

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**MÁRCIO HENRIQUE DE MIRANDA SANTOS**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ACIONAMENTOS DE MOTORES:  
UM ESTUDO DE CASO EM PROCESSO DE BRITAGEM**

**CARATINGA**

**2018**

**MARCIO HENRIQUE DE MIRANDA SANTOS**  
**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ACIONAMENTOS DE MOTORES:  
UM ESTUDO DE CASO EM PROCESSO DE BRITAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga, como requisito parcial à obtenção de título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eficiência energética.

Orientador: Prof. Joildo Fernandes Costa Júnior.

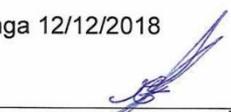
**CARATINGA**  
**2018**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

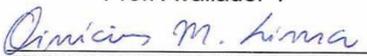
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ACIONAMENTOS DE MOTORES: UM ESTUDO DE CASO EM PROCESSO DE BRITAGEM, elaborado pelo(s) aluno(s) MÁRCIO HENRIQUE DE MIRANDA SANTOS foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Caratinga 12/12/2018

  
\_\_\_\_\_  
JOILDO FERNANDES COSTA JÚNIOR  
Prof. Orientador

  
\_\_\_\_\_  
ELIAS DE SOUZA GONÇALVES  
Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES  
Prof. Examinador 2

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois à Ele toda glória, a mim por ter conseguido vencer esta etapa, à minha família que não me deixou desistir nos momentos difíceis, sempre me incentivou e me deu forças, e ao coordenador do curso e orientador Sr. Joildo Fernandes Costa Junior por toda ajuda nesse projeto.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e por me fazer firme diante dos obstáculos, pois tudo pertence a Ele.

Agradeço a minha família pela confiança, apoio e incentivo que me proporcionam sempre que preciso.

Aos amigos que a vida me deu.

Aos amigos feitos durante o curso, pela caminhada, por toda a trajetória que passamos juntos nesses anos.

Ao meu orientador o engenheiro eletricitista e também coordenador do curso de Engenharia Elétrica Joildo Fernandes Costa Junior, pelo apoio e orientação durante todo o projeto, para que fosse executado da melhor maneira, sem ele este projeto não seria possível.

Aos professores que tive durante o curso e até mesmo aqueles dos tempos de colegial, pelos ensinamentos que me proporcionaram porque sem eles eu não poderia chegar até aqui.

Ao Thales Soares de Souza engenheiro eletricitista e responsável técnico do Britador São Geraldo, por ter abraçado a ideia e autorizado o estudo sobre o britador.

Ao Mateus Alves Marciano pela ajuda na execução dos ensaios no laboratório de máquinas elétricas.

Aos colegas de curso que também poderão desfrutar desse momento sensacional que estamos passando, depois de tanto empenho e sacrifício chegou a hora da recompensa, a hora de comemorar.

Obrigado a todos aqueles que fazem ou já fizeram parte da minha vida, que de uma forma ou de outra contribuíram para que esse momento chegasse.

*“Não temas, porque eu sou contigo;  
não te assombres, porque eu sou teu Deus;  
eu te fortaleço, e te ajudo,  
e te sustento com a destra da minha justiça”.*  
*Isaías 41:10*

SANTOS, Márcio Henrique de Miranda. **ESTUDO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO DO BRITADOR SÃO GERALDO**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Caratinga, 2018.

## **RESUMO**

O presente trabalho desenvolve um estudo sobre o motor de indução trifásico do britador de mandíbulas primário do Britador São Geraldo, localizado em Caratinga. Neste trabalho é apresentado a comparação de resultados obtidos em campo e laboratório com os acionamentos de motores através do inversor de frequência e autotransformador, para saber qual acionamento é mais indicado para o motor do britador. A conclusão deste projeto é elaborada através dos resultados obtidos em laboratório, esses resultados são estipulados para o motor do britador.

Palavras Chaves: Motor de indução trifásico. Britador. Acionamentos. Inversor de frequência. Autotransformador.

SANTOS, Márcio Henrique de Miranda. **ESTUDO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO DO BRITADOR SÃO GERALDO.** Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Caratinga, 2018.

### **ABSTRACT**

The present work develops a study on the three-phase induction motor of the primary jaw crusher of the São Geraldo Crusher located in Caratinga. In this work we present the comparison of the results obtained in the field and laboratory with the motor drives through the frequency inverter and autotransformer, to know which drive is most suitable for the motor of the crusher. The conclusion of this project is elaborated through the results obtained in laboratory, these results are stipulated for the motor of the crusher.

Keywords: Three-phase induction motor. Crusher. Drives. Frequency inverter. Autotransformer.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

*	<i>Ohmics</i>
A	<i>Ampere</i>
CV	<i>Cavalo de força</i>
Hz	<i>Hertz</i>
I	<i>Corrente</i>
k	<i>Quilo</i>
kW	<i>Quilowatts</i>
Nom.	<i>Nominal</i>
P	<i>Potência</i>
R	<i>Resistência</i>
RPM	<i>Rotação por minuto</i>
s	<i>Segundos</i>
Trafo	<i>Transformador</i>
USB	<i>Universal serial bus</i>
V	<i>Volts</i>
VA	<i>Volt-ampere</i>
var	<i>Volt-ampere reativo</i>
W	<i>Watts</i>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Utilização da energia elétrica no País .....	15
Figura 2 - Utilização da energia no setor industrial .....	22
Figura 3 - Diagrama de potência da partida direta .....	24
Figura 4 - Diagrama de potência da partida estrela triângulo.....	25
Figura 5 - Diagrama de potência da partida com inversor de frequência .....	26
Figura 6 - Diagrama de potência da partida com autotransformador .....	27
Figura 7 - Diagrama de potência da partida com soft-starter .....	28
Figura 8 - Esquema do britador de mandíbulas de dois eixos .....	31
Figura 9 - Esquema do britador giratório .....	32
Figura 10 - Esquema do britador de impacto .....	33
Figura 11 - Esquema do britador de rolo dentado .....	34
Figura 12 - Esquema do britador cônico .....	35
Figura 13 - Esquema do britador de rolos .....	35
Figura 14 - Coleta de dados do motor de 100CV .....	38
Figura 15 - Alicata wattímetro ET-4055.....	39
Figura 16 - Autotransformador do motor 100CV .....	40
Figura 17 – Ensaio inversor (vista lateral) .....	41
Figura 18 – Ensaio inversor (vista frontal) .....	42
Figura 19 – Chave compensadora (autotransformador).....	43
Figura 20 – Ensaio autotransformador (vista lateral).....	43
Figura 21 – Ensaio autotransformador (vista frontal) .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações do motor de 100CV.....	38
Tabela 2 – Especificações do motor de 1CV.....	40
Tabela 3 – Resultados ensaio laboratório .....	50

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Medição britador .....	45
Gráfico 2 – Comparação ensaio laboratório .....	46
Gráfico 3 – Ensaio inversor 20% de carga .....	47
Gráfico 4 – Ensaio autotransformador 20% de carga.....	47
Gráfico 5 – Ensaio inversor 50% de carga .....	48
Gráfico 6 – Ensaio autotransformador 50% de carga.....	48
Gráfico 7 – Ensaio inversor 75% de carga .....	49
Gráfico 8 – Ensaio autotransformador 75% de carga.....	49
Gráfico 9 – Acionamento real x Acionamento por inversor (simulado).....	51

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Perfil de consumo.....	15
<b>2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Demanda e consumo .....	16
2.2.2 Sistema de iluminação .....	16
2.2.3 Sistema de refrigeração e ar condicionado .....	16
2.2.4 Fator de potência .....	16
2.2.4.1 <i>Conceitos .....</i>	<i>17</i>
2.2.4.2 <i>Consequências e causas de um baixo fator de potência .....</i>	<i>18</i>
2.2.4.3 <i>Benefícios da correção do fator de potência para a empresa e para a concessionária .....</i>	<i>18</i>
2.2.5 Transformadores .....	19
2.2.5.1 <i>Conceito e características .....</i>	<i>19</i>
2.2.5.2 <i>Cálculo das perdas de um transformador.....</i>	<i>20</i>
2.2.6 Motores de indução trifásicos.....	22
2.2.6.1 <i>Acionamento do motor com partida direta.....</i>	<i>23</i>
2.2.6.2 <i>Acionamento do motor com sistema estrela triângulo.....</i>	<i>24</i>
2.2.6.3 <i>Acionamento com inversor de frequência .....</i>	<i>25</i>
2.2.6.4 <i>Acionamento do motor com autotransformador .....</i>	<i>26</i>
2.2.6.5 <i>Acionamento do motor com soft-starter.....</i>	<i>28</i>
2.2.6.6 <i>Análise do carregamento.....</i>	<i>29</i>
2.2.7 Compressores e ar comprimido .....	29
<b>2.3 FLUXOS DE MATERIAIS .....</b>	<b>30</b>
2.3.1 Britagem.....	30
2.3.2 Classificação dos estágios de britagem .....	30
2.3.2.1 <i>Britagem primária .....</i>	<i>31</i>
2.3.2.2 <i>Britagem secundária.....</i>	<i>34</i>
2.3.2.3 <i>Britagem terciária .....</i>	<i>36</i>
<b>2.4 ETAPAS DO PROCEDIMENTO.....</b>	<b>36</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>37</b>

<b>3.1 LOCAL DE ESTUDO .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2 COLETA DE DADOS.....</b>	<b>37</b>
3.2.1 Procedimentos em campo.....	38
3.2.2 Ensaios em laboratório.....	40
3.2.2.1 <i>Teste inversor de frequência</i> .....	41
3.2.2.2 <i>Teste autotransformador</i> .....	42
<b>4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
5.1 TRABALHOS FUTUROS.....	52
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE A TERMO DE AUTORIZAÇÃO DO ESTUDO NO BRITADOR.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm-se preocupado muito com o consumo de energia elétrica. Com o avanço tecnológico equipamentos elétricos são utilizados cada vez mais e conseqüentemente o consumo e o desperdício de energia elétrica também aumentam.

Com o propósito de diminuir essas conseqüências, a preocupação em desenvolver equipamentos mais eficientes também é grande, principalmente para o setor industrial que é o responsável pelo maior consumo de energia no país.

Olhando para o setor industrial, os motores elétricos possuem o maior percentual de consumo de energia elétrica, e com isso as perdas de energia com o mau dimensionamento, desgaste, falta de manutenção, má operação, escolha errada na instalação, também são consideráveis.

