

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
WILHIAN ROCHA DE OLIVEIRA

**A IMPORTÂNCIA DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE
ADUTORAS DE ÁGUA**

Varginha
2016

WILHIAN ROCHA DE OLIVEIRA

**A IMPORTÂNCIA DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE
ADUTORAS DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS- MG, como pré-requisito para obtenção do grau de Engenharia Elétrica, sob orientação do Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni.

**Varginha
2016**

WILHIAN ROCHA DE OLIVEIRA

**A IMPORTÂNCIA DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE
ADUTORAS DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do título de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni

Prof Me. Hugo RodriguesVieira

Prof Esp Adilson Amaro da Silva

Dedico aos meus pais, Jose Vitor e Ana Maria, e aos meus irmãos que sempre acreditaram em mim, mesmo sabendo que os obstáculos pudessem ser impossíveis, mas sempre me lembravam que Deus sempre estava comigo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me dar tudo que precisei no momento certo.

Aos meus familiares, amigos, colegas e a minha namorada pelo apoio e compreensão em momentos que estive ausente para dedicar aos estudos. Aos meus pais e meus irmãos, que mesmo distantes sempre estavam disponíveis para uma conversa em momentos difíceis, com palavras motivadoras.

RESUMO

As redes adutoras de água atualmente são as mais sofrem com a sobre pressão das bombas d'água, devido as partidas bruscas de motores sobre dimensionados devido a necessidade de um alto torque de partida e partidas constantes, onde os reservatórios superiores tem um ponto de nível mínimo de água, quando a bomba deve ser acionada e desligada ao chegar no nível máximo, com este cenário os efeitos apresentados tardios são rompimentos das redes adutoras que não suportam as mudanças bruscas e sobre pressão, surgindo um aumento de manutenção corretiva, desperdício de água e falta de abastecimento da população local . O objetivo deste trabalho é demonstrar que é possível alcançar maior eficiência investindo em sistemas de gerenciamento de pressão d'água que permita somente a pressão necessária desejada e para isso ao invés de utilizar somente válvulas de *by-pass*(desvio) para controlar a pressão d'água, faz-se o uso do inversor de frequência na bomba d'agua, que atua na velocidade da mesma diminuindo ou aumentando, conforme a variação do fluxo d'água. Através de análise dos resultados de um sistema com e sem variador de velocidade e uma simulação comparativa de partida um motor de 5CV (Cavalo Vapor) ligado diretamente ou por meio de inversor de frequência, onde será possível analisar o comportamento da velocidade, corrente, tensão e potência. Conclui-se que em sistemas com o uso inversor de frequência, nota-se que tem um alto torque de partida possibilitando um motor de menor porte, baixa corrente de pico de partida, partida mais suave, alto fator de potência, fácil automatização e uma velocidade variável mantendo as redes adutoras com uma pressão próxima da desejável, mesmo que a vazão seja variável, diminuindo as partidas diárias para quase zero, com uma pressão controlada permitindo que a mesma rede adutora de elevação seja compartilhada com bombeamento direto as unidades consumidoras.

Palavras chave: Sistema. Inversor. Bomba d'água. Velocidade.

ABSTRACT

Water mains are currently the most affected by overpressure of water pumps, due to the sudden startup of motors over dimensioned due to the need for a high starting torque and constant starts, where the upper reservoirs have a level point Minimum of water, when the pump must be turned on and off when it reaches the maximum level, with this scenario the late effects are disruptions of the mains networks that do not withstand sudden changes and pressure, resulting in an increase of corrective maintenance, waste of water And lack of supply to the local population. The objective of this work is to demonstrate that it is possible to achieve greater efficiency by investing in water pressure management systems that allows only the desired pressure required and for that, instead of using only by-pass valves to control the pressure of The frequency inverter is used in the water pump, which operates at the speed of the water pump, decreasing or increasing, depending on the variation of the water flow. By analyzing the results of a system with and without variable speed drive and a comparative simulation starting a 5CV (Horse Steam) motor connected directly or through a frequency inverter, where it will be possible to analyze the behavior of speed, current, voltage And power. It is concluded that in systems with the use of frequency inverter, it is noted that it has a high starting torque, allowing a smaller motor, low starting peak current, smoother starting, high power factor, easy automation and a Variable speed maintaining the nets with a pressure close to the desirable one, even if the flow is variable, decreasing the daily departures to almost zero, with a controlled pressure allowing the same elevation adductor network to be shared with direct pumping the consuming units.

Keywords: *System. Inverter. Water pump. Speed.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 01 - Sistema de abastecimento de água..... | 15 |
| Figura 02 - Bombeamento direto e reservatório com variador de rotação | 15 |
| Figura 03 – Bobinamento do motor..... | 19 |
| Figura 04 – Defasagem entre as fases de alimentação | 19 |
| Figura 05 – Partes de um motor | 21 |
| Figura 06 – Funcionamento da bomba centrífuga | 22 |
| Figura 07 – Rotores das bombas centrífugas..... | 22 |
| Figura 08 – Diagrama de ligação direta e estrela triângulo..... | 23 |
| Figura 09 – Diagrama de bloco de um inversor de frequência..... | 26 |
| Figura 10 – Funcionamento de um inversor de frequência | 27 |
| Figura 11 – Uso de inversor para abastecimento de zona alta da cidade | 28 |
| Figura 12 – Estação elevatória de água de Santana – RMSP– Projeto original | 31 |
| Figura 13 – Estação elevatória de água de Santana – RMSP– Projeto modificado | 32 |
| Figura 14: Simulação da partida direta do motor..... | 38 |
| Figura 15: Simulação da partida com inversor de frequência..... | 40 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 01 – Comparativo dos variadores de velocidade convencionais | 18 |
| Quadro 02 – Vantagens e desvantagens para os tipos de partidas..... | 24 |
| Quadro 03 – Comparação entre conjunto motor-bomba de rotação constante e rotação variável | 31 |
| Quadro 04 – Comparativo do projeto original com o modificado | 32 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 01 – Variação pressão X rotação constante e variável | 29 |
| Gráfico 02 – Comparativo de sistema com e sem inversor..... | 29 |
| Gráfico 03 – Curva de frequência e rotação X pressão e corrente em operação normal. | 30 |
| Gráfico 04 – Curva de corrente na partida e desligamento do motor em função do tempo | 30 |
| Gráfico 05 – Curva das frequências na partida e desligamento do motor em função do tempo | 35 |
| Gráfico 06 – Curvas de rotação na partida e desligamento do motor em função do tempo | 37 |
| Gráfico 07 – Curvas de rotação em função do tempo | 38 |
| Gráfico 08 – Curvas da corrente e tensão do motor em função do tempo | 39 |
| Gráfico 09 – Curvas da potência do motor em função do tempo | 39 |
| Gráfico 10 – Curvas do retificador na partida do motor em função do tempo..... | 40 |
| Gráfico 11 – Corrente e tensão do motor com inversor | 41 |
| Gráfico 12 – Curvas de rotação na partida do motor em função do tempo..... | 41 |
| Gráfico 13 – Curvas da corrente e tensão na partida do motor em função do tempo | 42 |
| Gráfico 14 – Curvas da potência do motor em função do tempo | 42 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 01 – Relação entre vazão e velocidade | 16 |
| Equação 02 – Relação entre altura manométrica e velocidade | 16 |
| Equação 03 – Relação entre potência e velocidade | 16 |
| Equação 04 – Equação de Bernoulli..... | 16 |
| Equação 05 – Frequência por período | 25 |
| Equação 06 – Velocidade do motor..... | 25 |
| Equação 07 – Velocidade do motor com inversor..... | 25 |
| Equação 08 – Torque do motor | 25 |
| Equação 09 – Fluxo magnético do motor | 25 |
| Equação 10 – Potência ativa..... | 36 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 SISTEMA DE BOMBEAMENTO PARA ABASTECIMENTO | 15 |
| 2.1 Vazão x Pressão | 16 |
| 2.1.1 Variadores de velocidade convencionais..... | 17 |
| 2.2 Motor de indução..... | 18 |
| 2.3 Bombas centrifugas | 21 |
| 2.4 Tipos de partidas do motor:..... | 22 |
| 2.4.1 Inversor de frequência | 255 |
| 2.4.1.1 Retificador | 266 |
| 2.4.1.2 Filtro | 26 |
| 2.4.1.3 Inversor..... | 277 |
| 2.4.1.4 Unidade de Controle Microprocessada..... | 28 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 4 CONCLUSÃO..... | 43 |

1 INTRODUÇÃO

Em alguns estados do Brasil a topografia predominante é montanhosa, com a alteração climática os estudiosos viram a necessidade de irrigação das lavouras em períodos onde a chuva seja desejada, projetando uma chuva artificial, visando produção o ano todo e com o aumento da população urbana a quantidade de água necessária para o abastecimento tornou insuficiente, restando como alternativa buscar água em outras localidades, devido a características topográficas não era possível a chegada d'água somente por gravidade. Acompanhado a evolução as principais bombas foram: as rodas d'água, as bombas espirais, êmbolos e centrífugas, inicialmente o objetivo era somente um sistema de elevação, para transportar água até o local desejado com a pressão mínima e vazão necessária, devido ao aumento significativo da população desproporcional ao aumento das fontes geradoras de energia elétrica, surgiu uma demanda superior de energia elétrica para alimentar as bombas do sistema de abastecimento.

De acordo com Gurgel (2006) a Sabesp em 2004, consumia 2042 GWh que correspondia a 2,1% do consumo de energia elétrica do Estado de São Paulo, somente na unidade de negócio do vale do Paraíba da Sabesp, que é composta por 24 municípios verifica que a energia elétrica consumida no ano de 2004 correspondeu a 19,67% das despesas totais e a operação de bombas corresponde a 95% das despesas, consumindo em média 3325 MWh. Devido este cenário as fontes de energia existentes tornaram insuficientes para a demanda, pelos estudos observou que a alternativa seria uso da energia de forma racional, conhecido como eficiência energética, desde então a busca por sistemas eficientes tornou-se obrigatório e competitivo, que obtinham como estratégicas nas ações operacionais, com intuito de reduzir o consumo de energia e permitir o controle das pressões nas redes de distribuição de água, com análises de alguns problemas considerados relevantes em um sistema de bombeamento:

- a) Perdas de água na região de abastecimento devido à alta pressão exercida nas tubulações pelas bombas;
- b) Baixo fator de potência das bombas;
- c) Alto pico de corrente de partida nas bombas;
- d) Alto consumo de energia;
- e) Difícil automatização do sistema.

Com evolução da tecnologia a partir de 1980, surgiu os semicondutores de potência que permitiu a variação da rotação dos motor-bomba através dos inversores de frequência com um custo menor, maior confiabilidade. O inversor de frequência é um equipamento que tem a finalidade de variar a velocidade do rotor do motor localizado no eixo da bomba centrífuga,

converte a tensão alternada em contínua, por meio de controle do semicondutor de potência libera a potência necessária para atingir uma velocidade desejada, variando a frequência e tensão e mantendo o torque próximo do nominal. Com a adesão da tecnologia a aplicação de inversores de frequência em bombas d'água tem permitido a automatização e monitoramento do sistema, seja ele destinado ao abastecimento ou a irrigação, evitando que falte água, rompimentos nas tubulações que ocasionam desperdício d'água, diminui a corrente de partida nos motores, diminui a manutenção das bombas, correção do fator de potência.

Segundo Gurgel (2006) a instalação de inversor de frequência tem como resultados das pesquisas:

- a) Redução no consumo de energia elétrica em 38% com o uso do inversor de frequência;
- b) Redução da demanda de energia em 12%;
- c) Melhoria do fator de potência, de 0,85 para 0,98, dispensando bancos estáticos de capacitores, observando-se, entretanto que, o inversor de frequência utilizado continha o corretor de fator de potência;
- d) Eliminação do pico de corrente na partida e conseqüentemente a eliminação da queda de tensão;
- e) Redução de perdas de água na rede de distribuição devido a diminuição da pressão;
- f) Retorno de custo da instalação do variador de rotação em dois anos e meio.

