min (pu), nó 741	0,9369	0,9884	0,9262

B. Segundo Caso – Máquina de 152,1CV

Considerando uma primeira situação em que 1 motor de 152,1cv é conectado em cada uma das 6 indústrias, tem-se os valores obtidos e apresentados na Tabela VIII, os quais são níveis inadequados de tensão, conforme determina a agência reguladora.

Tabela VIII. Tensões de linha, motores de 152,1cv em partida direta

Barras	Vab	Vbc	Vca
722	0,7470	0,7615	0,7216
724	0,7436	0,7579	0,7182
707	0,7378	0,7625	0,7224
720	0,7636	0,7812	0,7387
706	0,7591	0,7763	0,7338
725	0,7575	0,7746	0,7322

Para o pior caso, na barra 724, suas quedas são 24,03%, 24,13% e 24,96% para as tensões linhas Vab, Vbc e Vca, em relação ao circuito original. As perdas ativas do sistema aumentam, chegando aos 0,88MW, e as reativas chegam a 1,94MVar.

Na Tabela IX são apresentados os valores de tensão de linha para esta situação em que se considera a partida com soft-starter.

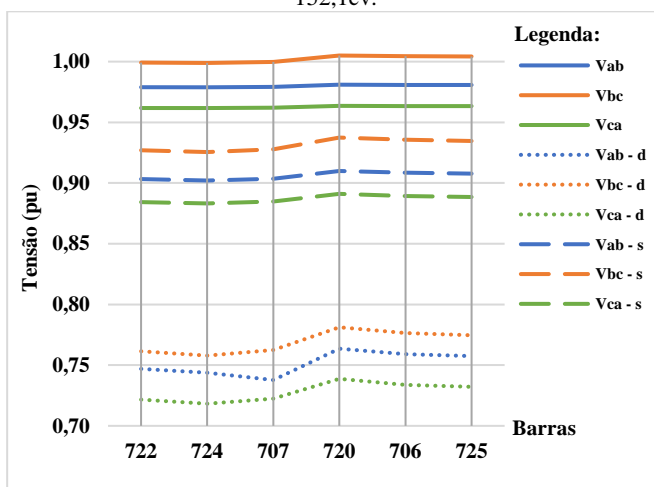
Tabela IX. Tensões de linha, motores de 152,1cv em partida soft-starter

Barras	Vab	Vbc	Vca
722	0,9032	0,9269	0,8843
724	0,9021	0,9255	0,8832
707	0,9036	0,9276	0,8847
720	0,9099	0,9374	0,8911
706	0,9084	0,9356	0,8894
725	0,9078	0,9347	0,8884

Na partida soft-starter os níveis de tensão não decaem tanto quanto no exemplo anterior, ficando no seu pior caso, no nó 724, com quedas de tensão das linhas Vab, Vbc e Vca, de 7,84%, 7,345% e 8,17%, respectivamente. Suas perdas ativas ficaram em 0,29MW e reativas em 0,71MVar.

Na Figura 3 é apresentado um gráfico comparativo no qual é evidenciado o impacto das correntes presentes na partida dos motores à indução nos níveis de tensões do sistema.

Fig. 3: Comparativo entre as tensões, indústrias com máquina de 152,1cv.



Os níveis de tensão da partida direta (linha pontilhadas), ficam distantes das do circuito original. Para a partida

utilizando um soft-starter (linhas tracejadas), há uma queda de alta magnitude, mas este equipamento consegue limitar estes valores e os manter próximos do circuito original (linhas sólidas).

Tais situações são previstas pelas concessionárias, já que quanto maior a potência dos motores conectados ao sistema de distribuição mais comumente quedas de tensão instantâneas acontecem.

Por último, demonstrados na Tabela X, estão os valores que resumem os circuitos de partida direta e soft-starter, para a máquina de 152,1cv.

Tabela X. Resumo do comportamento do circuito à conexão das máquinas de 152,1cv

Partida direta			
Potência ativa total (MW)	3,4		
Potência reativa total (MVar)	5,5		
Tensão de linha	Vab	Vbc	Vca
Tensão Max (pu), nó 799	0,8493	0,8729	0,8378
Tensão Min (pu), nó 724	0,7436	0,7579	0,7182
Partida soft-starter			
Potência ativa total (MW)	2,8		
Potência reativa total (MVar)	2,9		
Tensão de linha	Vab	Vbc	Vca
Tensão Max (pu), nó 799	0,9530	0,9840	0,9442
Tensão Min (pu), nó 724	0,9020	0,9255	0,8832

Na situação de partida direta o sistema como um todo sente o impacto da quantidade de demanda que os motores de 152,1cv exigem para a sua partida.