A função do motor é transformar a energia elétrica que chega da rede em energia mecânica para desempenhar a sua função, como acionamento de bombas d'água, britadores, moedores, secadores, ventiladores e etc.

Alguns dos equipamentos desenvolvidos a fim de melhorar o desempenho dos motores são o inversor de frequência e a chave compensadora também conhecida como autotransformador.

O inversor de frequência tem como principal função, o controle da velocidade dos motores, tornando a tensão constante da rede em uma tensão variável. Já a chave compensadora atua na hora da partida do motor, reduzindo a corrente de partida e a tensão de alimentação.

Observando as características do inversor de frequência e da chave compensadora, este projeto apresenta testes em campo e laboratório mostrando o comportamento dos motores com o auxílio destes equipamentos.

No Britador São Geraldo Ltda, local de estudo, localizado no município de Caratinga, uma empresa responsável pela produção de material para construção civil e de rodovias. Possui um motor de indução trifásico com acionamento por chave compensadora e no final deste projeto será mostrado se é viável ou não a substituição da chave compensadora pelo inversor de frequência.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo retrata a importância da eficiência energética, apresentando como é distribuído o consumo de energia elétrica no país, os métodos utilizados para a obtenção da eficiência em equipamentos elétricos. Apresenta também o funcionamento de cada tipo de britador.

### 2.1 Eficiência energética

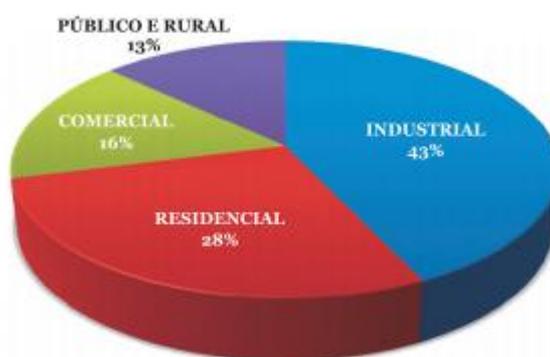
Segundo Martins (1999), eficiência energética é o conjunto de práticas e políticas, para que os custos com energia sejam reduzidos ou que aumente a quantidade de energia oferecida sem alteração da geração.

De acordo com Viana et al (2012), eficiência energética é a melhor utilização da energia, ou seja, é a sua utilização sem desperdícios.

#### 2.1.1 Perfil de consumo

Segundo pesquisas, de acordo com Viana et al (2012), o setor industrial, é o setor que mais consome energia no país, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 - Utilização da energia elétrica no País



Fonte: Viana et al. (2012)

## 2.2 Fatores que influenciam a eficiência energética

Abaixo estão descritos alguns dos fatores que devem ser considerados para obter a eficiência energética.

### 2.2.1 Demanda e consumo

Demanda é a potência fornecida para o consumidor durante um determinado tempo e depende do perfil do consumidor.

Consumo é a quantidade de energia utilizada.

### 2.2.2 Sistema de iluminação

"A iluminação é responsável por, aproximadamente, 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial" (SANTOS et al., 2007, p.55).

Segundo Viana et al (2012), muitos trabalhos mostram que no Brasil é bastante comum encontrar iluminação ineficiente. Para ser melhorada basta apenas hábitos saudáveis na sua utilização combinados com lâmpadas, reatores e refletores eficientes.

### 2.2.3 Sistema de refrigeração e ar condicionado

Mantém a temperatura controlada, pode ser para conservar produtos ou climatizar ambientes. Possui componentes como: compressores, trocadores de calor, ventiladores, bombas, tubos, dutos e equipamentos de proteção e controle.

### 2.2.4 Fator de potência

Um fator importante que deve ser considerado é o fator de potência, e abaixo estão alguns de seus conceitos, vantagens e desvantagens.

### 2.2.4.1 Conceitos

É o indicativo da eficiência da energia utilizada no sistema, quanto maior o fator de potência mais eficiente será o sistema e vice-versa. Seu controle é extremamente importante pois pode gerar despesas, uma vez que é cobrado nas contas de energia elétrica pela concessionária.

Para saber se o sistema está com um bom fator de potência, basta relacionar a potência ativa com a potência aparente, o resultado precisa estar entre 0,92 e 1.

A potência aparente é a potência total da unidade que é a combinação da potência ativa com a potência reativa. A potência ativa é a potência que fornece o produto, ou seja, é a que produz luz, calor, movimento, etc. A potência reativa (principalmente a indutiva) é utilizada pelos equipamentos (motores, transformadores, reatores de lâmpadas e outros mais) para criar os campos eletromagnéticos para o seu funcionamento.

Para descobrir o fator de potência utiliza-se basicamente a Equação 1.

$$Fp = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Sendo:

Fp = Fator de potência;

P = Potência ativa, medida em W (watts);

S = Potência aparente, medida em VA (volt-ampere).

Já para achar a potência aparente é preciso da potência reativa combinada com a potência ativa, como mostra a Equação 2:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

Sendo:

Q = Potência reativa, medida em var (volt-ampere reativo).

Vendo isso pode-se concluir que para se ter um fator de potência bom, é preciso que a potência reativa seja baixa.

#### *2.2.4.2 Consequências e causas de um baixo fator de potência*

De acordo com WEG S.A (2018), abaixo estão descritas as consequências e causas de um baixo fator de potência:

- Perdas na instalação: essas perdas são na forma de calor, a corrente aumenta à medida que o sistema possui excesso de reativo, essas perdas podem ser compreendidas por  $P = R * I^2$ .
- Queda de tensão: como as perdas na instalação, a queda de tensão também é provocada pelo aumento da corrente devido ao excesso de reativo, podendo causar interrupção do fornecimento de energia, sobrecarga em alguns elementos da rede, diminuição da luminosidade das lâmpadas e aumento da corrente nos motores.
- Subutilização da capacidade instalada: com o excesso de reativo no sistema, torna-se necessário o investimento na instalação de novos equipamentos (transformadores, condutores, etc), precisando ser transformadores de maior capacidade, pois deverá ser de acordo com a potência aparente, já que a potência reativa está diretamente relacionada. Já os condutores deverão ter seção maior, pois a medida que o fator de potência diminui, a seção deve aumentar.

#### *2.2.4.3 Benefícios da correção do fator de potência para a empresa e para a concessionária*

a) Para a empresa (WEG S.A., 2018):

- Redução da fatura de energia elétrica;
- Aumento da eficiência energética;
- Melhoria da tensão;
- Aumento da capacidade dos equipamentos de manobra;
- Aumento da vida útil das instalações e equipamentos;
- Redução das perdas por efeito Joule;
- Redução da corrente reativa na rede elétrica.

b) Para a concessionária (WEG S.A., 2018):

- O bloco de potência reativa deixa de circular no sistema de transmissão e distribuição;
- Evita as perdas pelo efeito Joule;
- Aumenta a capacidade do sistema de transmissão e distribuição para conduzir o bloco de potência ativa;
- Aumenta a capacidade de geração com intuito de atender mais consumidores;
- Diminui os custos de geração.

## 2.2.5 Transformadores

A eficiência dos transformadores é muito importante pois toda a energia do sistema elétrico passa por pelo menos um transformador.

### 2.2.5.1 Conceito e características

Os transformadores são equipamentos muito eficientes, que podem alcançar rendimentos de 96% a 99%, mas que podem possuir perdas bastante significativas em valores absolutos. Os transformadores são equipamentos muito utilizados, pois praticamente toda a energia gerada passa pelo transformador. Por isso, mesmo com o alto rendimento, o processo de nivelar as tensões várias vezes, resulta em perdas que precisam ser consideradas (VIANA et al., 2012).

Os transformadores são dispositivos que possuem dois enrolamentos isolados eletricamente e fixos em seu núcleo. Ele transfere energia em corrente alternada de um sistema elétrico para outro, sem alterar sua frequência apenas variando a tensão. Funcionam através de indução eletromagnética, gerando um fluxo magnético quando é aplicada uma tensão no enrolamento primário provocando uma circulação de corrente. O fluxo magnético gerado no primário interage com o enrolamento secundário, produzindo uma tensão.

O núcleo e os enrolamentos são considerados a parte ativa do transformador que são isolados por um óleo mineral (parafínico ou naftênico) ou fluidos isolantes a

base de silicone. A parte ativa e o óleo isolante ficam dentro de um tanque que serve como revestimento e recipiente.

A energia consumida no trafo precisa ser dissipada em forma de calor, esse calor gerado se propaga através do óleo isolante e é dissipado pelo tanque. Quando o transformador é de alta potência essa superfície não é suficiente para a emissão do calor, pois as perdas aumentam rapidamente (VIANA et al., 2012).

São considerados três circuitos no transformador, e estes circuitos possuem perdas, são eles (VIANA et al., 2012):

- Circuito elétrico: Perdas por  $R \cdot I^2$  devido à corrente de carga; Perdas por  $R \cdot I^2$  devido à corrente de excitação; Perdas por correntes parasitas nos condutores devido ao fluxo de dispersão.
- Circuito magnético: Perdas por histerese no núcleo; Perdas por correntes parasitas, ou de Foucault, no núcleo; Perdas por dispersão das correntes parasitas no núcleo através dos grampos, parafusos, etc.
- Circuito dielétrico: Essas perdas são normalmente incluídas nas perdas no ferro.

#### 2.2.5.2 Cálculo das perdas de um transformador

De acordo com Viana et al. (2012), o cálculo das perdas de um transformador é através de dois parâmetros, perdas no cobre e perdas no ferro. A forma de calcular as perdas são mostradas a seguir.

##### 1. Perdas no cobre:

As perdas ôhmicas que há em qualquer enrolamento “ $n$ ” utiliza a seguinte fórmula (Equação 3):

$$P_n = R_n \cdot I_n^2 \quad (3)$$

Onde:

$P_n$ = Perdas ôhmicas (W);

$R_n$ = Resistencia no enrolamento (\*);

$I_n$ = Corrente no enrolamento (A);

Já as perdas ôhmicas total no transformador ( $P_{\Omega}$ ) são calculadas pela fórmula (Equação 4):

$$P_{\Omega} = \sum_{\Omega}^n R_{\Omega} * I_{\Omega}^2 \quad (4)$$

Sendo que n é o número de enrolamentos do transformador.

## 2. Perdas no ferro:

As perdas no ferro são calculadas através de expressões empíricas, podendo ser por histerese ou por Foucault.