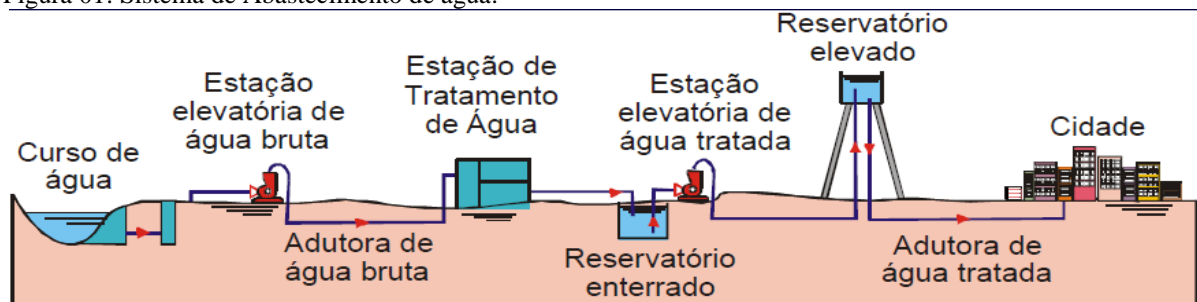
As redes adutoras de água atualmente são as mais sofrem com a sobre pressão das bombas d'água, devido as partidas bruscas de motores sobre dimensionados devido a necessidade de um alto torque de partida e partidas constantes, onde os reservatórios superiores tem um ponto de nível mínimo de água, quando a bomba deve ser acionada e desligada ao chegar no nível máximo, com este cenário os efeitos apresentados tardios são rompimentos das redes adutoras que não suportam as mudanças bruscas e sobre pressão, surgindo um aumento de manutenção corretiva, desperdício de água e falta de abastecimento da população local . Uma solução para evitar a sobre pressão é a instalação de uma válvula de *by-pass* depois da bomba, quando a pressão nas redes adutoras ultrapassam a desejada a válvula abre permitindo que a água retorne para a rede adutoras antes da bomba e outra solução apresentada é a instalação de motores com variadores de velocidade, os mais indicados são os inversores de frequências que tem um alto torque de partida que poderá ser substituído por uma bomba de menor porte, baixa corrente de pico de partida, partida mais suave, alto fator de potência e fácil automatização tendo como resultado uma velocidade variável que mantem nas redes adutoras uma pressão próxima da desejável, mesmo que a vazão seja variável, diminuindo as partidas diárias para quase zero, com uma pressão controlada permite que a mesma rede adutora de

elevação seja compartilhada com bombeamento direto as unidades consumidoras. O objetivo deste trabalho é demonstrar que é possível alcançar maior eficiência investindo em sistemas de gerenciamento de pressão d'água que permita somente a pressão necessária desejada e para isso ao invés de utilizar somente válvulas de *by-pass*(desvio) para controlar a pressão d'água, faz-se o uso do inversor de frequência na bomba d'água, que atua na velocidade da mesma diminuindo ou aumentando, conforme a variação do fluxo d'água. Através de análise dos resultados de um sistema com e sem variador de velocidade e uma simulação comparativa de partida um motor de 5CV (Cavalo Vapor) ligado diretamente ou por meio de inversor de frequência, onde será possível analisar o comportamento da velocidade, corrente, tensão e potência.

2 SISTEMA DE BOMBEAMENTO PARA ABASTECIMENTO

Um sistema de abastecimento é composto por redes adutoras que interligam reservatório de água não tratada, estação elevatória de água não tratada, estação de tratamento, reservatório de água tratada, estação elevatória de água tratada, reservatório elevado de água tratada, rede distribuição por gravidade, como demonstrado na Figura 01. Com a inclusão de variadores, o sistema passou ter possíveis modificações, exposta na Figura 02, sendo constituído por reservatório de água não tratada, estação elevatória de água não tratada, estação de tratamento, reservatório de água tratada, estação elevatória de água tratada, rede distribuição por bombeamento direto com controle de vazão e reservatório elevado, para ser distribuído por gravidade.

Figura 01: Sistema de Abastecimento de água.



Fonte: Tsutiya (2006).

Figura 02: Bombeamento direto e reservatório elevado, com variador de rotação.



Fonte Tsutiya (2006).

Armazenamento da água bruta é feito em represas ou rios com vazão apropriada que não interfira no ecossistema.

Redes adutoras são tubulação por onde água vai ser transportada de uma estação até a outra, são fabricados para suportar uma determinada pressão, podendo variar de acordo com o ambiente que se encontra. Um dos problemas enfrentados pelas tubulações são altas pressões, o efeito lixa ocasionados pelas impurezas presentes na água, alta vazão para atender a demanda, estes efeitos interferem na vida útil das tubulações ocasionando rompimentos não esperados e perdas de um volume significativo de água, demandando a manutenção corretiva.

Segundo Rodrigues(2007) o tratamento de água visa a retirada de impurezas para tornar a água própria para o consumo humano, sendo uma grande descoberta pois a única água que servia para consumo seria a provida de poços artesianos ou de nascentes, e com a tecnologia é possível tratar água de rios e até do mar. Com as leis ambientais hoje é obrigatório o tratamento da rede de esgoto antes de devolver para natureza. Porém, infelizmente ainda existem localidades no Brasil que não possuem saneamento básico, com altos índices de mortalidades e doenças ocasionadas a falta do saneamento.

Estação elevatória bombeia a água diretamente para clientes, reservatórios elevados e para estação de tratamento, seja para consumo ou antes de devolver para natureza.

2.1 Vazão x Pressão

A pressão gerada é inversamente proporcional a vazão, onde quando se aumenta a pressão a vazão tende a diminuir, no caso do sistema de distribuição quando se tem um grande número de consumidores usando a água alivia a pressão da tubulação.

O controle de vazão no sistema de distribuição é proporcionado por meio de válvulas ou por variação da rotação da bomba. Para aliviar a pressão nas tubulações se utiliza um sistema de *By-pass*, onde a pressão que ultrapassa a resistência da válvula de *By-pass* retornando para o reservatório evitando que a tubulação fique sobre pressão. Um outro método é a variação da rotação da bomba, onde de acordo com a necessidade aumenta ou diminui a rotação mantendo uma pressão constante desejável e vazão variável.

Segundo Tsutiya(2006) uma bomba centrifuga com velocidade variável pode ser representada pela Equação 1, 2, 3 e a pressão varia de acordo com a Equação 4 de Bernoulli.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (3)$$

$$P_1 + p \cdot g \cdot H_1 + \frac{p \cdot v_1^2}{2} = P_2 + p \cdot g \cdot H_2 + \frac{p \cdot v_2^2}{2} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão da bomba;
 n = rotação da bomba;
 H = altura manométrica da bomba;
 P = potência da bomba.
 P_1 = Pressão de recalque
 P_2 = pressão no reservatório superior;
 ρ = massa específica do fluido;
 g = gravidade;
 H_1 = altura manométrica entre a bomba e o reservatório inferior;
 H_2 = altura manométrica entre o reservatório inferior e superior;
 v_1^2 = velocidade do líquido que será a mesma do rotor da bomba;
 v_2^2 = velocidade do líquido no reservatório superior.

2.1.1 Variadores de velocidade convencionais.

Para que se tenha um sistema eficiente o variador de velocidade do motor tem que está acoplado na bomba garantindo a vazão e pressão, os mais usuais são:

- a) Variadores mecânicos;
- b) Variadores hidráulicos;
- c) Variador hidrocínético;
- d) Variador eletromagnético.

Variador mecânico com polia cônica e correia, onde a polia é constituída de dois pratos cônicos, montados em frente um para o outro sobre um eixo com ranhuras, que se aproximam ou afastam. O prato é acionado por um dispositivo de variação, e o prato da outra por uma mola, tendo uma variação máxima de 1:8.

Variador mecânico com corrente mesmo princípio do anterior só troca a correia por corrente.

Variador mecânico com disco de fricção, constituído de material de grande resistência a pressão superficial e ao desgaste e ao auto coeficiente de atrito. Um dispositivo de variação desloca um dos discos de fricção onde o fluxo de força é transmitido para o outro disco, tendo uma variação de 1:5.

Variador hidráulico, o motor hidráulico é a conversão feita por dispositivos de engrenagens planetárias ou através de acionamento de pistões com controle efetuado por válvula, onde a potência hidráulica de um fluido é convertida em energia mecânica. Com baixa rotação, alto torque, duplo sentido, motores de baixa potência, baixo custo, para acionamento dos motores hidráulicos é necessário um sistema hidráulico (tubulações, bombas, motores elétricos auxiliares).

Variador hidrocínético utiliza ar no lugar de óleo como fluido para movimentar discos aletados em caixas fechadas, montada sobre dois eixos independentes.

Variadores eletromagnéticos utiliza um disco acoplado nas bobinas variando o campo magnético.

O Quadro 01 a seguir demonstra as vantagens e desvantagens dos variadores convencionais.

Quadro 01: Comparativo dos variadores de velocidade convencionais.

| | Polias Variadoras | Hidráulico | Eletromecânico |
|---------------------------------|----------------------|------------|----------------|
| Faixa de variação de velocidade | Pequena (1 à 4 máx.) | Grande | Média |
| Limite de potência | Baixo | Elevado | |
| Eficiência | Baixa | Baixa | Baixa |
| Custo | Baixo | Elevado | Baixa |
| Pontos fortes | | | Partida suave |
| Pontos fracos | Escorregamento | Vazamento | |

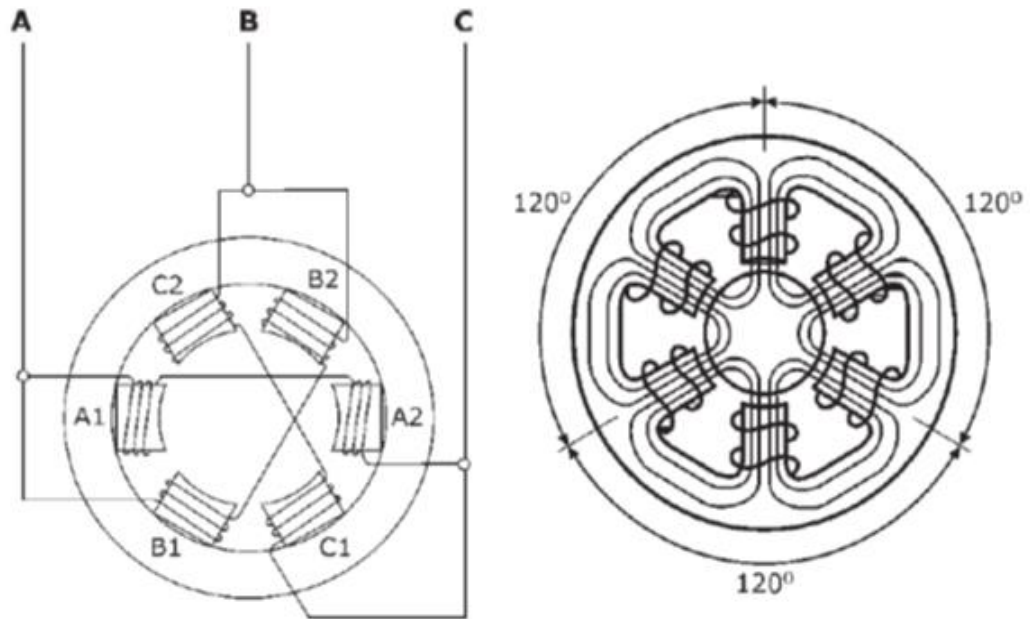
Fonte: Catálogo da WEG (2016).

2.2 Motor de indução

O princípio básico de funcionamento de um motor consiste na condução de uma corrente por um condutor gerando um campo eletromagnético pelas linhas circulares, conhecidas como linha de indução. Se um condutor é movimentado dentro de um campo magnético surgirá uma tensão induzida entre os terminais do condutor, proporcional ao número de linha de indução cortadas por segundo. Se dois condutores com correntes distintas, produz cada um deles um campo magnético, os dois campos magnéticos quando se aproximam um do outro produz uma força de atração ou repulsão entre os condutores, variando proporcionalmente de acordo com a corrente.

Um bobinado polifásico, alimentado por um sistema trifásico produzira um campo magnético girante, com a defasagem de 120° conforme a Figura 03.

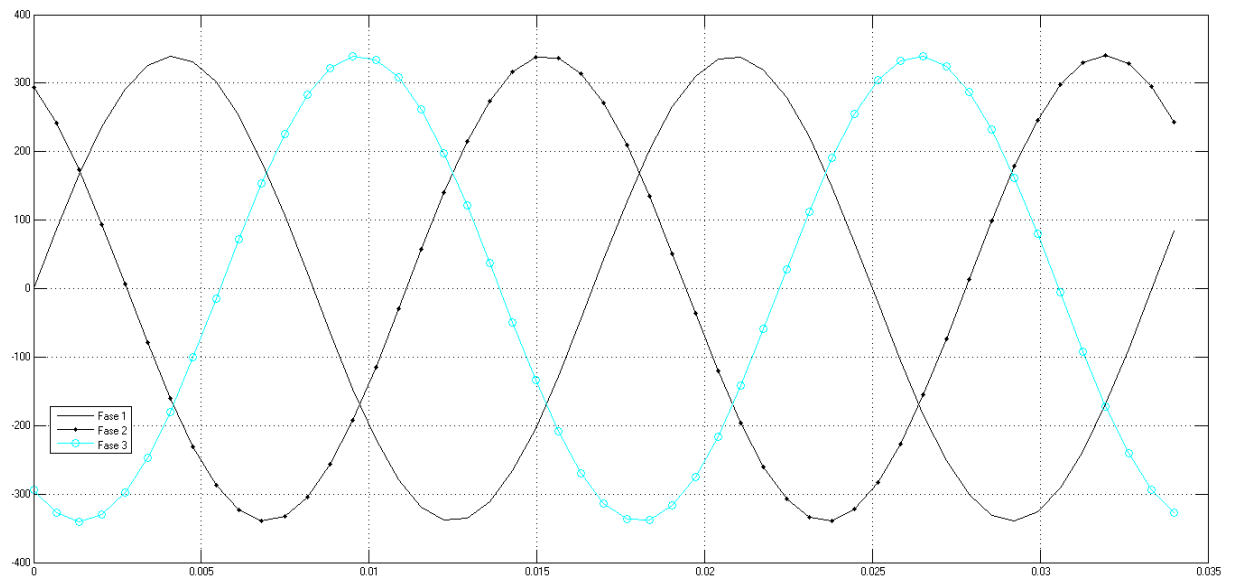
Figura 03: Bobinamento do motor.



Fonte: Catálogo da WEG (2016).

A Figura 04 demonstra que as tensões oscilam em sincronismo, pois a cada instante diferente uma fase atinge o 0V.

Figura 04: Defasagem entre as fases de alimentação.



Fonte: O autor.

A velocidade do campo girante é denominada velocidade síncrona, que é proporcional ao número de polos bobinado à frequência do sistema trifásico.

O torque é a força aplicada no eixo que prova rotação.