Esta queda está relacionada apenas à milissegundos, mas já são o suficiente para que adentre os limites que a categorize como um afundamento de tensão instantâneo, fase-fase e com uma queda de magnitude, aproximadamente, igual para todas as três fases.

Em consequência disto, dispositivos de proteção contra estes tipos de surtos podem atuar, fazendo com que haja o desligamento das indústrias, ou em cargas sensíveis como computadores, faça com que os dados armazenados em sua memória sejam perdidos [8].

Nas máquinas tal situação pode, segundo [5], fazer com que tenha perda de velocidade produzida e picos de corrente e de conjugado no instante inicial da queda de tensão e no reestabelecimento.

Nas Tabelas IX e X pode-se verificar a importância do uso dos soft-starters para a manutenção da qualidade de energia no sistema, indicando que a ação feita pelas concessionárias, de limitar as potências de motores que possam ser atuados com a partida direta, seja correta.

A situação proposta foi limitar a corrente de partida para o soft-starter em 25% da direta, mas tais valores podem variar dependendo da necessidade da indústria, existindo casos onde o processo necessita de uma partida em um curto espaço de tempo, até um onde se estuda o melhor custo-benefício. Este último levando em conta o tempo gasto na partida, até a máquina alcançar sua velocidade nominal, e o seu valor de

corrente, para que em média o custo da energia elétrica mensal seja diminuído.

Wavelet. Dissertação de mestrado, UFSCAR, São Paulo, Brasil, 2003.

VI. CONCLUSÕES

O sistema de distribuição é complexo e tem o comportamento variável durante o dia, caso as concessionárias de energia não deem a devida importância para as cargas conectadas ou para os dispositivos de proteção, isto pode refletir em prejuízos à curto e longo prazo.

Um dos itens que compõem as cargas são justamente as máquinas à indução, que detêm um comportamento de partida, em maiores potências, altamente danoso para o sistema devido aos altos valores de correntes que estas demandam.

Com isto, problemas na qualidade da energia ofertada pelas companhias podem aparecer, sendo o principal relacionado com as máquinas o caso do afundamento de tensão, e necessita-se um trabalho conjunto entre o consumidor e a concessionária para que os níveis se mantenham dentro dos limites estabelecidos.

Utilizando o método de análise de fluxo de potência presente no OpenDSS foi possível constatar a influência da conexão das máquinas à rede, e por fim percebeu-se a importância da utilização de métodos que diminuam a magnitude do valor da corrente de partida.

O dispositivo proposto neste artigo é a utilização do soft-starter, demonstrando então, a possibilidade do uso de motores de alta potência, mesmo que conectados ao sistema de distribuição de média ou baixa tensão, sem maiores preocupações por parte da concessionária de energia quanto aos níveis de tensão em sua rede.

REFERÊNCIAS

- [1] Operador Nacional do Sistema – ONS (2019). *O sistema interligado nacional*. Acedido em: 9 de junho de 2019, em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2019). *Tensões nominais*. Acedido em: 9 de junho de 2019, em: <http://www.aneel.gov.br/tensoes-nominais>.
- [3] R. G. Mendonça, *Estudo dos conjugados oscilantes do motor de indução trifásico assimétrico – para efeito de projeto*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 1997.
- [4] Weg. Motores. Acedido em: 10 de julho de 2019, em: <https://www.weg.net/catalog/weg/US/en/Electric-Motors/AC-Motors---IEC/General-Purpose/Cast-Iron-Frame/TEFC-W22-Tru-Metric-IE2/W22-Tru-Metric-IE2-150-HP-8P-315L-3Ph-460-380-415-V-60-Hz-IC411---TEFC---B3L%28E%29/p/12512236>.
- [5] M. Llerena, *Estimativa do comportamento de máquinas assíncronas sujeitas a afundamentos de tensão*, Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- [6] IEEE Std 1159-2009, *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, IEEE, 2009.
- [7] Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE. *Test Feeder*. Acedido em: 9 de junho de 2019, em: <http://sites.ieee.org/pestestfeeders/resources/>.
- [8] E. F. Arruda. *Análise de distúrbios relacionados com a qualidade de energia elétrica utilizando a transformada*