### a) Perdas por histerese:

As perdas por histerese são calculadas pela seguinte fórmula (Equação 5):

$$P_{\Omega} = K_{\Omega} * v * f * (B_{\Omega_{ax}})^n \quad (5)$$

Sendo:

$P_{\Omega}$  = Perda por histerese, (dada em watts [W]);

$K_{\Omega}$  = coeficiente amplamente variável, (depende do material);

$v$  = volume do núcleo magnético;

$f$  = frequência da fonte em Hz;

$B_{\Omega_{ax}}$  = densidade máxima do fluxo magnético;

$n$  = expoente variando entre 1,5 e 2,5 (depende do material).

### b) Perdas por Foucault:

Para calcular as perdas por Foucault utiliza-se a Equação 6:

$$P_f = K_f * v * \tau^2 * f^2 (B_{max})^2 \quad (6)$$

Sendo:

$P_f$  = Perdas por Foucault, (dada em watts [W]);

$K_f$  = coeficiente amplamente variável, (depende do material);

$v$  = volume do núcleo magnético;

$\tau$  = espessura das chapas;

$f$  = frequência da fonte em hertz (Hz);

$B_{\Omega_{ax}}$  = densidade máxima de fluxo magnético.

### 3. Perdas no núcleo:

As perdas no núcleo, corresponde ao somatório das perdas por histerese e por Foucault, que é dada pela Equação 7:

$$P_c = P_h + P_f \quad (7)$$

Sendo:

$P_c$  = Perdas totais no núcleo.

Geralmente as perdas no cobre e no ferro são obtidas através da fórmula anterior ou através de ensaios em vazio e curto circuito (VIANA et al., 2012).

#### 2.2.6 Motores de indução trifásicos

De acordo com Viana et al. (2012), os motores possuem um grande potencial de eficiência energética. Isso pode ser explicado por dois motivos, primeiro pela grande quantidade de motores instalados e a aplicação ineficiente dos mesmos. Pois é muito comum encontrar motores acionando cargas inferiores a capacidade nominal, resultando em um baixo fator de potência e baixo rendimento.

Na figura 2 pode ser visto como é a utilização da energia dentro do setor industrial.

Figura 2 - Utilização da energia no setor industrial



Fonte: Viana et al. (2012)

O motor é basicamente um conversor de energia elétrica em energia mecânica, e quando na forma de gerador converte energia mecânica em energia elétrica. Mas

durante esse processo de conversão ocorrem várias perdas no seu interior, essas perdas são agrupadas na seguinte forma, perdas Joule no estator, perdas Joule no rotor, perdas no ferro, perdas por dispersão e perdas por atrito e ventilação (VIANA et al., 2012).

Segundo Viana et al. (2012), as perdas por efeito Joule (estator e rotor) são causadas pela corrente elétrica que passa nos enrolamentos. No ferro ocorrem as perdas por histerese e Foucault. A histerese ocorre devido a constante reorientação do campo magnético sobre as lâminas de aço-silício, as perdas de Foucault resultam do calor produzido pelas correntes que circulam no interior do material magnético. As perdas por atrito e ventilação ocorrem devido ao atrito nos rolamentos, e pelo arrasto aerodinâmico provocado pela geometria irregular do rotor e pelo próprio ventilador por vezes instalado de maneira errada. As perdas por dispersão são todas as demais que não se encaixam nas perdas citadas anteriormente.

#### *2.2.6.1 Acionamento do motor com partida direta*

O acionamento por partida direta é o método mais simples, pois o motor é conectado diretamente com a fonte de alimentação, não utiliza dispositivos especiais (inversor de frequência, soft-starter e etc.), utiliza apenas contatores, disjuntores ou relé térmico.

Algumas vantagens desse sistema são:

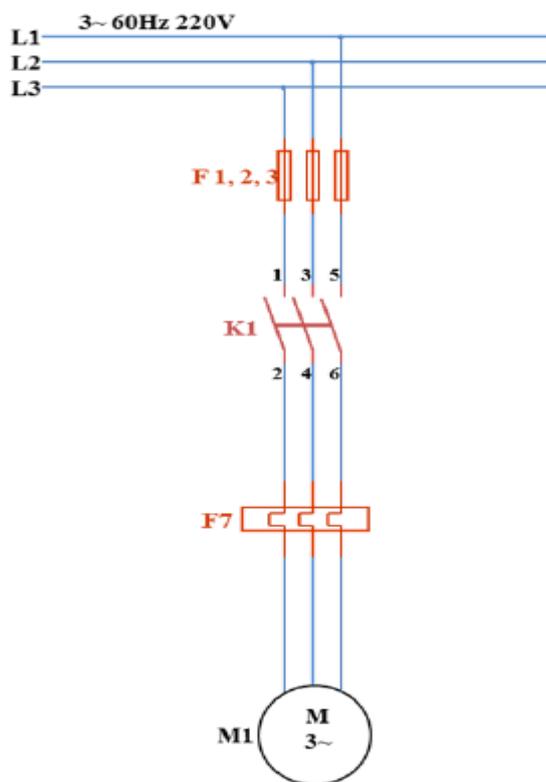
- Menor custo, pois não utiliza muitos dispositivos;
- Torque de partida alto, pois trabalha com corrente e tensão nominais;
- Fácil e simples de instalar, pois não utiliza equipamentos complexos.

Abaixo estão as desvantagens:

- Devido a corrente de partida ser alta, ela provoca queda de tensão na rede, podendo também causar sobre dimensionamento de cabos e outros dispositivos.

A figura 3 mostra o diagrama utilizado para fazer a ligação do motor com partida direta na rede.

Figura 3 - Diagrama de potência da partida direta



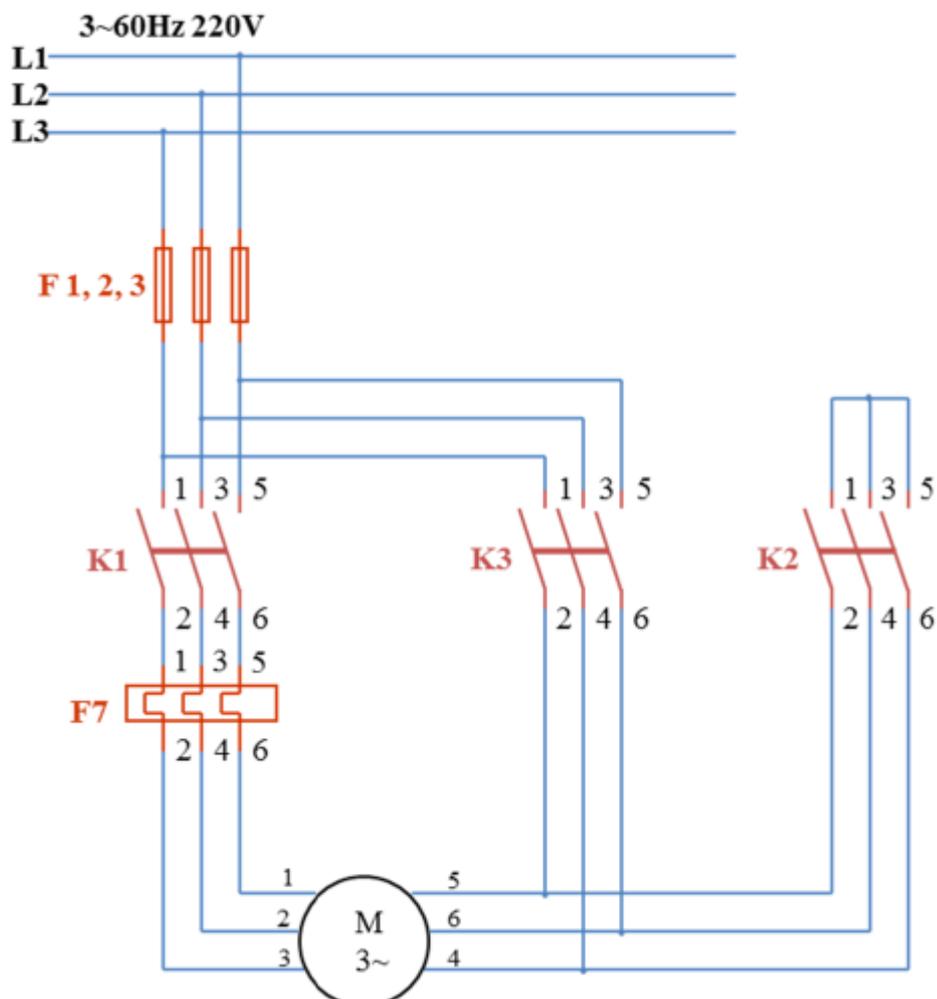
Fonte: Moraes (2014)

#### 2.2.6.2 Acionamento do motor com sistema estrela triângulo

Para fazer o acionamento de um motor, se utiliza duas ligações, estrela ou triângulo. Geralmente o sistema estrela é utilizado primeiro, na alimentação, pois assim pode evitar um pico de corrente no momento da partida. Depois que estiver com a velocidade perto da nominal, uma chave com apenas esta finalidade, troca a alimentação do motor que está em estrela para o sistema triângulo, fazendo com que ocorra uma redução no pico da corrente de partida em triângulo (MELLO, 2013).

A figura 4 mostra o diagrama utilizado para fazer a ligação do motor com partida estrela triângulo na rede.

Figura 4 - Diagrama de potência da partida estrela triângulo



Fonte: Moraes (2014)

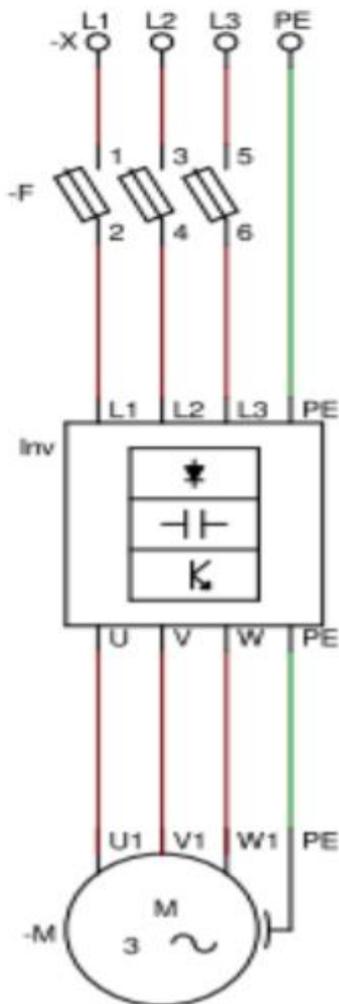
### 2.2.6.3 Acionamento com inversor de frequência

O inversor de frequência é um equipamento que tem a função de controlar a velocidade e a potência consumida no motor, variando a frequência e a tensão fornecida para o mesmo no acionamento. Fazendo com que a corrente de acionamento fique praticamente igual à corrente nominal.