A frequência calculada em função do tempo conforme Equação 5, que é um dos parâmetros para calcular a velocidade a velocidade síncrona na Equação 6 para um motor de indução desconsiderando o escorregamento, na Equação 7 considera o escorregamento para calcular a velocidade do motor, o torque é calculado pela Equação 8 e a Equação 9 é usada para calcular o fluxo no estator.

$$f = \frac{1}{t} \quad (5)$$

$$n = \frac{f \cdot 120}{p} \quad (6)$$

$$n = \frac{120 \cdot (1-s) \cdot f}{p} \quad (7)$$

$$T = K_1 \cdot \varphi_m \cdot I_1 \quad (8)$$

$$\varphi_m = \frac{K_2 \cdot V_1}{f_1} \quad (9)$$

Onde:

n = Velocidade;

s = escorregamento;

f = frequência da rede que alimenta o motor;

p = número de polos;

φ_m = fluxo;

K_1 e K_2 = constante (depende do material e do projeto);

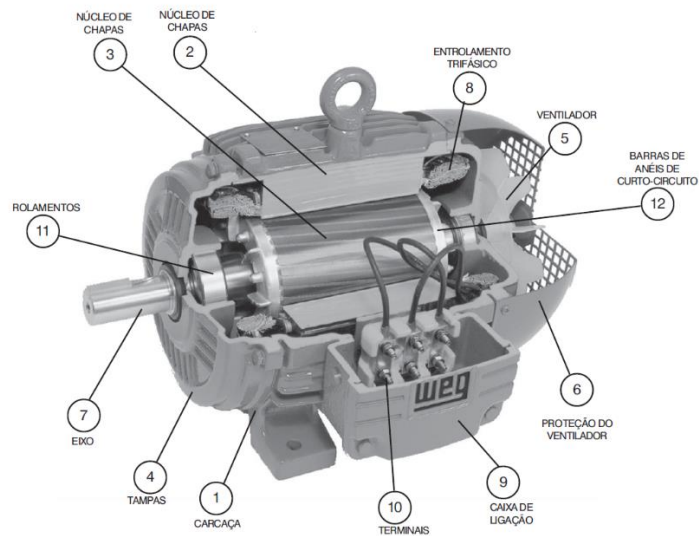
T = torque;

I_1 = corrente estatórica;

V_1 = tensão estatórica.

As indústrias utilizam com maior frequência o motor de indução do tipo gaiola trifásico conforme demonstrado na Figura 05.

Figura 05: Partes de um motor.



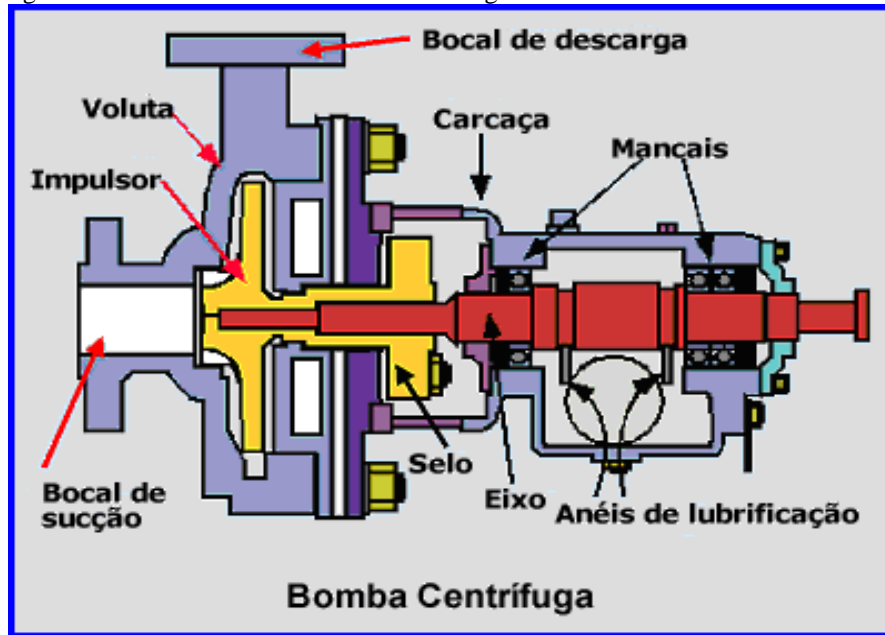
Fonte: Catálogo da WEG (2016).

Devido os dois anéis do rotor ser curto-circuitado pelas bobinas, tendo um formato de uma gaiola, é conhecido com gaiola de esquilo. O estator é composto por 3 bobinas (bobinado trifásico), com pares de polos em cada fase.

2.3 Bombas centrífugas

A finalidade das bombas são converter a energia cinética fornecida ao líquido, em energia pressurizada, ou seja, o fluido ao sair do impelidor passa em um condutor aumentado a energia de pressão em sua descarga, conforme a Figura 06.

Figura 06: Funcionamento da bomba centrífuga.



Fonte: Roberto e Santos (2014).

A finalidade da bomba centrífugas são classificadas de acordo com o tipo de rotor, demonstrado na Figura 07:

Figura 07: Rotores das bombas centrífugas.



Fonte: Roberto e Santos (2014).

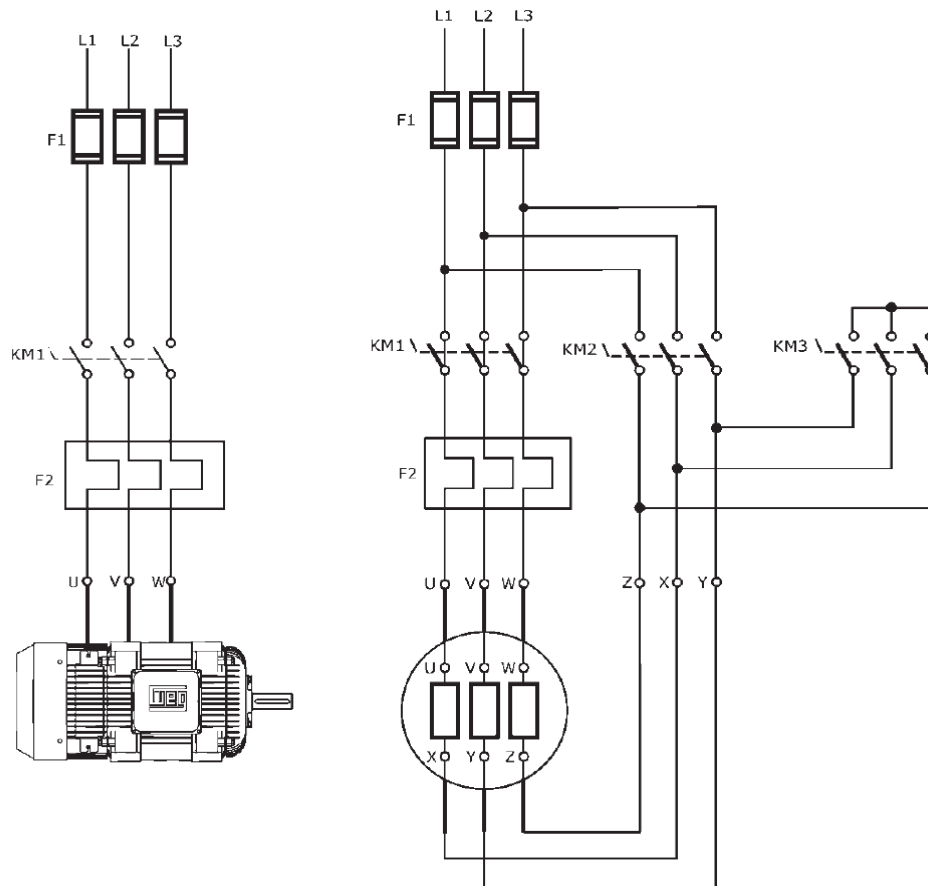
- a) Um rotor fechado é destinado para água limpa e apresentam maior rendimento;
- b) Rotor semi aberto é destinado para líquidos viscosos, água de esgoto;
- c) Rotor aberto utilizado para líquidos viscosos como pastas.

2.4 Tipos de partidas do motor

Partida direta é a mais simples de todas as partidas o motor é ligado diretamente à rede, com restrições a ser utilizadas pois a corrente de partida é até 6 vezes maior que a corrente nominal, em motores de grande pote a partida direta não se aplica.

Partida estrela triângulo é utilizado em motores que possuem ligação em dupla tensão (ex: 3x380V e 3x220V). A menor tensão deve ser igual a tensão da rede e a outra 1,73 vezes maior, implementa 2 contatores conforme a Figura 08. Na partida o motor é ligado com a conexão maior possibilitando uma redução de até 1/3 da corrente de partida do motor, podendo ser utilizada quando o torque resistente da carga não deverá ser superior ao torque do motor quando o motor estiver em estrela.

Figura 08: Diagrama de ligação direta e estrela triângulo.



Fonte: Catálogo da WEG (2016).

Partida eletrônica (*soft-starter*) a chave de partida a estado sólido consiste de um conjunto de pares de tiristores (SCR) ou combinações de tiristores/diodos, para cada fase do motor. O ângulo de disparo de cada par de tiristor é controlado eletronicamente para aplicar uma tensão variável no motor durante a aceleração, conhecida como partida suave (*soft-starter*).

A chave eletrônica não possui parte moles evitando a formação de arco elétrico, provocado por chaves eletromecânicas.

Quadro 02: Vantagens e desvantagens para os tipos de partidas.

| Tipos de Partidas | Vantagens | Desvantagens |
|-----------------------------------|--|--|
| Direta | <ul style="list-style-type: none"> - Menor custo de todas -Muito simples de implementação - Alto torque de partidas | <ul style="list-style-type: none"> - Alta corrente de partida, provocada queda de tensão na rede de alimentação, provocando interferência em equipamentos ligados na mesma instalação. - Necessário sobre dimensionamento cabos e contadores. - Limitação do número de manobras |
| Estrela-triângulo | <ul style="list-style-type: none"> - Custo reduzido - Corrente de partida é reduzida a 1/3 quando comparada com a partida direta - Não existe limitação do número de manobras/hora. | <ul style="list-style-type: none"> - Redução do torque de partida para 1/3 do nominal -São necessários motores com 6 bornes -Caso o motor não atinja 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo é equivalente - No caso do motor ficar distante da chave a utilização de 6 cabos para alimentar o motor. |
| Partida Eletrônica (Soft starter) | <ul style="list-style-type: none"> -Corrente de partida próximo da nominal. -Não há limite de manobras -Longa vida útil pois não existe partes eletromecânicas móveis -Torque de partida próximo do nominal -Pode ser empregada para desacelerar o motor. | <ul style="list-style-type: none"> -Custo inversamente proporcional a potência do motor. |

Fonte: Catalogo da WEG (2016).

Os motores elétricos são fabricados para operar com tensões e frequência fixa, devido a magnetização do motor ser resultante entre a tensão e a frequência. Se a tensão aumenta na relação entre tensão e frequência, o motor é sobre magnetizado e se diminui é sub magnetizado.

Quando um motor é submetido a uma sub magnetização o torque diminui, no caso da partida fica mais lenta ou não sai do regime permanente estacionário, levando a uma sobrecarga no motor e quando o motor é submetido a uma sobre magnetização é sobrecarregado durante a

operação, com a potência dessa magnetização extra é convertida em calor no motor e pode danificar a sua isolação. Um motor em trabalho indica sintomas de magnetização ruim, como diminuição de velocidade na variação de carga, instabilidade, vibração do motor, etc.

O motor trabalhando em sua faixa normal, a frequência do rotor é menor que a frequência do campo girante e a resistência do rotor é reduzida pelo escorregamento (*s-slip*), o escorregamento tenderá a zero quando o motor rodar a vazio aumentando a resistência do rotor, mas se o escorregamento aumenta diminui a resistência do rotor, ou seja, o escorregamento é inversamente proporcional a resistência do rotor.

2.4.1 Inversor de frequência

Um inversor de frequência é um dispositivo destinado ao controle e variação da velocidade de motores de indução trifásicos, para isso ele é capaz de gerar tensão e frequência trifásicas ajustáveis. Os inversores possibilitam um acionamento suave do motor evitando possíveis quebras, podendo ser usados como dispositivos de segurança para problemas da rede elétrica, como sobrecarga, quebra de tensão, entre outros. A função do inversor de frequência não se limita a controlar a velocidade de um motor, ele precisa também manter o torque constante para que não haja alteração na rotação.

A velocidade e o torque do motor são proporcionais as velocidades do campo girante, obtido pelas equações:

$$n = \frac{120 \cdot (1-s) \cdot f}{p} \quad (7)$$

$$T = K_1 \cdot \varphi_m \cdot I_1 \quad (8)$$

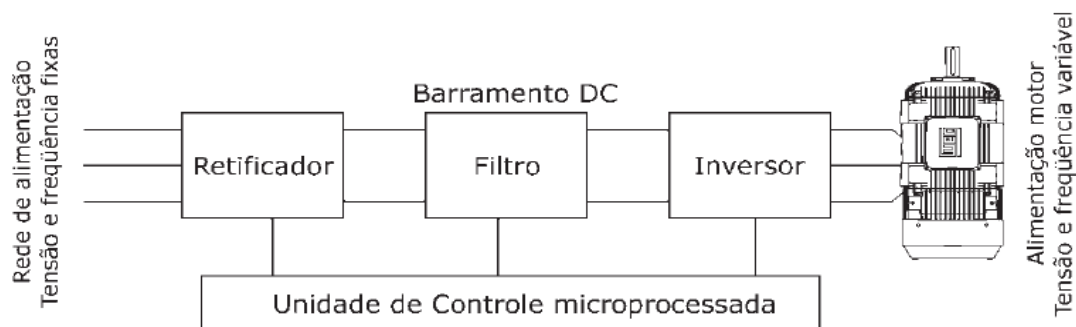
$$\varphi_m = \frac{K_2 \cdot V_1}{f_1} \quad (9)$$

A alimentação do motor com fonte de frequência variável é possível controlar a velocidade do motor sem maiores perdas, conforme visto a velocidade de giro é dependente da frequência e tensão, como a tensão é fixa ao alterar a frequência também oscila a tensão.