Geralmente o inversor é utilizado quando um motor elétrico não precisa funcionar na sua velocidade total. Sendo que a maioria dos motores elétricos utilizados nas indústrias possuem uma velocidade de rotação de 3600 RPM (rotação por minuto), e a energia elétrica fornecida no Brasil possui uma frequência de 60 Hz.

A figura 5 apresenta como é feito o esquema de ligação do motor com acionamento por inversor de frequência.

Figura 5 - Diagrama de potência da partida com inversor de frequência



Fonte: Pereira (2011)

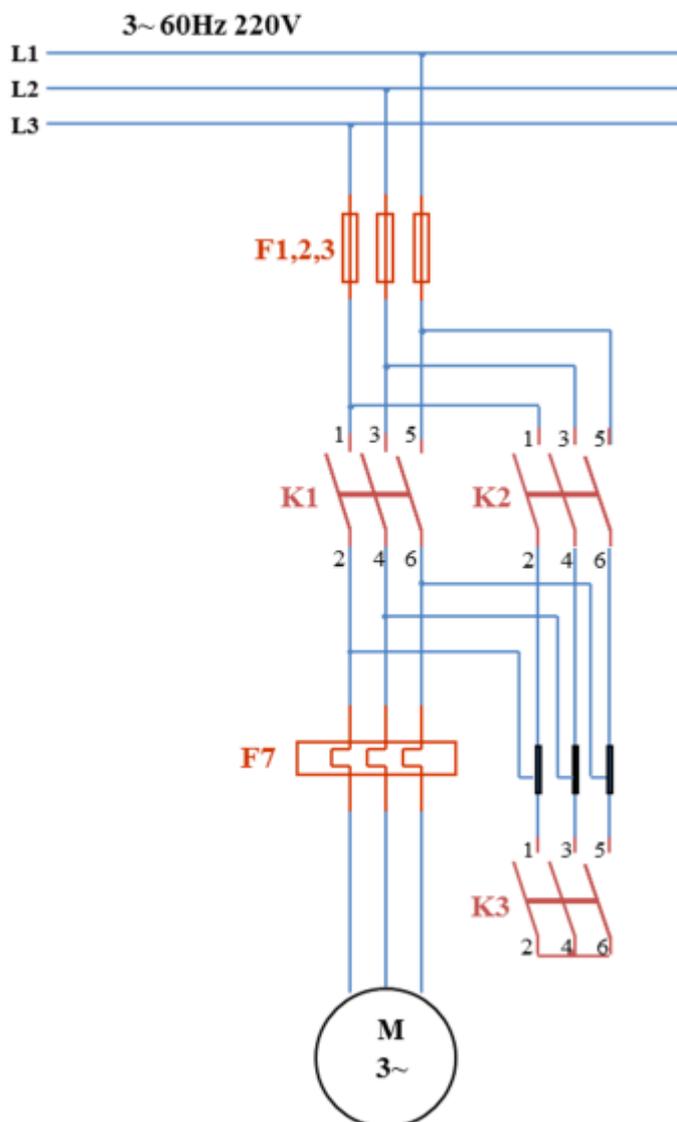
#### 2.2.6.4 Acionamento do motor com autotransformador

O método de partida com chave compensadora, é mais utilizado em motores de alta potência que acionam cargas com alto índice de atrito. Esse sistema possui um autotransformador que é ligado ao circuito do estator. Este autotransformador possui um ponto estrela que fica acessível, sendo curto-circuitado no momento da partida (LOPO, 2014).

Além de reduzir a corrente de partida na faixa de 42% e 64% da nominal, também reduz a tensão de alimentação do motor no momento da alimentação, esta tensão poderá ser na faixa de 65% e 80% da tensão nominal (MORAES, 2014).

Abaixo está a figura 6, apresentando o diagrama de potência utilizado para fazer a conexão do autotransformador ao circuito do motor.

Figura 6 - Diagrama de potência da partida com autotransformador



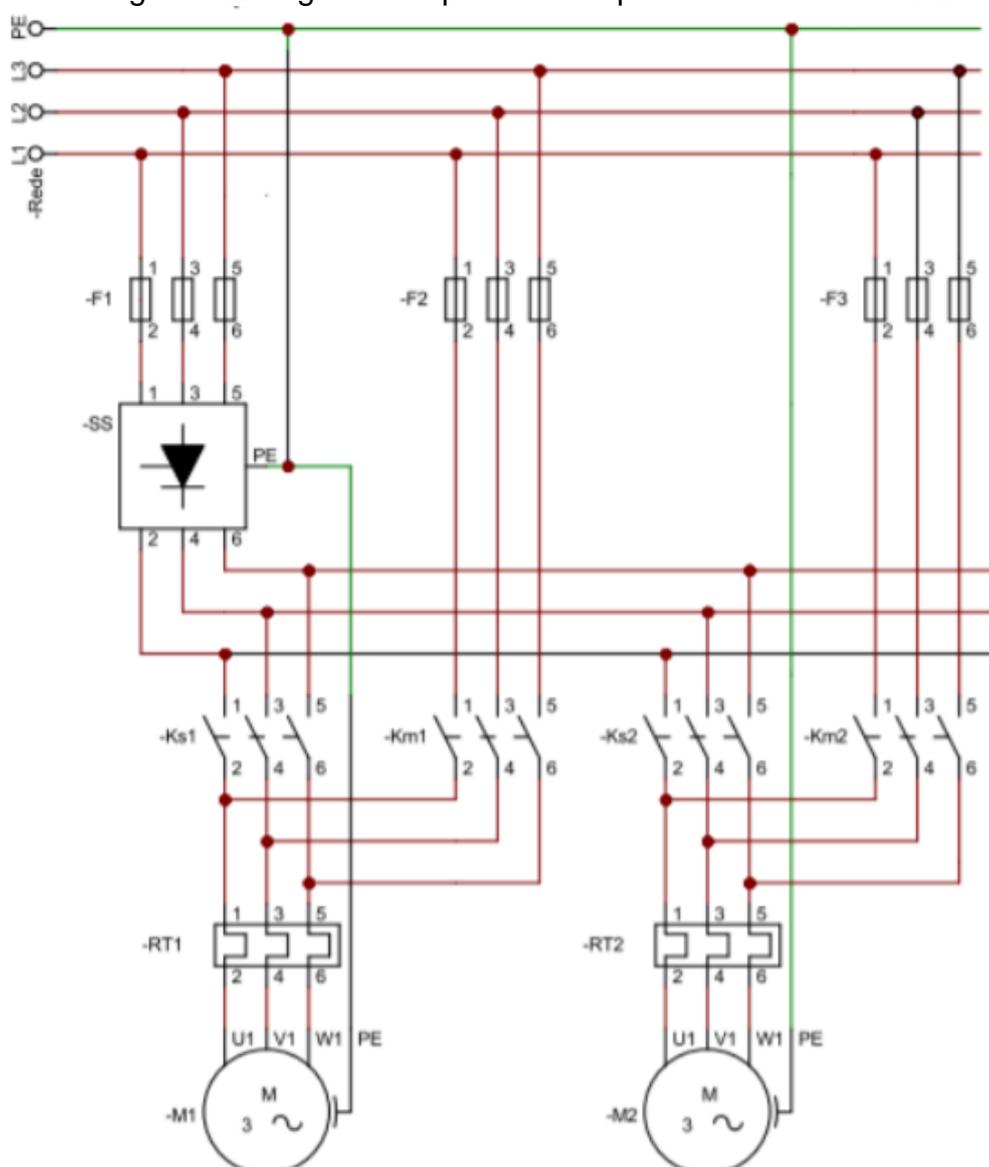
Fonte: Moraes (2014)

### 2.2.6.5 Acionamento do motor com soft-starter

É um sistema muito utilizado, já que o soft-starter consegue controlar a tensão variando o ângulo de disparo e conseqüentemente controla a corrente que passa no motor conduzindo para uma partida suave. É mais indicado para motores de grande potência que não exijam variação de velocidade (LOPO, 2014).

Na figura 7, pode ser observado o diagrama de potência utilizado para fazer a conexão do soft-starter no circuito do motor.

Figura 7 - Diagrama de potência da partida com soft-starter



Fonte: Pereira (2011)

#### 2.2.6.6 Análise do carregamento

Segundo Viana et al. (2012), para uma boa análise do carregamento dos motores elétricos, é preciso a obtenção dos dados de operação dos mesmos, esses dados envolvem as grandezas elétricas, mecânicas e térmicas que demonstrem o comportamento dos motores.

Os métodos utilizados para a obtenção desses dados são, os métodos normalizados e os métodos expeditos. O método normalizado, são mais realizados em laboratório, pois depende de ferramental mais complexo e condições únicas. Alguns exemplos são, ensaio através de freio mecânico, ensaio através de dinamômetro, ensaio com maquina calibrada e outros mais (VIANA et al., 2012).

Para realização em campo o método expedito é o mais indicado, pois são mais fáceis de serem executados. Estes utilizam de dados do fabricante, medição de corrente e rotação, dados da placa e em alguns casos potência absorvida da rede (VIANA et al., 2012).

#### 2.2.7 Compressores e ar comprimido

O ar comprimido possui muitas aplicações no processo industrial. Em razão disso, ele é muito utilizado na maioria das indústrias. Como ele é muito utilizado, sua parcela no consumo de energia da empresa é significativa e com isso as perdas de energia também são consideráveis. Ou seja, possuem um bom potencial de eficiência energética.

De acordo com Viana et al. (2012), o ar comprimido é uma forma de transporte de energia com várias aplicações. Chega a competir com a eletricidade em algumas áreas, e também possui áreas que somente ele pode ser utilizado, como por exemplo, em trabalhos subaquáticos e no interior de minas.

Algumas aplicações do ar comprimido são em: equipamentos a pressão de ar, equipamentos de jato livre, de percussão, motores a ar comprimido, automação de operações industriais.

As principais vantagens da sua utilização são: o ar é abundante, ele pode ser armazenado e distribuído sem isolamento, não oferece riscos de incêndio ou de explosão. Já a sua desvantagem é a baixa eficiência energética. Por isso a forma de sua utilização e operação dos equipamentos precisa ser eficiente (VIANA et al., 2012).

Para se obter uma eficiência energética nas instalações de ar comprimido é preciso analisar e especificar corretamente os compressores, sistema de controle, acessórios e periféricos antes mesmo do projeto sair da planta. Essas análises devem ser adequadas as necessidades da unidade.

A manutenção e operação desses equipamentos devem por pessoal devidamente treinados para essas tarefas. Qualquer anormalidade pode ser facilmente detectada, pois com os recursos oferecidos atualmente não é difícil o acompanhamento em tempo real (VIANA et al., 2012).

## **2.3 Fluxos de materiais**

Os fluxos de materiais são os métodos e procedimentos adotados por uma empresa com a finalidade de obter o seu produto, com a melhor qualidade possível.

### **2.3.1 Britagem**

Britagem é basicamente um conjunto de operações que tem por objetivo fragmentar blocos de minérios, levando-os a granulometria precisa para sua utilização ou novos processamentos. Possui diversas etapas com equipamentos apropriados para a redução de fragmentos de rocha, desde 1000mm até 10mm (LUZ et al., 2004).

Segundo França (2011), britagem é a quebra de material seja por esforços compressivos ou por impacto. Esses esforços consistem no movimento de aproximação e afastamento de uma parte móvel contra uma fixa, e o impacto é a projeção de fragmentos de minérios contra elementos do britador.

Para obter uma condição satisfatória, ou seja, uma granulometria fina é preciso que os fragmentos passem por três estágios, grossa, intermediária e fina ou moagem (LUZ et al., 2004).

### **2.3.2 Classificação dos estágios de britagem**

A britagem pode ser classificada em estágios, a maioria das empresas utilizam até três estágios, mas dependendo do material trabalhado algumas podem possuir mais de três estágios. Abaixo estão descritos os três estágios mais utilizados.

### 2.3.2.1 Britagem primária

São os britadores de grande porte que recebem os blocos de rocha que chegam da mina. Operam em circuito aberto e realizam a britagem a seco, não realizam o descarte dos fragmentos finos que chegam junto com os blocos ou que resultam da britagem.

Os britadores utilizados nesta etapa são: o britador de mandíbulas, britador giratório, britador de impacto e o britador de rolo dentado.

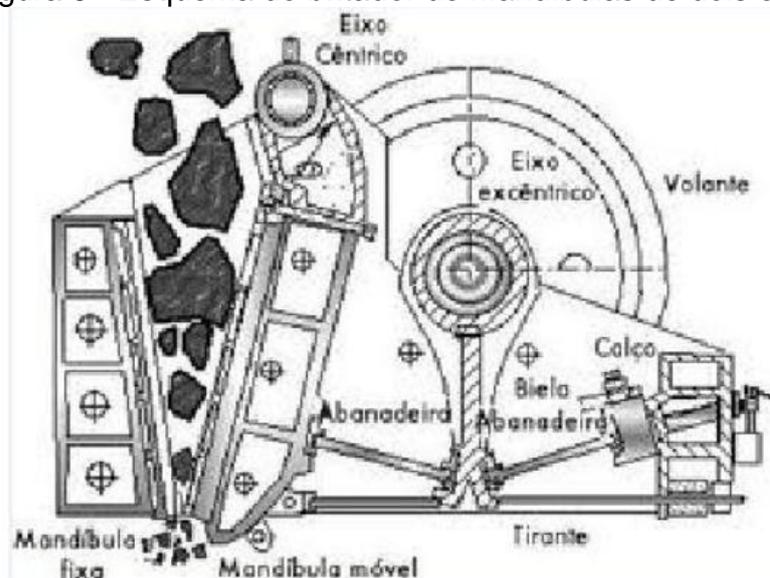
#### a) Britador de mandíbulas:

É utilizado para a britagem de blocos de várias dimensões. Possui uma parte (mandíbula) fixa e uma móvel que realiza o movimento de vai e vem pressionando os blocos contra a parte fixa para a fragmentação, enquanto os blocos descem pelo canal de alimentação.

Existem dois tipos de britadores de mandíbulas, o de um eixo e de dois eixos. A diferença entre eles é o movimento realizado pelas mandíbulas móveis, o de um eixo possui um movimento elíptico e o de dois eixos possuem o movimento pendular, esses costumam ser 50% mais caros do que os de um eixo e são recomendados para fragmentação de materiais mais abrasivos que são difíceis de fragmentar.

A figura 8 mostra o esquema do britador de mandíbulas de dois eixos.

Figura 8 - Esquema do britador de mandíbulas de dois eixos



Fonte: França (2011)

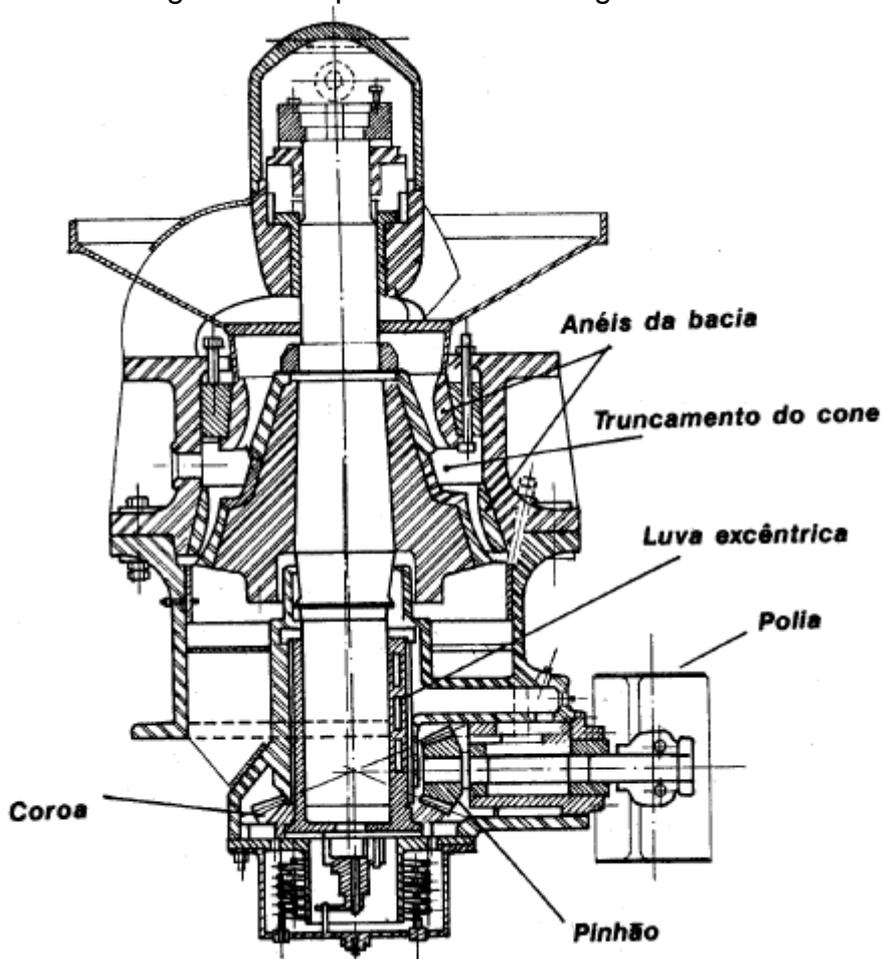
b) Britador giratório:

Sua operação é melhor que a do britador de mandíbulas, pois permite alimentação de qualquer lado. É utilizado quando existe uma grande quantidade de material para fragmentação (LUZ et al., 2004).

Seu funcionamento se dá graças ao movimento giratório do eixo central (ou cone) aproximando e afastando da carcaça (LUZ et al., 2004).

Na figura 9, pode-se observar como é o britador giratório.

Figura 9 - Esquema do britador giratório



Fonte: Luz et al (2004)

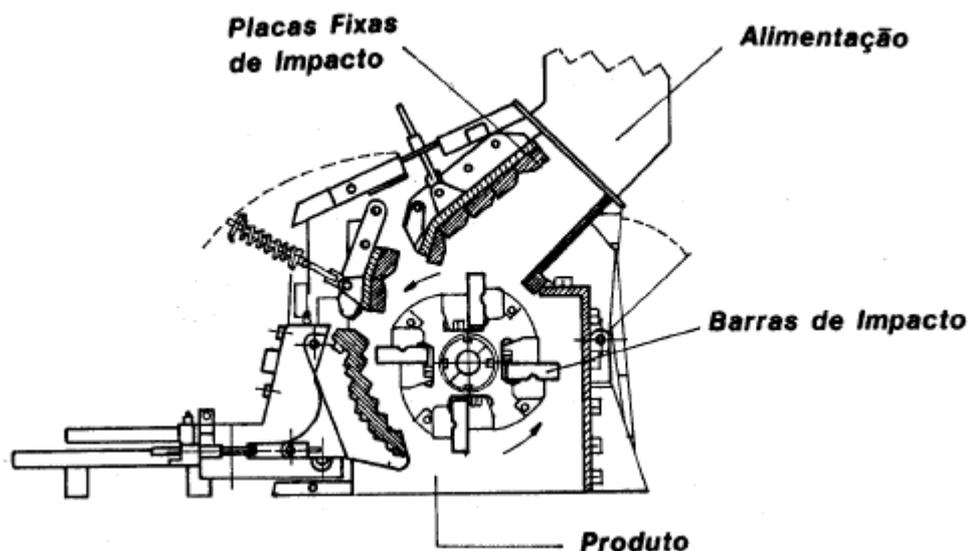
c) Britador de impacto:

Ao contrário dos anteriores, este britador utiliza o impacto e não a compressão. Através do movimento das barras, o material é projetado sobre as barras fixas onde ocorre a fragmentação (LUZ et al., 2004).

É recomendado quando se deseja uma maior taxa de redução e grande quantidade de finos. Possui a desvantagem do custo elevado de manutenção e grande desgaste, não é aconselhável quando o material for mais abrasivo e quando o valor da sílica equivalente for maior que 15% (LUZ et al., 2004).

A figura 10 apresenta o esquema do britador de impacto, com ela pode ser entendido um pouco sobre o seu funcionamento.