Os conversores de frequência estão passando por evoluções desde a década de 60, com o surgimento da tecnologia dos microprocessadores e semicondutores e a redução de seus

preços. Os inversores de frequências são divididos em quatro componentes, conforme a figura 09.

Figura 09: Diagrama de bloco de um inversor de frequência.



Fonte: Catálogo da WEG (2016).

2.4.1.1 Retificador

O retificador é conectado a fonte de alimentação externa resultando em tensão contínua pulsante. Os retificadores são divididos em três grupos:

- a) Retificadores não controlados são compostos de diodos que são componentes que permitem a passagem da corrente em apenas uma direção;
- b) Retificadores controlados são compostos por tiristores que são componentes que permitem a passagem da corrente em apenas uma direção, tendo um terceiro terminal *Gate (G)* este terminal recebe um sinal para liberar a passagem da corrente pelo tiristor;
- c) Retificadores semicontrolados são compostos por uma parte de diodos e outra de tiristores.

2.4.1.2 Filtro

Os Filtros podem ser ativos ou passivos que tem por finalidade de deixar passar somente a frequência desejada e rejeitar ou atenuar as outras.

Filtro passivo é composta por apenas componentes passivos (capacitores, indutores e resistores), onde o ganho será somente 1.

Filtro ativo é composto por componentes passivos e ativos (Transistores e amplificadores).

Existem quatro tipos de filtros:

- a) Passa baixa deixa passar as frequências baixas e rejeita as altas;
- b) Passa alta rejeita as frequências baixas e deixa passar as altas;

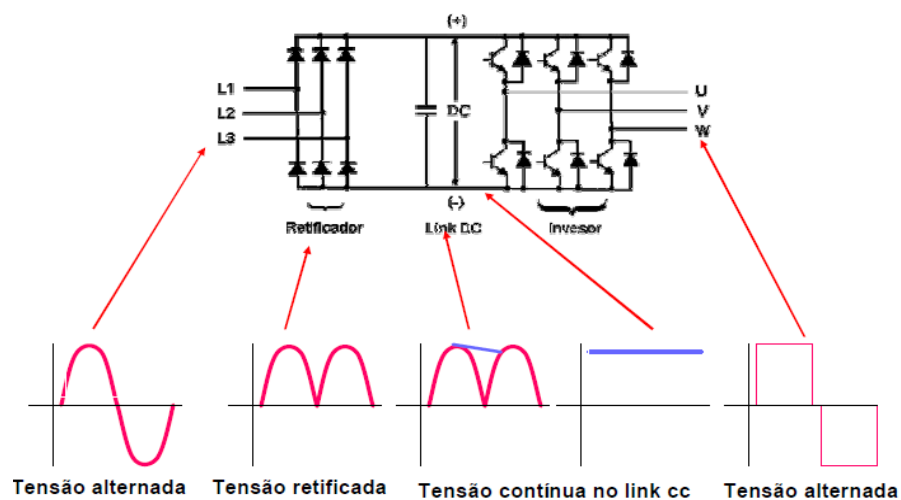
- c) Passa faixa rejeita as frequências alta e baixa deixa passar somente as intermediarias ou uma faixa desejada;
- d) Rejeita faixa deixa passar as frequências altas e baixas e rejeita uma determinada faixa desejada.

2.4.1.3 Inversor

O inversor é a última conexão antes do motor e o ponto onde ocorre a saída da tensão, e o circuito intermediário do inversor pode receber três tipos diferentes de combinações uma corrente contínua variável, uma tensão contínua variável ou uma tensão contínua constante. Em qualquer combinação de entrada o inversor garante uma saída variável. Se a corrente ou a tensão são variáveis, o inversor gera a frequência e se a tensão é constante o inversor gera a tensão e a frequência.

Em qualquer inversor a estrutura básica, conforme a Figura 10, são as mesmas são compostos de semicondutores controláveis, no caso do trifásico colocado em três ramos, os mais usados na atualidade são os tiristores, que estão sendo substituídos pelos transistores que podem ser chaveados com respostas mais rápida.

Figura 10: Funcionamento de um inversor de frequência.



Fonte: Tsutiya (2006).

De acordo com a WEG (2016) o controle do inversor é dividido em escalar e vetorial:

- a) O controle escalar impõe uma determinada tensão/frequência, com características precisão da velocidade do motor em função do escorregamento, que variam em função da carga;

- b) O controle vetorial atinge um elevado grau de precisão e rapidez no controle tanto do torque quanto da velocidade do motor. O nome vetorial surge da composição vetorial da corrente do motor nos vetores que representam o torque e o fluxo no motor, possibilitando a regulação do torque e do fluxo. O controle vetorial normal necessita de sensor de velocidade o que monitora a velocidade do motor tendendo a maior precisão mesmo em velocidade nula e o controle vetorial sem sensor de velocidade a precisão fica próxima do controle de velocidade normal, limitando-se somente a baixas rotações e velocidade nula.

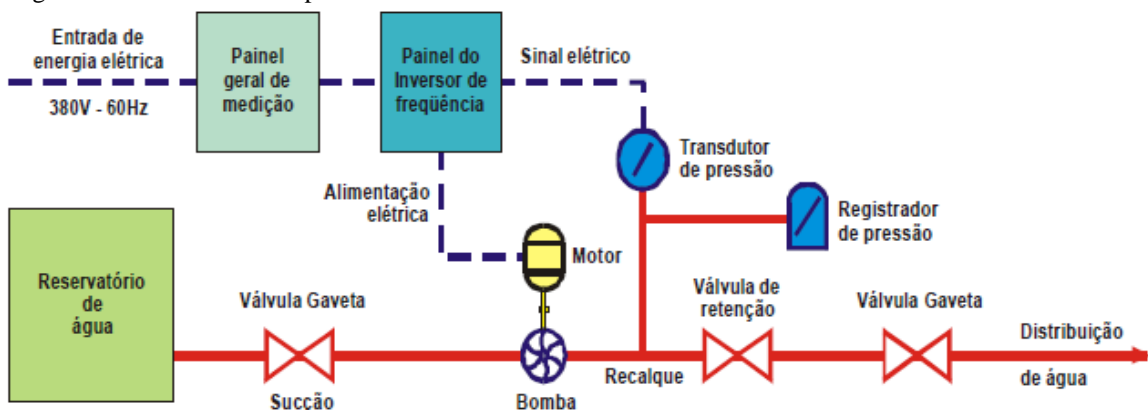
2.4.1.4 Unidade de controle microprocessada

De acordo com a comissão internacional de Eletrotécnica (IEC, 1993) Controlador Lógico programável é definido como:

Sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas suas funções prevista.

Conforme a Figura 11 o princípio de funcionamento do controle do sistema é simples, uma entrada de energia com medidor, o controlador (inversor de frequência), um sensor (Transdutor de pressão) que envia um sinal para o controlador, atuador (motor bomba).

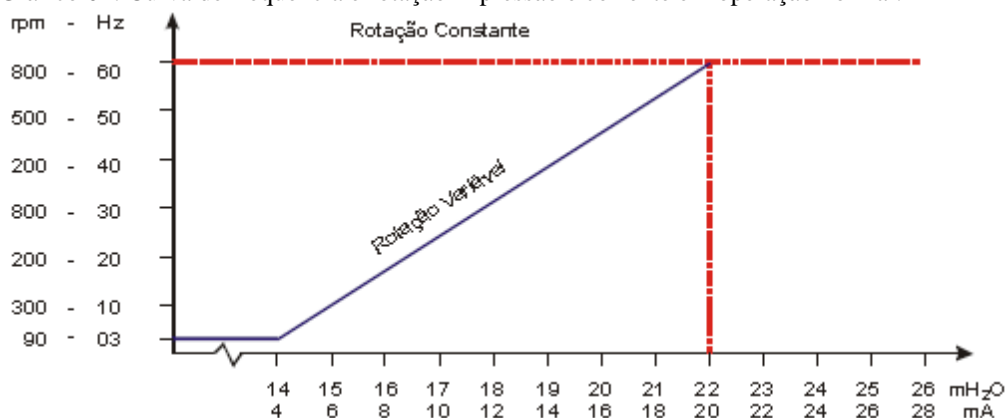
Figura 11: Uso do inversor para abastecimento de zona alta da cidade.



Fonte: Tsutiya (2006).

A estação elevatória de Lins, interior de São Paulo, é um exemplo de sistema de abastecimento. Em um sistema com rotação constante a velocidade da bomba, frequência, pressão e amperagem permanecem constantes, até o surgimento de um distúrbio, de acordo com a Gráfico 05, enquanto que em rotação variável a rotação, frequência, pressão e amperagem são variáveis de acordo com os distúrbios surgidos. O Gráfico 01 demonstra a rotação e frequência pela vazão e corrente.

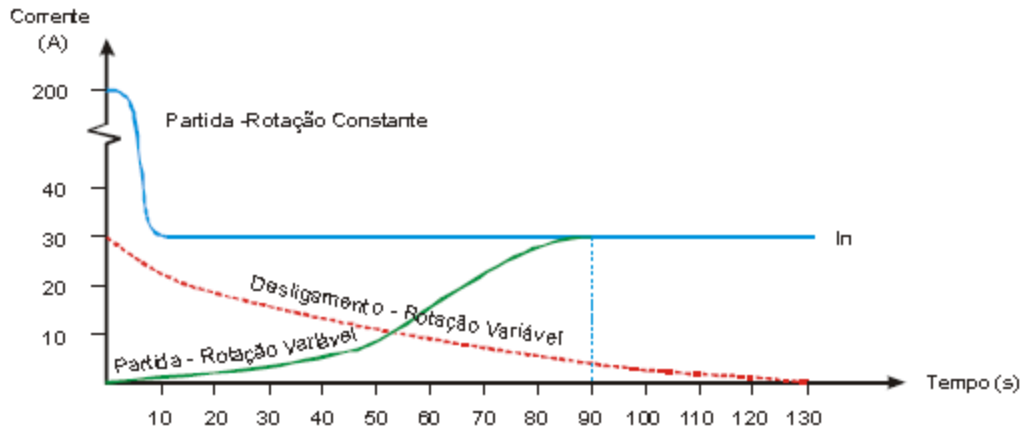
Gráfico 01: Curva de frequência e rotação X pressão e corrente em operação normal.



Fonte: Tsutiya (2006).

Um sistema com rotação variável com uso do inversor funciona praticamente 24 horas, gerando poucas partidas e desligamento do motor, mas o sistema com rotação constante toda vez que o nível do reservatório fica baixo ele parte e quando o nível for alto ele desliga tendo uma variação de 18 horas diária. O resultado de liga e desliga do motor tem causado muitas harmônicas na rede das concessionárias, onde as empresas têm sido penalizadas com multas. A corrente de partida no sistema sem inversor chega a ser aproximadamente sete vezes a corrente nominal estabilizando em aproximadamente dez segundos após ligar a chave e o desligamento com a rede é instantâneo ocasionando um distúrbio na rede pela saída de uma carga alta instantaneamente, com rotação variável embora tenha poucas partidas a corrente aumenta gradativamente levando aproximadamente um minuto e meio para chegar a corrente nominal e quando desligado a corrente diminui gradativamente, em aproximadamente dois minutos para zerar, o que tem diminuído os distúrbios da rede, conforme observado na Gráfico 02.

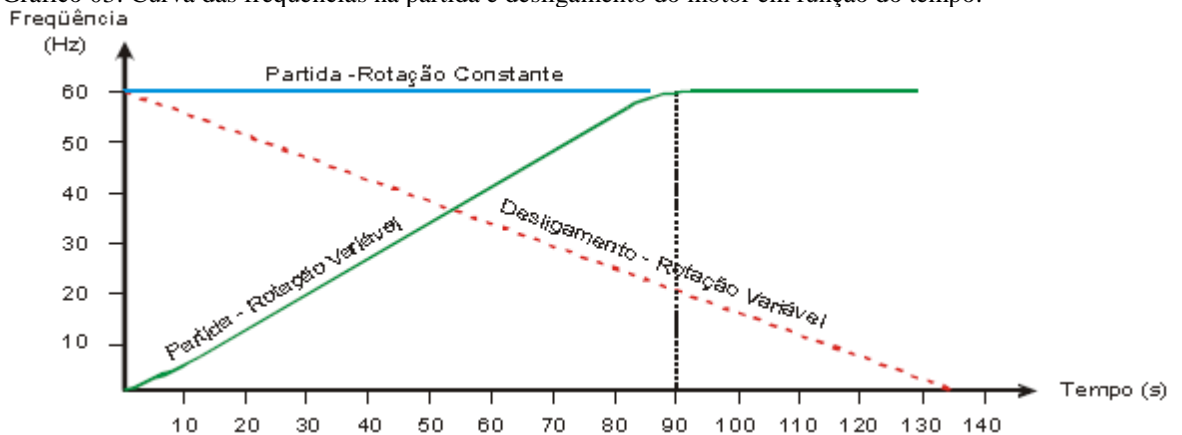
Gráfico 02: Curva de corrente na partida e desligamento do motor em função do tempo.