Figura 10 - Esquema do britador de impacto



Fonte: Luz et al (2004)

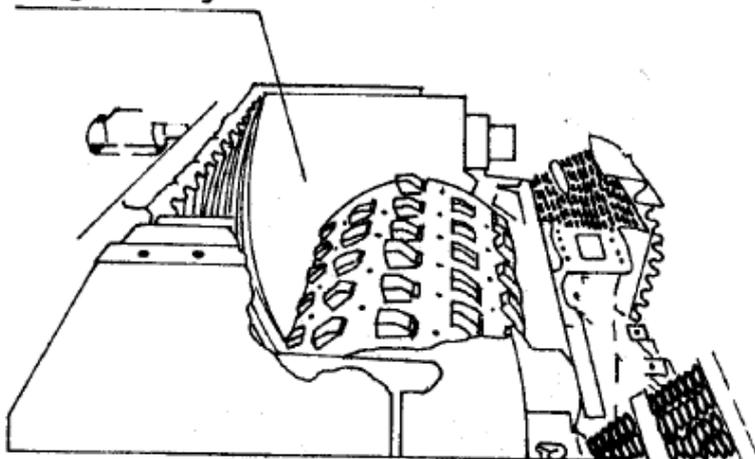
d) Britador de rolo dentado:

Possui basicamente um rolo dentado e uma carcaça fixa, realiza a fragmentação através da compressão que o rolo exerce entre os dentes e a placa fixada na câmara. O alto desgaste dos dentes faz com que seu emprego seja limitado, pois só é aconselhável para rochas de fácil fragmentação. Em relação aos anteriores é o que produz menos finos (LUZ et al., 2004).

A seguir está a figura 11 mostrando o esquema do britador de rolo dentado.

Figura 11 - Esquema do britador de rolo dentado

**Câmara de  
Fragmentação**



Fonte: Luz et al (2004)

#### 2.3.2.2 Britagem secundária

A britagem secundária é a etapa seguinte da primária. É realizada com o objetivo de redução dos fragmentos para a moagem. Buscando o aumento da produção, nessa etapa existe o escalpe, que é o descarte prévio dos fragmentos finos.

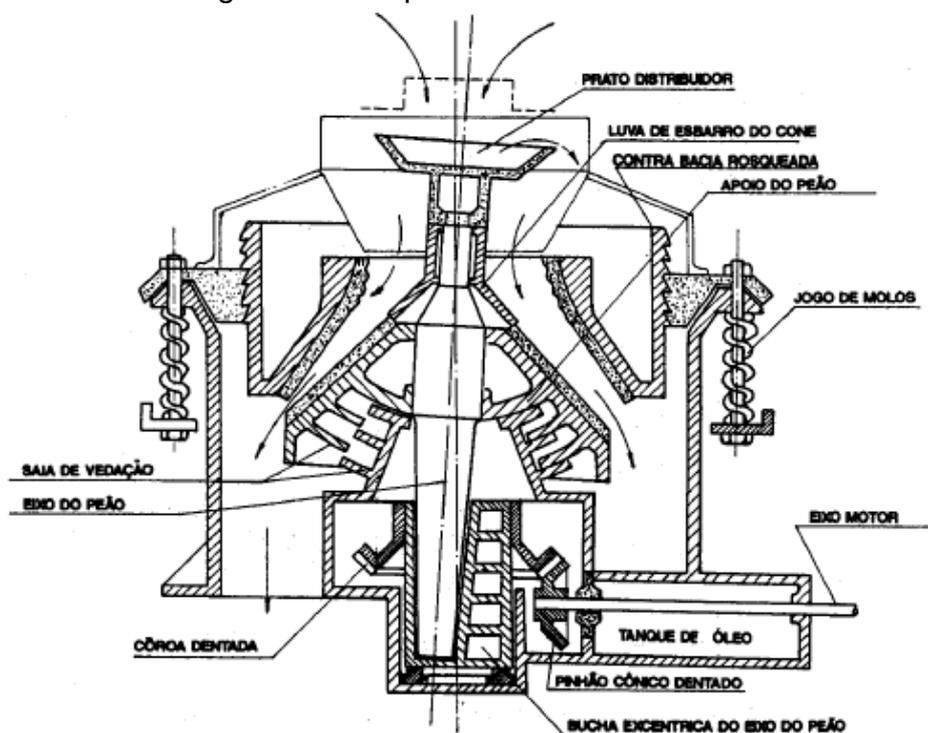
Os britadores utilizados são: britador giratório secundário, britador de mandíbulas secundário, britador de martelos que são semelhantes aos britadores primários porém tamanhos menores, o britador cônico e o britador de rolos.

##### a) Britador cônico:

O britador cônico é semelhante ao giratório, mas ao contrário do que ocorre no giratório, no cônico, o manto e cone apresentam longas superfícies paralelas, para manter retidas as partículas por um longo tempo nessa região. Enquanto que no giratório a descarga se dá pela ação da gravidade, no cônico, a descarga é condicionada pelo movimento vertical do cone de cima para baixo que controla a abertura de saída (LUZ et al., 2004).

A figura 12 apresenta o desenho esquemático do britador cônico.

Figura 12 - Esquema do britador cônico



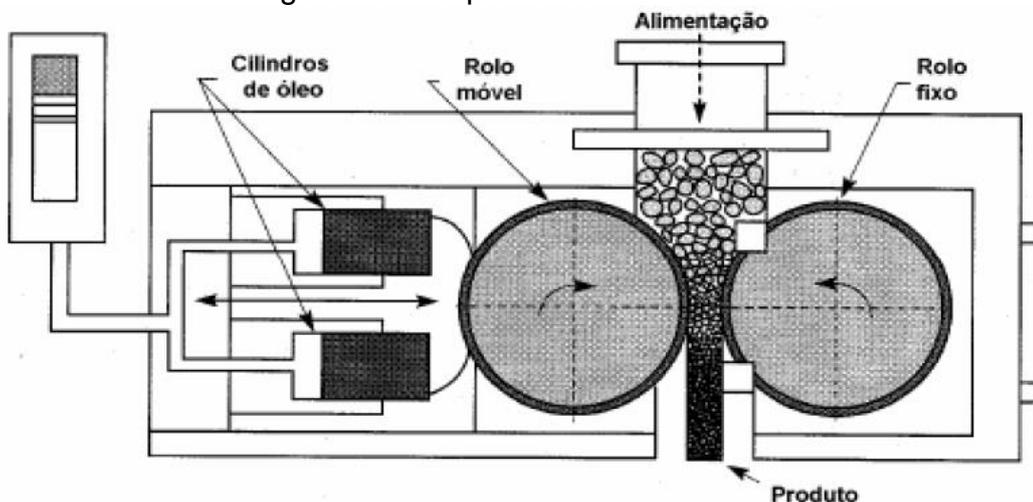
Fonte: Luz et al (2004)

b) Britador de rolos:

Este possui dois rolos girando em sentidos contrários na mesma velocidade colocados a uma distância fixa. O movimento dos rolos faz com que os blocos de minério passem por ali. Pelo fato de existir uma distância fixa entre os rolos, faz com que sua alimentação seja limitada.

A figura 13 mostra como é o esquema do britador de rolos.

Figura 13 - Esquema do britador de rolos



Fonte: França (2011)

### 2.3.2.3 Britagem terciária

Geralmente é o último estágio, mas dependendo do material existem usinas que possuem mais de três estágios. Os britadores cônicos são os mais utilizados nessa etapa, pois possuem granulometria na faixa de 2,5 a 3 mm. Estes equipamentos costumam trabalhar em circuito fechado e exigem maior controle de operação (LUZ et al., 2004).

## 2.4 Etapas do procedimento

Segundo Viana et al (2012), o estudo do fluxo energético de uma empresa pode seguir os seguintes passos:

- Levantamento de dados gerais da Empresa;
- Estudo dos fluxos de materiais e produtos;
- Caracterização do consumo energético;
- Avaliação das perdas de energia;
- Desenvolvimento dos estudos técnicos e econômicos das alternativas de redução das perdas;
- Elaboração das recomendações e conclusões;

### **3 METODOLOGIA**

Para a execução deste projeto, foram realizados medições e ensaios em laboratório com o objetivo de mostrar o comportamento dos motores de indução trifásico utilizando o acionamento com autotransformador e por inversor de frequência e verificar qual desses dispositivos é mais vantajoso.

As medições foram realizadas no britador e no laboratório, para posteriormente serem feitas as comparações dos acionamentos com os dispositivos. Com a medição feita em campo, foi possível registrar os dados do acionamento por partida compensada com o motor de indução trifásico de 100CV. No laboratório foram realizados ensaios com motor de potência na escala 100:1 com acionamento similar a realidade de campo e com inversor de frequência para mensuração dos ganhos de eficiência na partida e durante o funcionamento, simulando as variações de cargas conforme observado em campo.

#### **3.1 Local de estudo**

O Britador São Geraldo Ltda localizado no município de Caratinga, é uma empresa que possui uma das melhores reservas de um tipo de rocha chamado gnaisse, utilizado na produção de materiais para a construção civil e de rodovias.

Participou ativamente do crescimento da cidade fornecendo seus produtos com qualidade. A empresa possui reconhecimento em nível estadual, sendo uma das melhores do ramo no estado. Pois procura estar sempre evoluindo junto com as tecnologias e adequando as mudanças do mercado.

Seus principais produtos são: pedras e britas, areia industrial, pó de pedra, asfalto quente, asfalto frio e filler.

#### **3.2 Coleta de dados**

Esta seção descreve os procedimentos adotados para a obtenção dos dados necessários para a execução deste projeto.

### 3.2.1 Procedimentos em campo

Para o levantamento dos dados do motor de 100CV do britador de mandíbulas primário do Britador São Geraldo Ltda, foram considerados os dados do Prontuário das Instalações Elétricas (P.I.E.) da empresa e os dados obtidos na medição.

A tabela 1 mostra os dados do motor do britador.

Tabela 1 – Especificações do motor de 100CV

<b>Circuitos</b>	<b>P. Total (VA)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>I nominal (A)</b>	<b>Frequência (Hz)</b>
<b>Motor</b>	75000	380	247	60

Fonte: Autor 2018

Conforme a figura 14 mostra, três alicates wattímetros ET-4055 são utilizados para a coleta dos dados do funcionamento do motor, os alicates são colocados nas fases que chegam ao quadro de força do motor e conectados no notebook via cabo USB, onde os dados obtidos ficam registrados através do aplicativo ET-4055 computer interface software em planilha de Excel.

Figura 14 - Coleta de dados do motor de 100CV



Fonte: Autor 2018

Um dos alicates wattímetro utilizado no teste está apresentado na figura 15, ele foi configurado para coletar os dados de potência (kW), corrente (A) e tensão (V), utilizados pelo motor, pois são os dados considerados para a análise do projeto. Mas dependendo da análise a ser executada o alicate também efetua a leitura de outras grandezas de um equipamento elétrico, como a potência aparente (kVA), potência reativa (kvar), frequência (Hz), fator de potência e etc. Existe um, porém, mesmo o alicate conseguindo fazer a leitura de todas essas grandezas, só são registrados os dados que estiverem configurados.

Figura 15 - Alicate wattímetro ET-4055



Fonte: Autor 2018

A figura 16 mostra como o autotransformador está conectado no circuito do motor. Para este circuito, o autotransformador está configurado com 65%, fazendo com que a tensão de alimentação seja reduzida em 65% do valor da tensão nominal, e conseqüentemente a corrente de partida também seja reduzida em relação ao valor da corrente nominal.

Figura 16 - Autotransformador do motor 100CV



Fonte: Autor 2018

### 3.2.2 Ensaios em laboratório

Para realizar os testes no laboratório, primeiro ocorreu a análise dos dados obtidos da medição do britador para entender como o motor é operado e aplicar essas mesmas características no ensaio do motor do laboratório.

Na análise ficou percebido que o britador opera um tempo em alívio, ou seja, sem carga, que é o tempo que o operador demora para alimentar a máquina. A carga e o tempo de alívio foram inseridos no ensaio através da ação de aumentar e diminuir o potenciômetro que controla o freio do motor. Os ensaios feitos são com cargas de 20%, 50%, 75% e 100% da potência nominal do motor.

Segue a tabela 2 com as especificações do motor do ensaio.

Tabela 2 – Especificações do motor de 1CV

<b>Circuitos</b>	<b>P. Total (VA)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>I nominal (A)</b>	<b>Frequência (Hz)</b>
<b>Motor</b>	736	220	2,85	60

Fonte: Autor 2018

### 3.2.2.1 Teste inversor de frequência

O inversor utilizado nos testes é o CFW-09, para realização dos mesmos, primeiro foram analisadas as configurações de controle para saber qual era a mais recomendada para este tipo de carga, se era o controle escalar ou o controle vetorial.

Depois de realizar as análises das configurações, a programação escolhida para o teste foi o Controle Vetorial Sensorless, que é executada automaticamente, mas é necessário que o motor esteja conectado ao inversor. Possui uma precisão no controle da velocidade de 0,5%, e evita desligamentos desnecessários em caso de sobrecorrente.

Abaixo estão as figuras 17 e 18 que mostram como foram montados os ensaios para a coleta dos dados do acionamento do motor com inversor de frequência, nas mesmas podem ser visualizados o inversor de frequência CFW-09, o motor de 1CV utilizado no ensaio, multímetro utilizado para conferir as tensões, o notebook onde são armazenados os dados recebidos do alicate wattímetro ET-4055.

Figura 17 – Ensaio inversor (vista lateral)



Fonte: Autor 2018

Figura 18 – Ensaio inversor (vista frontal)



Fonte: Autor 2018

### 3.2.2.2 Teste autotransformador

O autotransformador possui várias derivações que possibilitam a regulação da partida do motor.

Para os testes do acionamento com chave compensada, o autotransformador foi conectado com 65% da tensão, procurando estabelecer as mesmas características encontradas no circuito do britador. Nesta configuração, e utilizando a chave estrela-triângulo, a corrente de partida fica próxima do valor da corrente de acionamento.

Na figura 19, é possível observar como é o autotransformador podendo entender como é realizada a conexão do mesmo no circuito utilizando o diagrama de potência da ligação do autotransformador. Na figura pode ser visto as entradas e saídas das fases, também pode ser percebido onde faz a conexão para que ocorra a compensação da tensão de alimentação no acionamento seja em 65% ou 80%.

Figura 19 – Chave compensadora (autotransformador)



Fonte: Autor 2018

Nas figuras 20 e 21, pode-se observar como foi montada a bancada de testes. Nos testes foi utilizado um painel próprio para fazer a conexão do autotransformador, necessitando apenas da conexão dos cabos. Nota-se que o painel possui a mesma configuração do diagrama de potência, nele também possui disjuntor de proteção, botoeiras de acionamento.

Figura 20 – Ensaio autotransformador (vista lateral)



Fonte: Autor 2018

Figura 21 – Ensaio autotransformador (vista frontal)



Fonte: Autor 2018

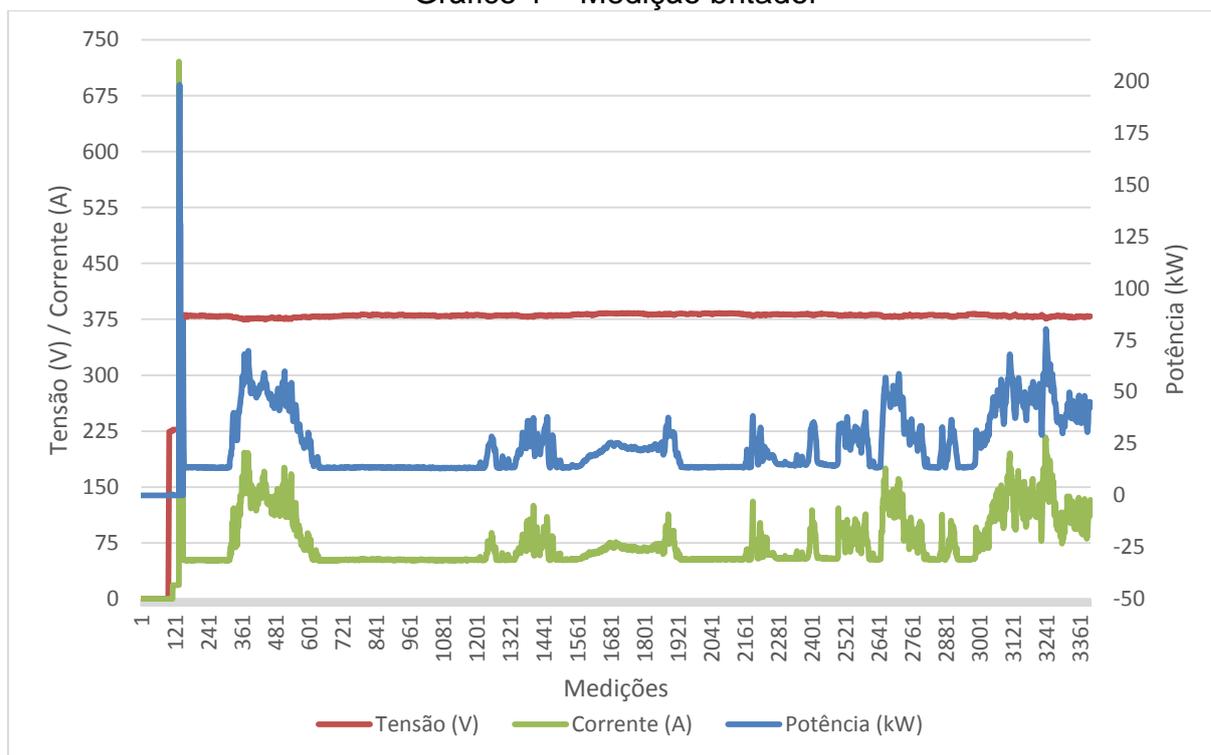
Na figura 20, fica possível visualizar o notebook registrando os dados recebidos do alicate que está conectado na fase do motor. Já na figura 21, pode ser visualizado o autotransformador conectado ao painel numa vista frontal, também podem ser notadas as botoeiras do acionamento e o disjuntor de proteção.

As diferenças encontradas nos ensaios serão apresentadas no capítulo 4, através de gráficos e explicando como foi realizada a simulação para o britador.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

O gráfico 1 mostra os resultados dos dados obtidos com a medição feita no britador, nele pode-se observar como o motor opera, observe que quando o britador é alimentado ocorre uma alta no consumo de potência e corrente. Esse consumo varia de acordo com o tamanho ou quantidade de pedras inseridas no alimentador.

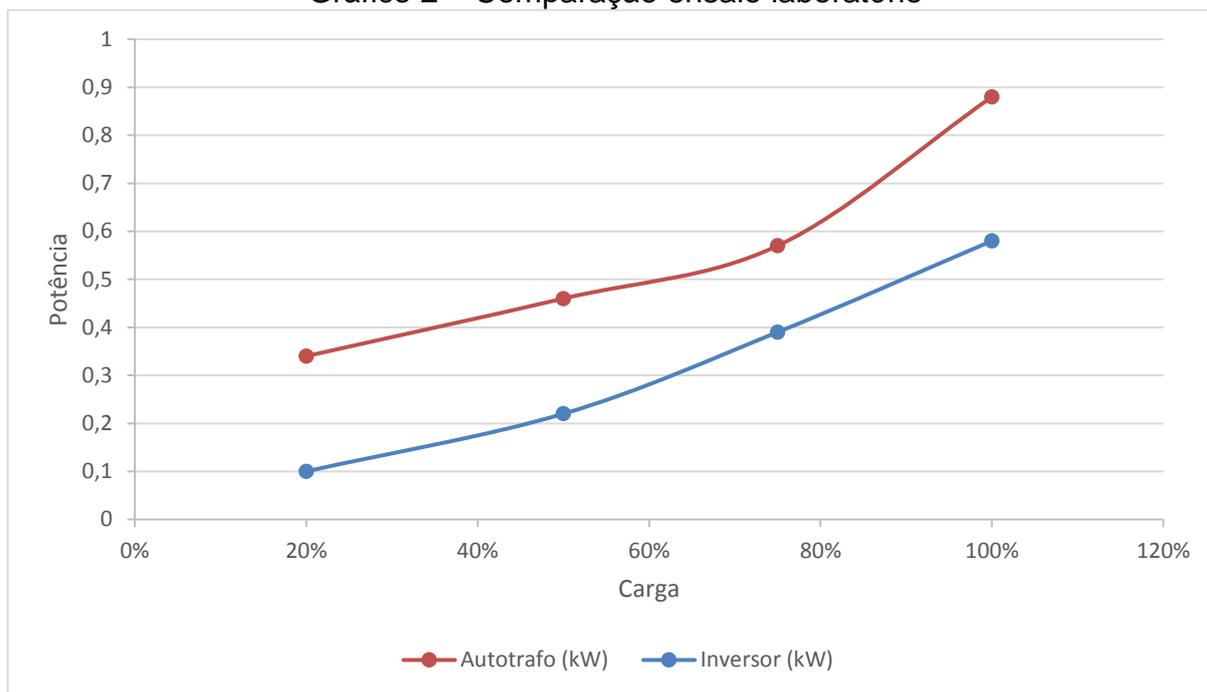
Gráfico 1 – Medição britador



É através deste gráfico que foram identificadas as características de operação para que os testes em laboratório pudessem ser feitos. Nota-se que o britador trabalha um tempo em alívio, consumindo pouca potência na faixa de 13 e 14kW necessária apenas para mover a mandíbula móvel do britador até que o operador alimente a máquina novamente. Também pode observar que na partida do motor tem um pico enorme da corrente

No ensaio em laboratório foram feitos testes com a carga em 20%, 50%, 75% e 100% da carga nominal, no gráfico 2 é possível observar a diferença dos acionamentos.