Fonte: Tsutiya (2006).

Conforme a Gráfico 03, o sistema com rotação constante a frequência é constante na partida e no desligamento, com rotação variável a frequência altera com o tempo até chegar a frequência máxima ou mínima.

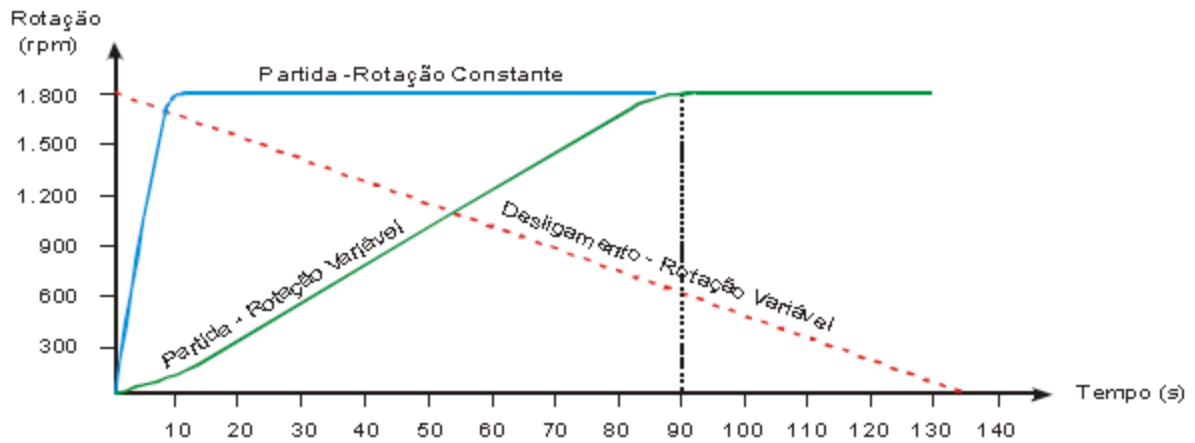
Gráfico 03: Curva das frequências na partida e desligamento do motor em função do tempo.



Fonte: Tsutiya (2006).

A rotação do motor é um fator importante pois a pressão, altura manométrica e vazão dependem diretamente da velocidade de rotação do motor. No caso da rotação constante a tubulação recebe uma pressão alta quase que instantânea ocasionando o seu rompimento imediato e quando desligado para instantaneamente, o que não aproveita a inercia do motor para economia de energia. No outro caso, a rotação aumenta e diminui em função do tempo aproveitando a inercia do motor e não ocasionando pressão instantânea nas tubulações preservando as mesmas conforme a Gráfico 04.

Gráfico 04: Curvas de rotação na partida e desligamento do motor em função do tempo.



O Quadro 03 demonstra os resultados comparativos entre um sistema com e sem inversor de frequência.

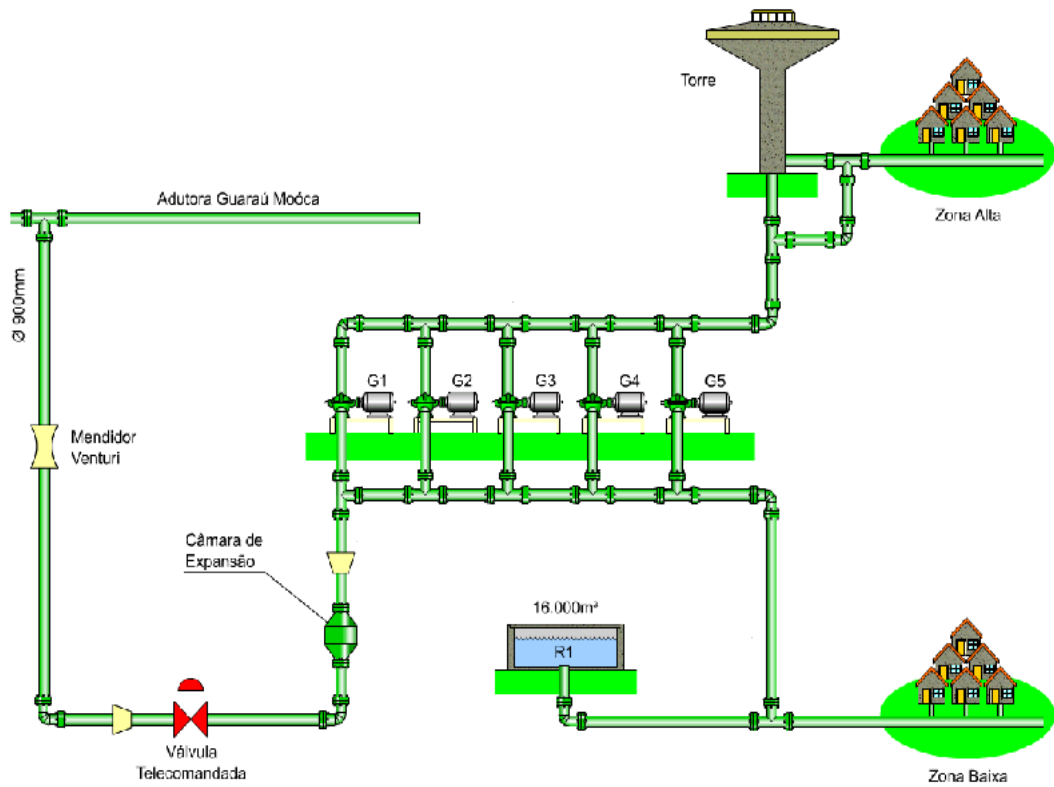
Quadro 03: Comparação entre conjunto motor-bomba de rotação constante e rotação variável.

| Descrição | | Rotação | |
|---|--------|-----------|----------|
| | | Constante | Variável |
| Pressão de recalque (m H_2O) | Mínima | 15 | 19 |
| | Máxima | 33 | 21 |
| Frequência do motor (Hz) | Mínima | 60 | 38 |
| | Máxima | 60 | 53 |
| Corrente no motor (A) | Mínima | 29 | 10 |
| | Máxima | 31 | 24 |
| Potência (KW) | Mínima | 15 | 5 |
| | Media | 15,3 | 7,1 |
| | Máxima | 16 | 14 |
| Tempo médio diário (h) | | 18 | 24 |
| Consumo médio mensal de energia ativa (KWh) | | 8.262 | 5.148 |

Fonte: Tsutiya (2006).

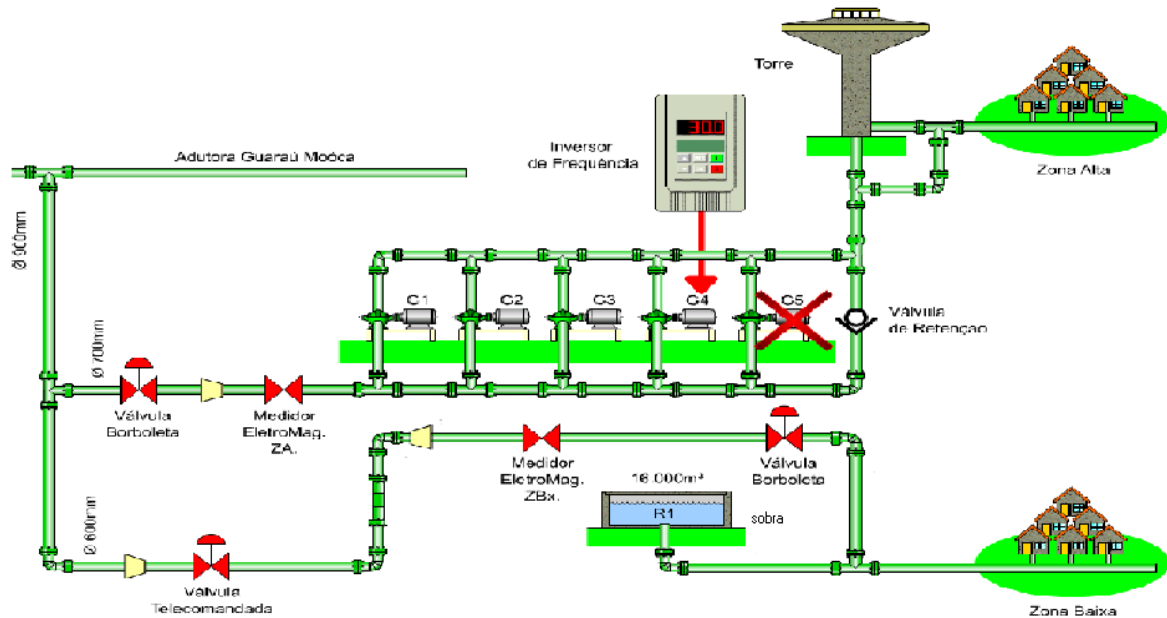
Outro exemplo de aplicação de inversor de frequência é a estação elevatória de Santana localizado na região metropolitana de São de Paulo. Conforme a figura 12 que retrata o sistema antigo e a figura 13 retrata um projeto já modificado.

Figura 12: Estação elevatória de água de Santana – RMSP- Projeto original.



Fonte: Tsutiya (2006).

Figura 13: Estação elevatória de água de Santana – RMSP- Projeto modificado.



Fonte: Tsutiya (2006).

Quadro 04: Comparativo do projeto original com o modificado.

| | Antes | Depois |
|--|-------|--------|
|--|-------|--------|

| | | |
|---------------------------|--|--|
| Painéis | 5 painéis de partida compensadas | 01 Comando de bomba 03 Soft starter 01 conversor de frequência |
| Motobomba | 2x200 cv +3x 100cv (1 reserva) | 4x100 cv (1 reserva) |
| Contrato A4_THS AZUL | Demanda Ponta: 480 KW F. Ponta: 500 KW | Demanda Ponta: 180 KW F. Ponta: 270 KW |
| Consumo médio mensal | 236 MWh | 107 MWh (redução de 129 MWh) |
| Gasto médio Mensal | R\$ 56.600,00 | R\$ 28.000,00 (Redução de R\$ 28.600,00) |
| Pressão | | Redução de pressão |
| Perdas de água | | Redução das perdas de água |
| Redução do volume de água | | 487.180 m ³ /mês – R\$146.154,00/mês |

Fonte: Tsutiya (2006).

O Quadro 04 demonstra diminuição da potência em 42,8%, diminuição da demanda em horário de ponta em 62,5%, fora de ponta em 46%, redução com gastos mensais de 50,5%, redução do volume de água em 487180 m³/mês.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um sistema de bombeamento tem suas particularidades que devem ser levadas em consideração como a demanda a ser atendida, altura manométrica da instalação da bomba até onde se deseja bombear, através destas informações se começa a avaliar qual o melhor sistema a ser implantado, se opta por reservatório de distribuição por gravidade ou por bombeamento direto, visto que diferente da energia elétrica as residências possuem reservatórios para armazenamento de água que não interferiria nas atividades dos consumidores, caso a vazão for abaixo da necessária em horários de pico. Se a altura manométrica for muito elevada, divide a altura em partes diminuindo a pressão nas tubulações, pois altas pressões ocasiona os rompimentos que sempre vem acompanhado de manutenção corretiva, falta de fornecimento, desperdício de água e obstrução das ruas devido ao sistema ser instalado subterrâneo nas mesmas. Após a escolha do tipo de sistema, a projeção pela bomba com melhor grau de eficiência.

Para dimensionar o motor da bomba deve levar em consideração a vazão necessária, que é obtido pela demanda a ser atendida, a altura manométrica, a pressão desejada para atender os consumidores dentro das especificações exigidas. Mas todas estas variáveis dependem diretamente da velocidade da bomba de acordo com a eficiência especificada pelo fabricante da bomba.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (3)$$

Conforme demonstrado pelas equações a velocidade é o fator que interfere diretamente nos parâmetros desejados, ou seja, se variarmos a velocidade variamos também a vazão, altura manométrica e potência. Se fizermos um controle de pressão para definir como constante de acordo com o projeto para atender uma altura manométrica, só restará a vazão como variável. Para variar a velocidade do motor bomba necessita da instalação de um dispositivo que na atualidade o mais usual é o inversor de frequência.

Através da equação de Bernoulli é possível comprovar que a velocidade está presente na pressão que a tubulação recebe.

$$P_1 + p \cdot g \cdot H_1 + \frac{p \cdot v_1^2}{2} = P_2 + p \cdot g \cdot H_2 + \frac{p \cdot v_2^2}{2} \quad (4)$$

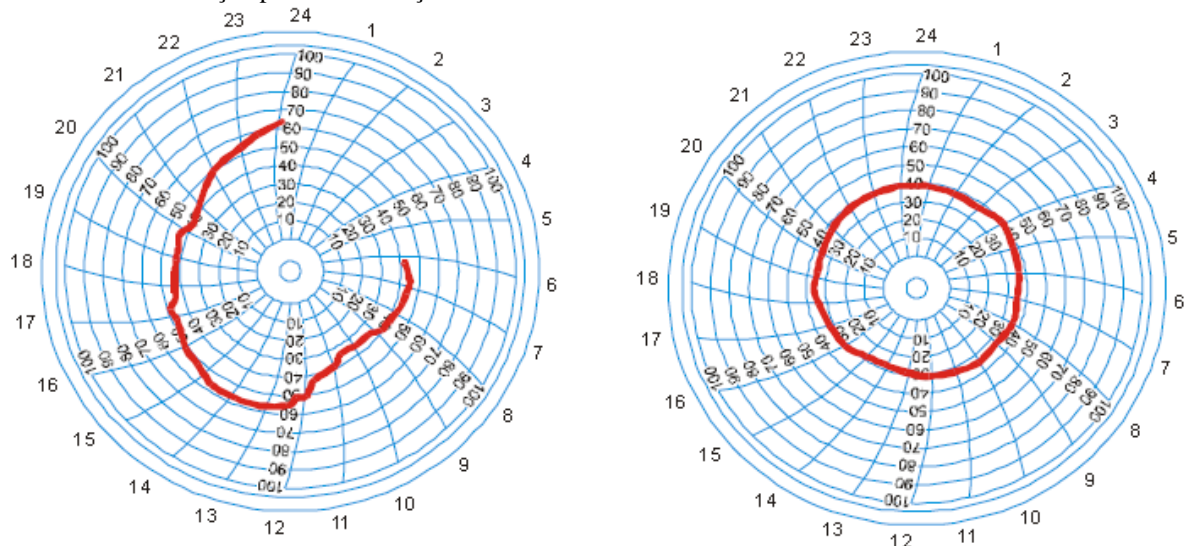
Para uma pressão constante na equação de Bernoulli iguala-se a equação a uma constante:

$$P_1 + p \cdot g \cdot H_1 + \frac{p \cdot v_1^2}{2} = \text{constante}$$

Portanto a pressão se divide em duas partes estática ($P_1 + p \cdot g \cdot H_1$), pois está relacionado com a pressão do fluido em um determinado ponto e a dinâmica ($\frac{p \cdot v_1^2}{2}$), está relacionada com a velocidade da bomba.

A vazão e a pressão são variáveis que estão interligadas inversamente, em relação a tubulação a ser observada de acordo que a vazão aumenta a pressão diminui na tubulação. Exemplificando, um consumidor que está com a torneira fechada, quando abre a torneira alivia a tubulação da pressão que estava sendo exercida sobre ela e a vazão que era zero passa a ter um valor maior que zero. Portanto, monitorando e ajustando a pressão obterá uma vazão e altura manométrica necessária para o sistema funcionar de acordo com o desejado, demonstrado no Gráfico 05.

Gráfico 05: Variação pressão X rotação constante e variável.



Fonte: Tsutiya (2006).

Analisando a estação elevatória de Santana localizado na região metropolitana de São de Paulo que por meio dos estudos levantados foi a base para outros sistemas em

funcionamento. Conforme a figura 12 que retrata o sistema antigo e a figura 13 retrata um projeto já modificado. A equação 10 foi usada para calcular a potência ativa

$$P = P_a / \cos\phi \quad (10)$$

Onde:

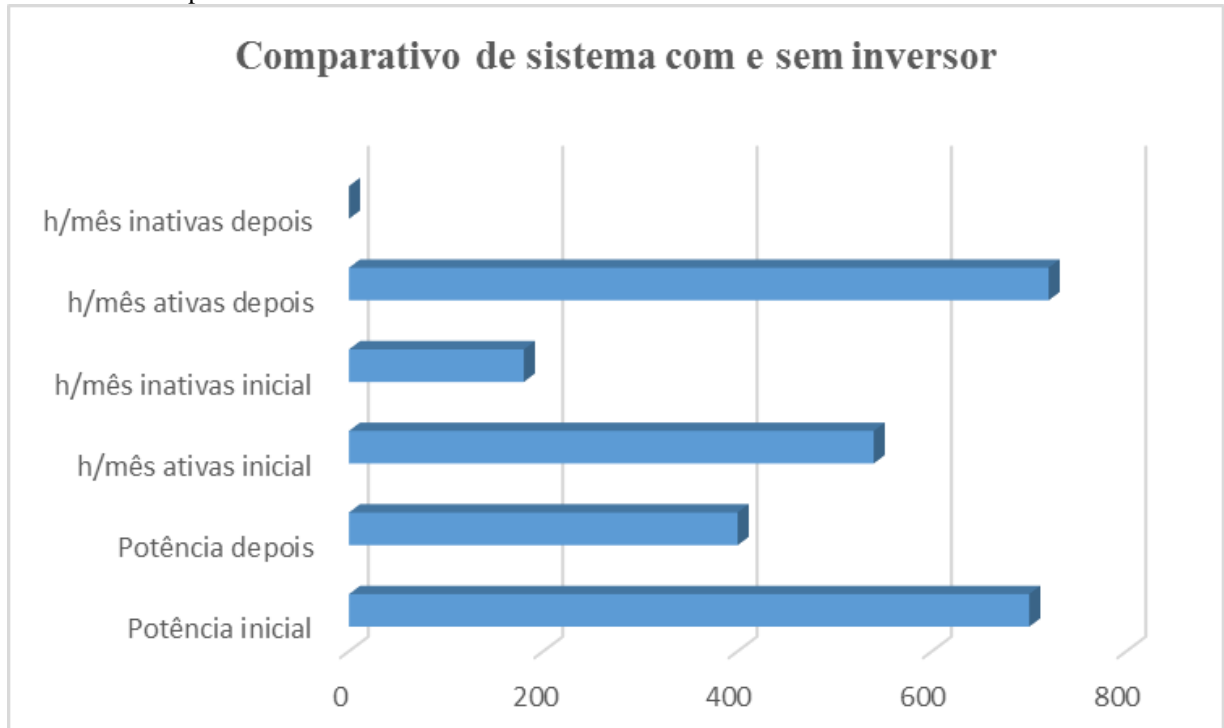
P = Potência ativa (*watts*)

P_a = Potência aparente (*KVA*)

$\cos\phi$ = Fator de potência.

A quantidade de equipamentos para a estação elevadora de Santana, pela análise da potência total diária vezes o fator de potência, conforme Quadro 03 é de 18 horas vezes 600 *cv* (cavalo vapor) que equivale a 10800*cv* por dia, convertendo para *kVA* (*Quilovolt ampere*) resulta em 7948,8 *kVA*, aplicando a equação 10, com o fator de potência do motor de 0,85 aproximadamente, que é igual a 6756,48 *KWatts* por dia e com o inversor o fator de potência é de aproximadamente 0,98 reduzindo para 5878,14 *KWatts* por dia, diferença de 13% com relação a correção do fator de potência melhorado, que seria necessário 522 *cv* para o sistema. Um motor com inversor funciona 24 horas por dia e sem o inversor funciona 18 horas, demonstra um tempo ocioso de 25% funcionamento de motor, reduzindo para 372 *cv*. Números elevados de partidas devido ao nível do reservatório oscilar com tempo, quando atinge o nível desejado desliga o motor e quando o nível está abaixo do mínimo desejado aciona o motor, como as partidas são estrela-triângulo a corrente chega a aproximadamente 7 vezes a corrente nominal e o torque é 3 vezes menor que o nominal. Com a potência reduzida de 700 *cv* para 400 *cv*, já se nota uma economia de energia de aproximadamente 38%. Comparativo do sistema com e sem inversor das horas de trabalho por mês e as potências instaladas, conforme o Gráfico 06.

Gráfico 06: Comparativo de sistema com e sem inversor.



Fonte: O autor.

A função do inversor de frequência não se limita a controlar a velocidade de um motor, ele precisa também manter o torque constante para que não haja alteração na rotação. A velocidade e o torque do motor são proporcionais as velocidades do campo girante, obtido pelas equações:

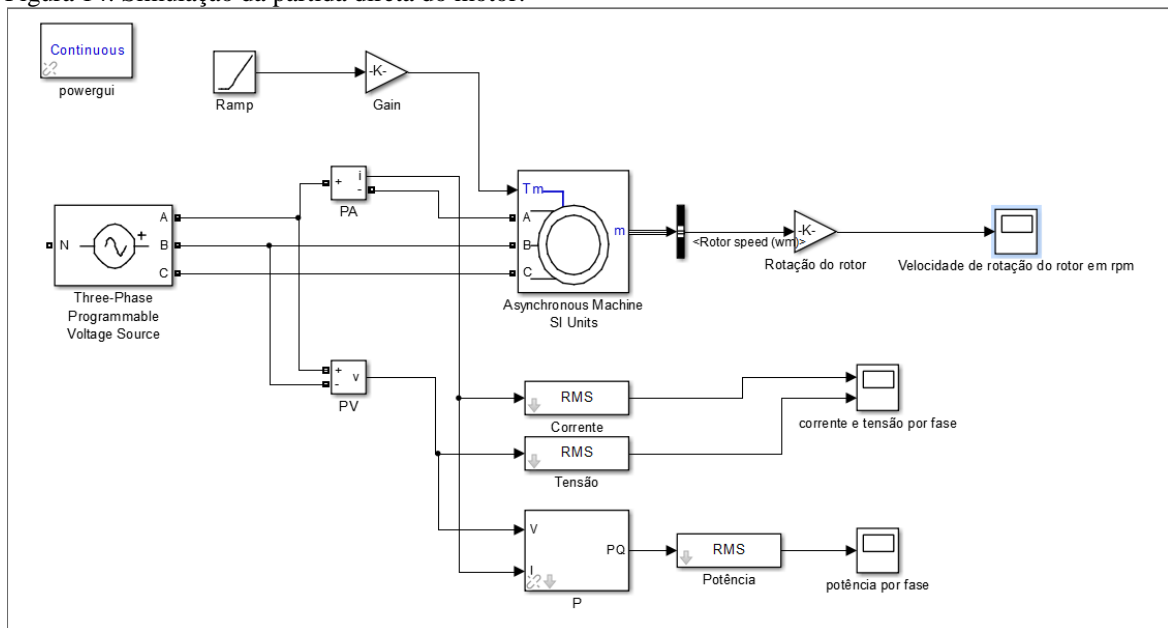
$$n = \frac{120 \cdot (1-s) \cdot f}{p} \quad (6)$$

$$T = K_1 \cdot \varphi_m \cdot I_1 \quad (7)$$

$$\varphi_m = \frac{K_2 \cdot V_1}{f_1} \quad (8)$$

Simulação com *software* MATLAB comparando a partida de um motor com e sem inversor de frequência.

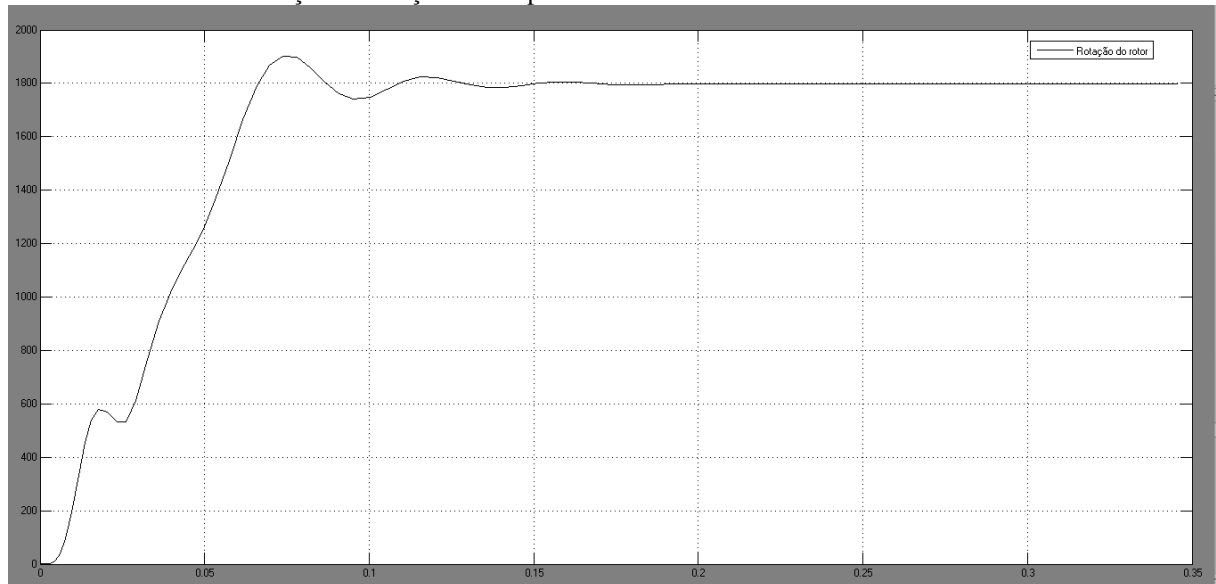
Figura 14: Simulação da partida direta do motor.



Fonte: O autor.

A Figura 14 demonstra um motor de 5CV (Cavalo Vapor) ligado diretamente em um sistema trifásico de 460V onde será possível analisar o comportamento da velocidade, corrente, tensão e potência em um tempo de 0,35 segundo.

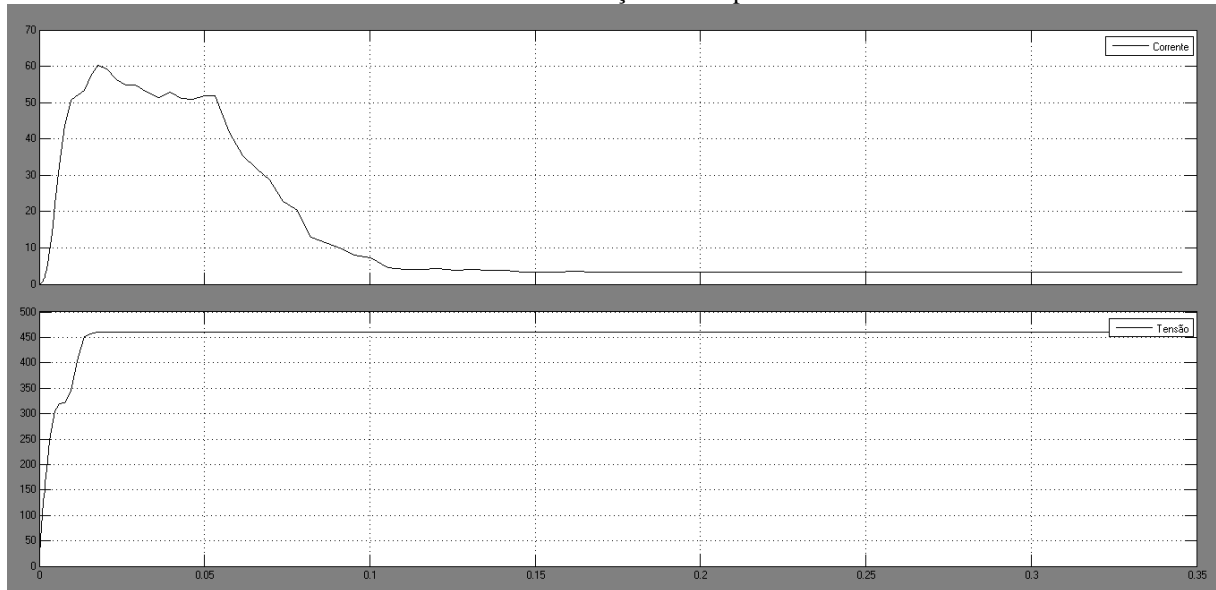
Gráfico 07: Curvas de rotação em função do tempo.



Fonte: O autor.

Pela análise do Gráfico 7, pode-se concluir que a velocidade ultrapassa a velocidade nominal de funcionamento do motor em um tempo 0,02s, oscilando e retornando a velocidade nominal até o motor ser desligado.

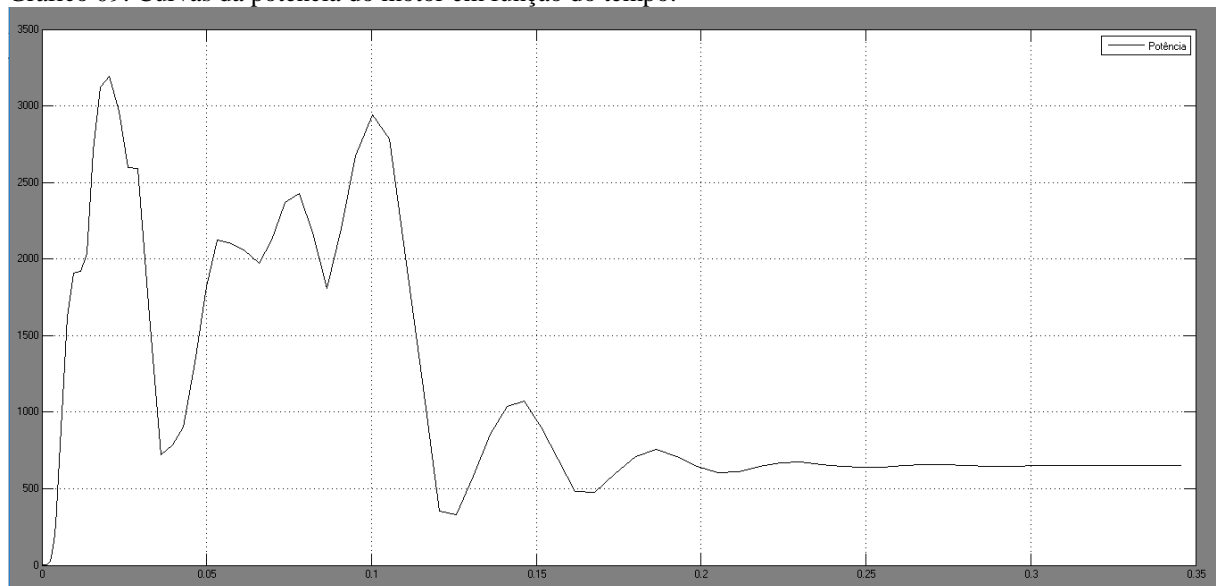
Gráfico 08: Curvas da corrente e tensão do motor em função do tempo.



Fonte: O autor.

De acordo com o Gráfico 08 a corrente por fase na partida chega a ser até 12 vezes a nominal, tendo uma oscilada no tempo de 0,02, continua subindo até 0,03 onde atinge o pico da corrente e começa a decair lentamente até o tempo de 0,06 e depois decai um pouco mais rápido alcançando a a corrente nominal em um tempo de 0,11s. A tensão sobe rapidamente tendo uma oscilada em um tempo de 0,01 com tensão de 320V e continua a subir ate chega a tensão nominal de 460V em um tempo de 0,02s.

Gráfico 09: Curvas da potência do motor em função do tempo.

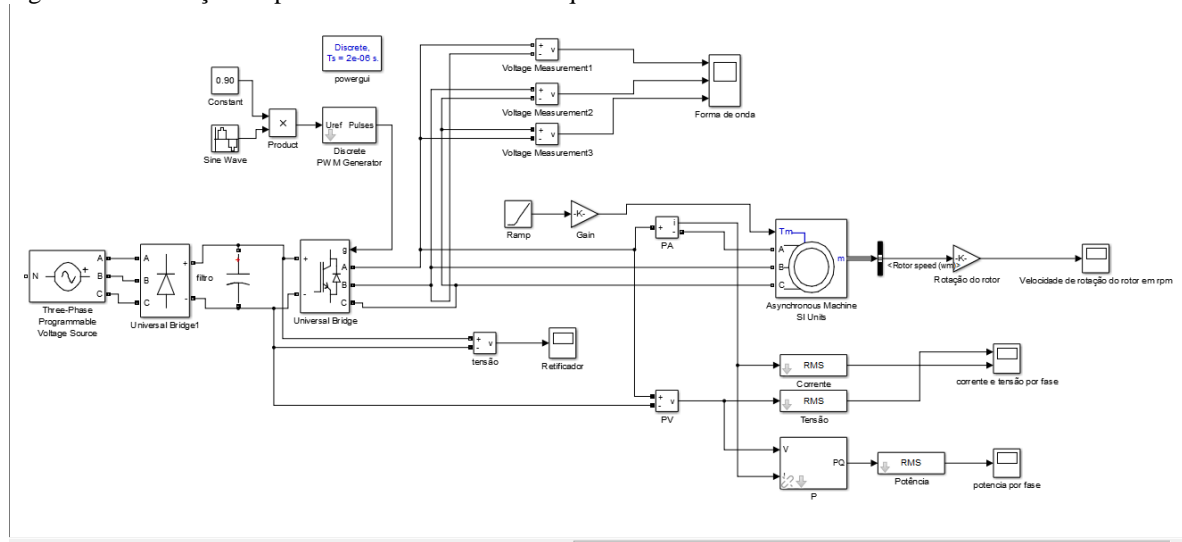


Fonte: O autor.

O Gráfico 09 demonstra que a potência por fase é instável devido à instabilidade da corrente e tensão na partida do motor.

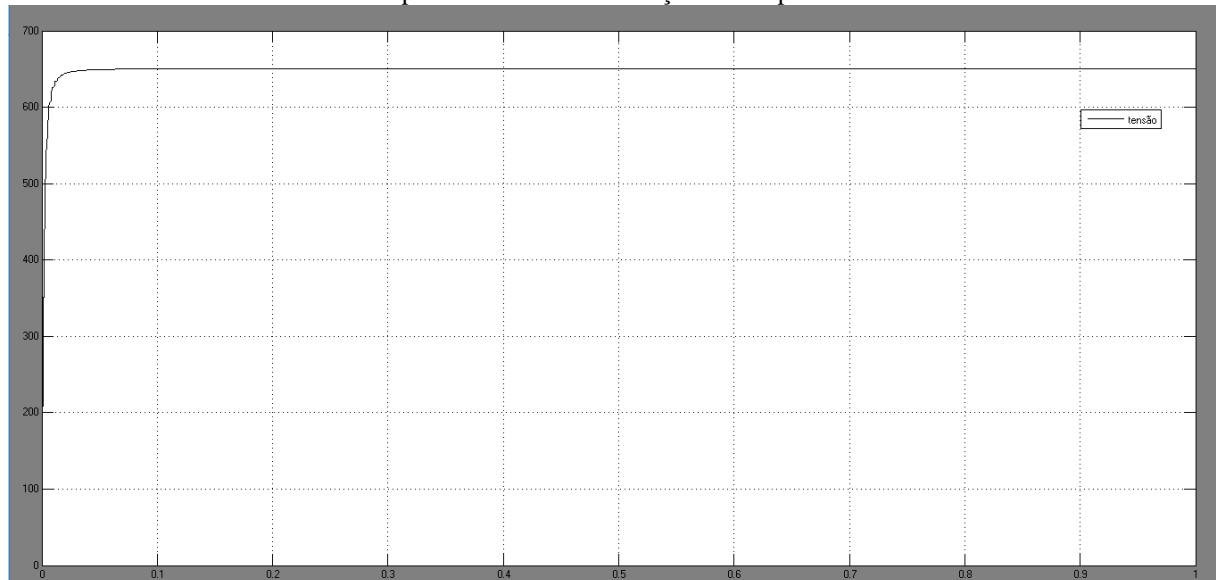
A Figura 15 demonstra um motor de 5CV (Cavalo Vapor) ligado a um inversor de frequência que esta conectado um sistema trifásico de 460V onde será possível analisar o comportamento do retificador, forma de onda, velocidade, corrente, tensão e potência em um tempo de 0,35 segundo.

Figura 15: Simulação da partida com inversor de frequência.



Fonte: O autor.

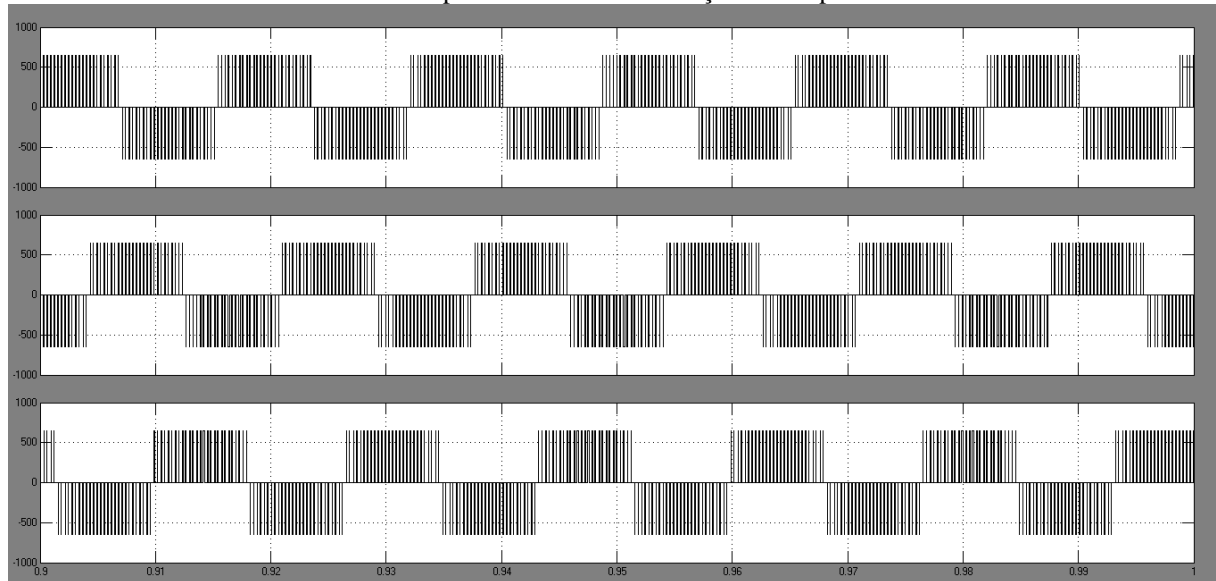
Gráfico 10: Curvas do retificador na partida do motor em função do tempo.



Fonte: O autor.

O Gráfico 10 aponta que o retificado entra em operação após um tempo de 0,02s, motivo pelo qual está sempre energizado e o capacitor que funciona como filtro carregado para evitar oscilações no inversor.

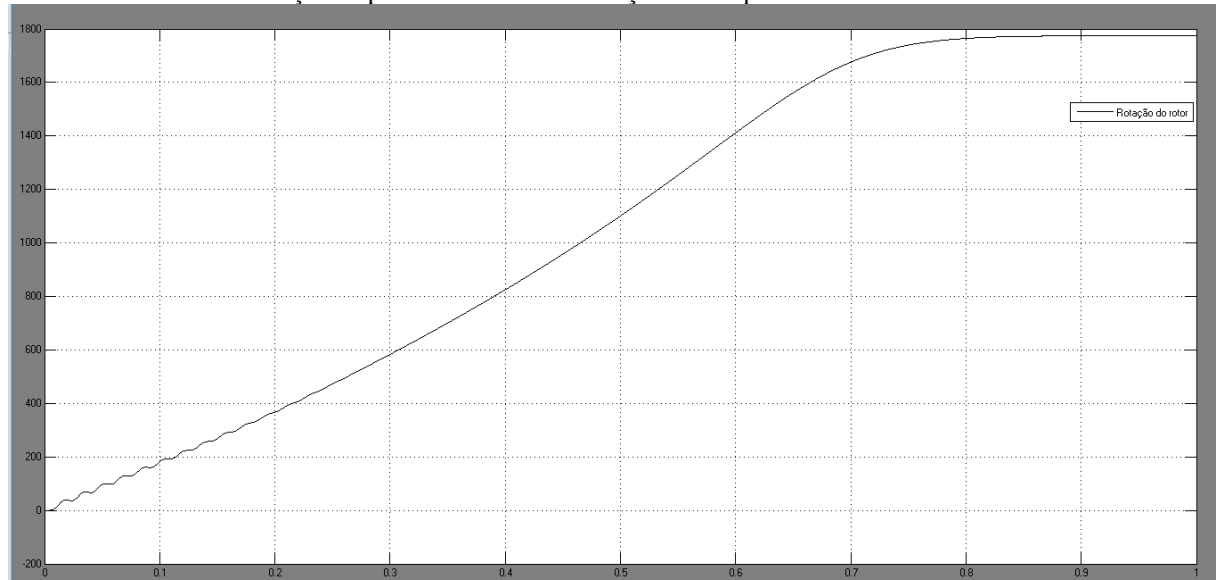
Gráfico 11: Curvas da forma de onda na partida do motor em função do tempo.



Fonte: O autor.

O Gráfico 11 demonstra a forma de onda quadrada, mas já existe no mercado inversores com ondas senoidal com o objetivo de colocar o geradores de energia elétrica em fase com as redes da concessionárias.

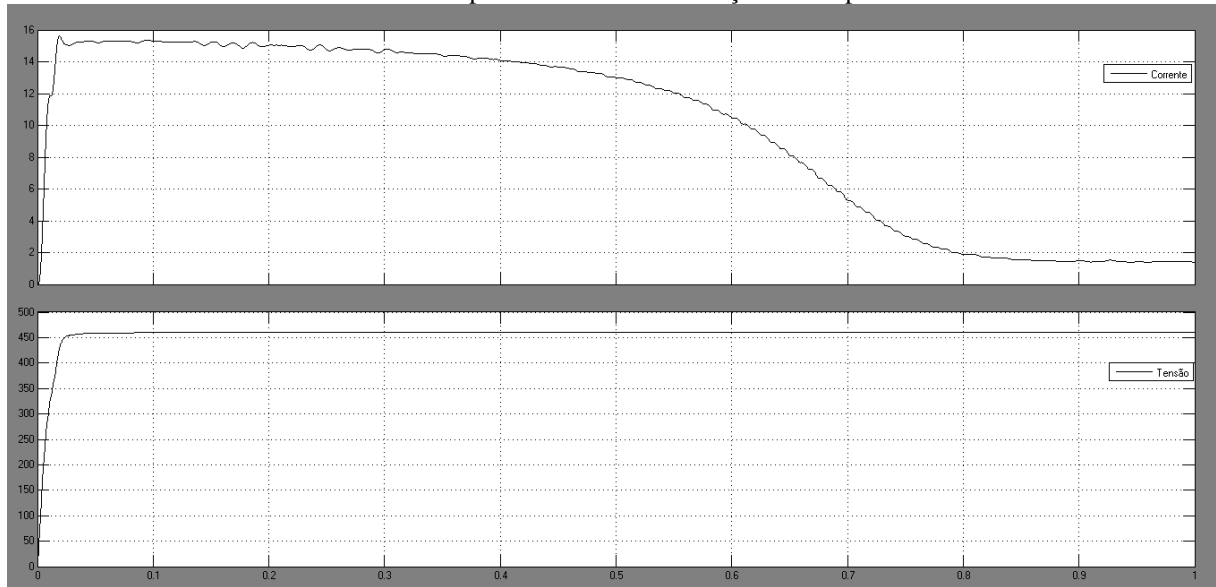
Gráfico 12: Curvas de rotação na partida do motor em função do tempo.



Fonte: O autor.

O Gráfico 12 demonstra que a velocidade aumenta suavemente chegando a velocidade nominal em 0,85s e não ultrapassa a velocidade nominal evitando sobre pressão nas redes adutoras.

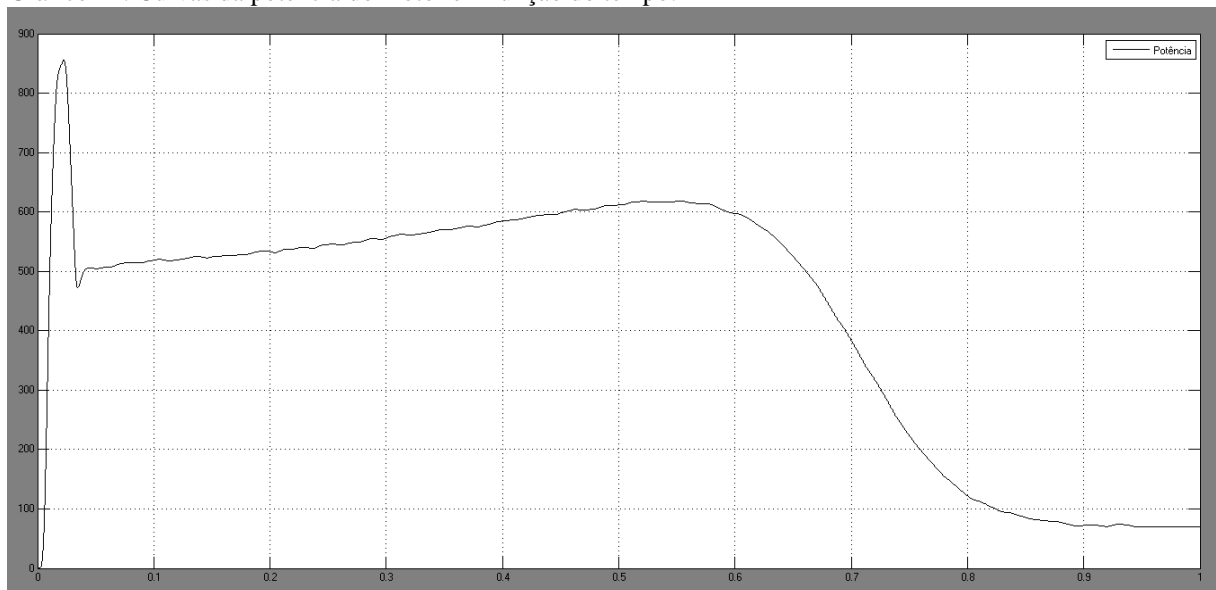
Gráfico 13: Curvas da corrente e tensão na partida do motor em função do tempo.



Fonte: O autor.

O Gráfico 13 verifica-se que a tensão chega a nominal em 0,012s e continua constante. A corrente chega ao pico de 4 vezes a nominal em 0,012s e começa a descer lentamente até chegar a nominal em 0,85s permanecendo constante.

Gráfico 14: Curvas da potência do motor em função do tempo.



Fonte: O autor.

O Gráfico 14 demonstra a oscilação da potência em função do tempo, quando o tempo está em 0,12s tem um pico de potência 850KVA, no tempo de 0,14s desce para 500KVA que aumenta lentamente até chegar em 620KVA e depois desce em rampa até atingir 80KVA com 0,9s estabilizando.

4 CONCLUSÃO

De acordo com o Gráfico 07, a velocidade na partida do motor bomba ultrapassa a nominal antes de estabilizar gerando sobre pressão na tubulação por um espaço curto de tempo que possivelmente irá se romper gerando desperdício, manutenção corretiva e transtornos população devido falta de abastecimento. Outro fator é que quando não tem rotação variável o sistema funciona com sensores de nível alto e baixo, em nível baixo aciona o motor bomba e em nível alto desliga, e para evitar que o número de partidas seja elevado aumenta a variação entre os níveis, como o nível baixo já está no limite aumenta o nível alto, mesmo com um range alto o número de partidas diárias continua elevado. A altura manométrica aumenta de acordo com o nível do fluido no reservatório, por consequência aumenta a pressão na tubulação.

De acordo com o Gráfico 12 com o inversor de frequência as partidas ficam suaves sem trancos nas tubulações, com a variação de velocidade é possível manter uma pressão constante na tubulação sendo possível a implantação de bombeamento direto para as unidades consumidoras e serie com os reservatórios e reduzindo as partidas diárias para quase zero.

A corrente de partida do motor sem inversor e de aproximadamente 70% maior que a corrente com partida com inversor de frequência, ocasionando um pico na rede de alimentação do sistema e abaixando a tensão da rede, de acordo com o Gráfico 08, e com o uso do inversor a corrente do motor é de aproximadamente 5 vezes a corrente nominal e abaixa gradativamente, conforme o Gráfico 13, a tensão aumenta proporcionalmente de acordo com a tensão, mas levando em consideração que existem vários tipos de inversor e que o software de simulação não atingiu o driver mais atualizado existente no mercado, os valores podem ser melhorados demonstrados nas referências anteriores.

O Gráfico 09 demonstra uma potência oscilatória no motor sem inversor com pico de potência que ultrapassa 75% a potência consumida nominal, enquanto que no gráfico 14 a potência tem um pico depois estabiliza gradativamente.

A grande preocupação é com a herança que iremos deixar para nossa futura geração. É preciso fazer mais utilizando menos recursos naturais, pois estes estão se tornando cada vez mais escassos, e serão insuficientes se continuarmos a utilizar da maneira atual. Resultado deste impacto de população crescente, tem aumentado a procura por produtos com maior eficiência energética a curto e médio prazo, o que tem proporcionado um grande avanço tecnológico para otimização de produtos que atenda de forma eficiente a falta de recursos naturais.

Pelas pesquisas a implantação do inversor de frequência obtém-se muitas vantagens como: a economia de energia, evitar excesso de pressão na tubulação, eliminar o pico de

corrente na partida do motor, reduz a manutenção dos equipamentos, aumenta a segurança do sistema, permite a automatização, monitoramento por acesso remoto, evitar o desperdício de água, etc.

E neste cenário os inversores de frequência tem atendido as expectativas dos sistemas de abastecimentos otimizando cada vez mais os sistemas, com tecnologias inovadoras que permitem a integração dos sistemas atuais com novas tecnologias para melhor eficiência energética no aproveitamento dos recursos naturais e assim evitará desperdícios por vazamentos, uso desnecessário de equipamentos que funciona por um tempo ocioso e através do uso eficiente da energia elétrica.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Nilo Ferreira. **Estimativas de consumo de energia de unidades de bombeamento operando com e sem inversor de frequência.** UFLA, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4691/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_M%C3%A9tos%20de%20estimativa%20da%20pot%C3%Aancia%20ativa%20em%20unidades%20de%20bombeamento%20operando%20com%20e%20sem%20inversor%20de%20frequ%C3%Aancia.pdf>. Acesso em: 01 de maio 2016.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior. Portaria nº455, de 01 de dezembro de 2010. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial-Inmetro. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001633.pdf>>. Acesso em: 10 Maio de 2016.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas, 15ª ed.** Rio de Janeiro: [LTC] Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007.

FILHO, Nicolau Pereira. **Técnicas de modulação por largura de pulso vetorial para inversores fonte de tensão.** Tese submetida ao programa de pós-graduação em engenharia elétrica como parte dos requisitos para a obtenção do Título de doutor em ciências em engenharia elétrica. Universidade Federal de Itajubá, MG, Outubro 2007.

GOMES, Airtton S. **Seminário gestão do uso de energia elétrica no saneamento.** AESBE, 2013. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi51PyG4P_MAhWBvJAKHe7dBcQQFghSMAg&url=http%3A%2F%2Fwww.aesbe.org.br%2Fconteudo%2Fanexo%2F1743&usg=AFQjCNHJ-yenR4vzoSEIb8uSF5C16rI7zQ&bvm=bv.123325700,d.Y2I>. Acesso em: 15 de maio de 2016.

GURGEL, Breno Botelho Ferraz do Amaral – **Proposição de uma metodologia para avaliação de inversores de frequência em estações elevatórias de água** - Estudo de casos no sistema de abastecimento de água de São José dos Campos – Dissertação de Mestrado Pós-Graduação em engenharia elétrica da Escola da escola Politécnica da Universidade de São Paulo– Dezembro 2006.

IEC – Comissão Internacional de Eletrotécnica. Programmable Controllers. First edition. International Standard IEC 1131-3, 1993.

JÚNIOR, Milton G. F. **Controle de um inversor de frequência via clp.** CECAU, 2012. Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2012/Milton%20Gontijo%20Ferreira%20Junior.pdf>>. Acesso em: 28 de maio de 2016.

MATHEUS, H. **Curso completo sobre conversores de frequência,** 2011. Disponível em: <<http://www.ejm.com.br/download.htm>>. Acesso em: 04/04/2016.

Motores elétricos guia de especificação. WEG, 2016. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 30 de maio de 2016.

ROBERTO, Dyogo S.; SANTOS, Fabrine S. **Estudo do acionamento de bombas centrífugas por meio de dvr's e análise de viabilidade técnica e econômica (evte) em uma unidade de coqueamento retardado.** CEFET/RJ, 2014. Disponível em: <http://www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/Estudo_Acionamento_Bombas_Centr%C3%ADfugas_p_DVRs_Viab_T%C3%A9cnica_Econ%C3%B4mica.pdf>. Acesso em: 05 de agosto 2016.

RODRIGUES, Wlamir; JUNIOR, Edevar L. **Crêterios para o uso eficiente de inversores de frequência em sistemas de bombeamento de água.** UEC, 2007. Disponível em: <<http://www.saneamentobasico.com.br/portal/wp-content/uploads/2013/02/INVERSOR-SISTEMAS-BOMBEAMENTO.pdf>>. Acesso em: 01 de maio 2016.

TSUTIYA, Milton T. **Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de água e esgoto.** ABES, 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/costo.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

TSUTIYA, Milton T. **Utilização de inversores de frequência para diminuição de consumo de energia elétrica em sistema de bombeamento,** UFPB, 2006. Disponível em: <<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/conferencia/VI%20serea%20palestra/p05.pdf>>. Acesso em 06 de fevereiro de 2016.