Gráfico 2 – Comparação ensaio laboratório



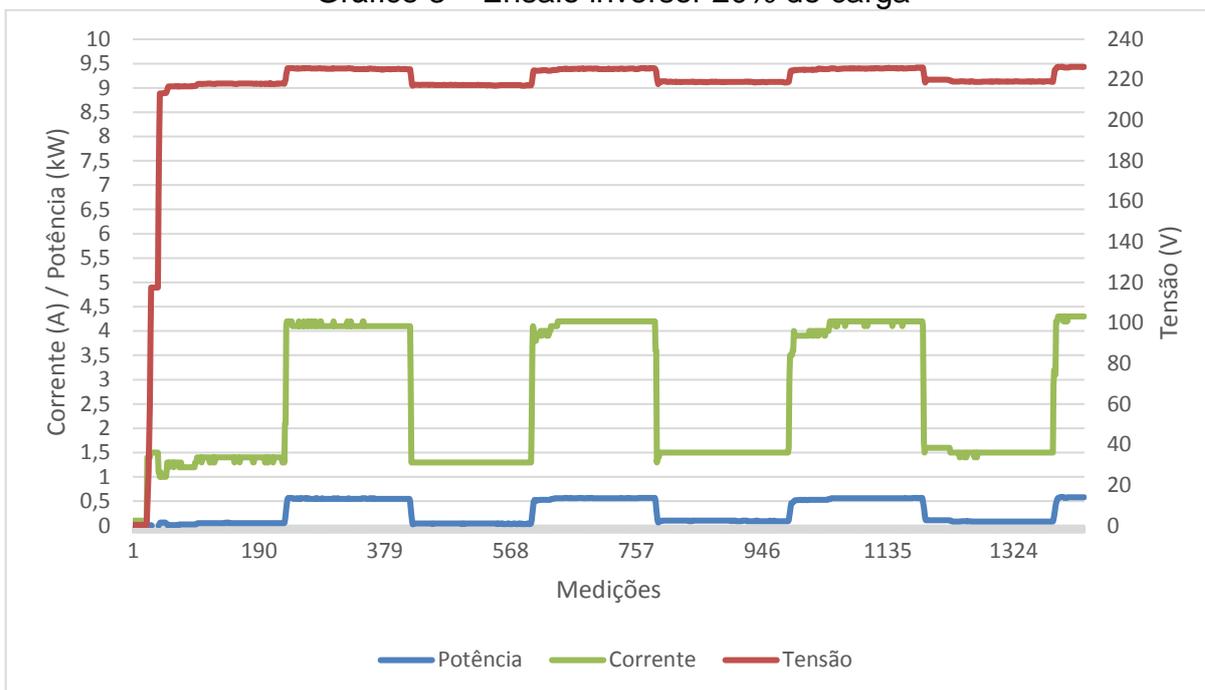
Fonte: Autor 2018

Para mostrar as diferenças, os valores do pico de cada teste são inseridos no gráfico, o gráfico mostra que o acionamento com inversor apresenta uma maior eficiência, representada pelo menor consumo de potência ativa. Para saber essa diferença foi feito uma média do consumo de potência (kW) dos acionamentos para então saber a porcentagem de economia.

Abaixo são apresentados os resultados obtidos no laboratório através de gráficos. Primeiro os ensaios com 20% de carga com inversor e com autotransformador mostrados nos gráficos 3 e 4 respectivamente.

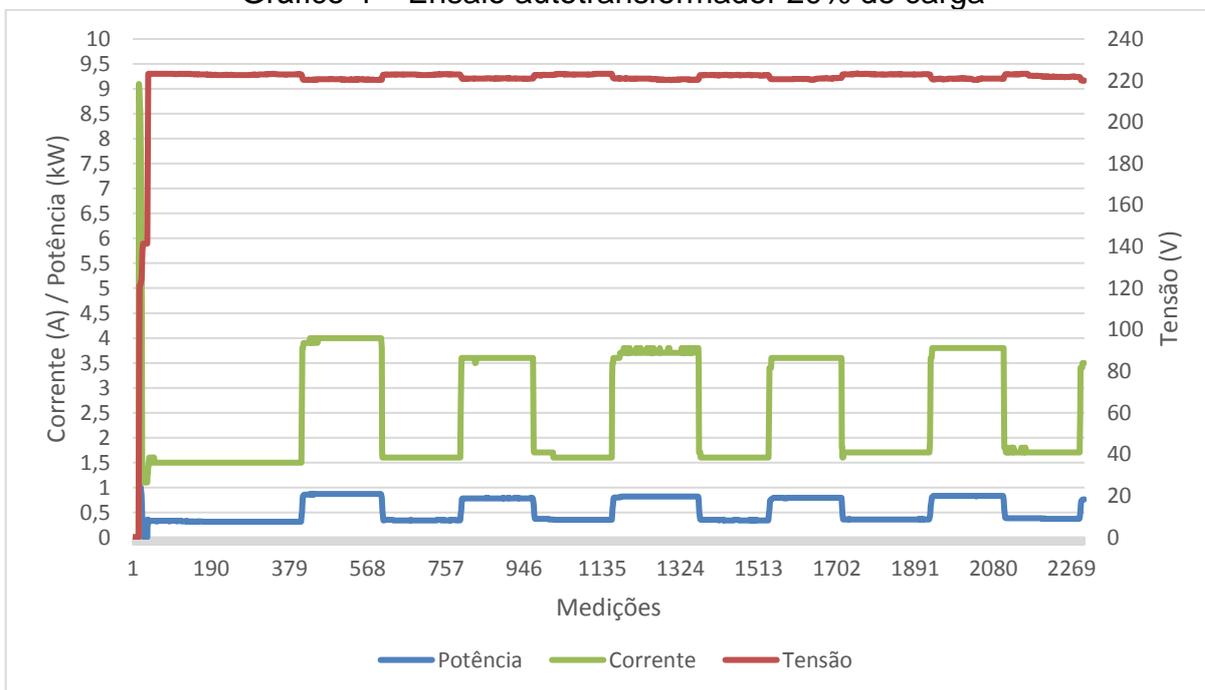
Observando os mesmos, pode ser entendido os métodos utilizados para os testes, nota-se que depois do acionamento do motor tanto com o inversor de frequência, quanto com o autotransformador, foi inserida a carga através do freio até o nível de 20% de carga, depois de mais ou menos 60 segundos a carga foi elevada para o máximo, ou seja, 100% e retornando para 20% depois de 60 segundos. Isto foi feito para poder verificar o comportamento do motor com este nível de carga, pois o britador trabalha com todo nível de carga.

Gráfico 3 – Ensaio inversor 20% de carga



Fonte: Autor 2018

Gráfico 4 – Ensaio autotransformador 20% de carga

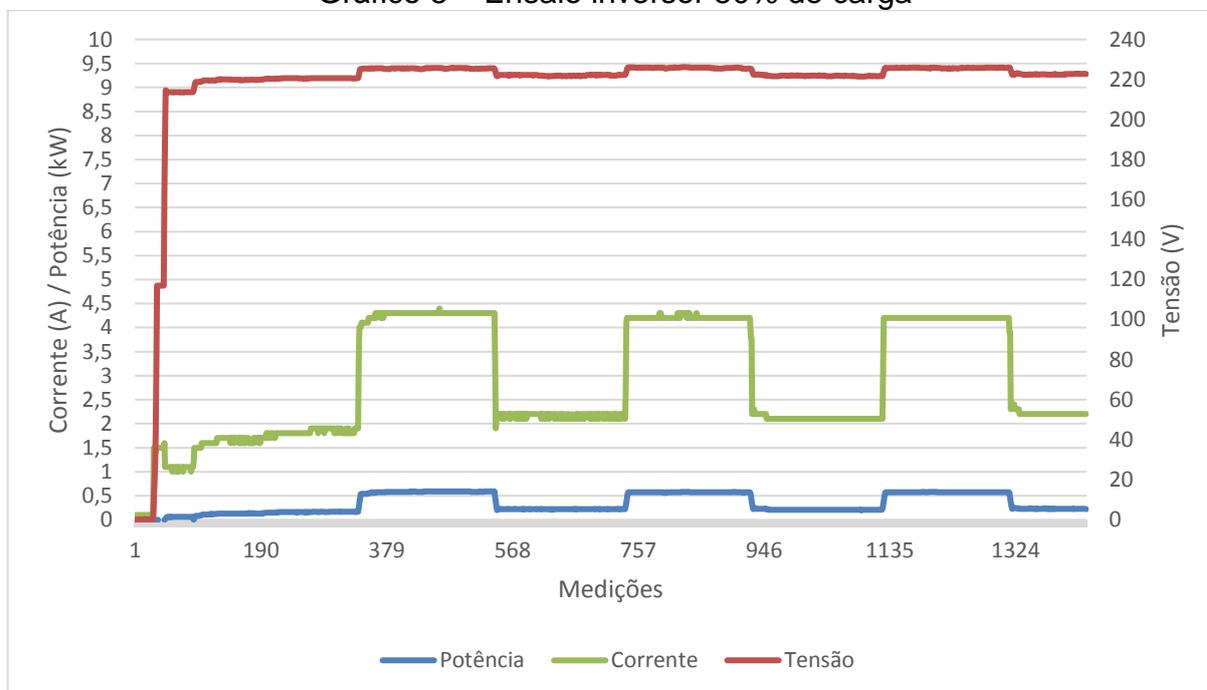


Fonte: Autor 2018

Abaixo estão os gráficos 5 e 6, representando os ensaios com 50% de carga com acionamento por inversor de frequência e por autotransformador. Analisando os mesmos pode ser observado que foi utilizado o mesmo método do ensaio com 20% de carga, depois do acionamento a carga foi elevada até o nível de 50% de carga e

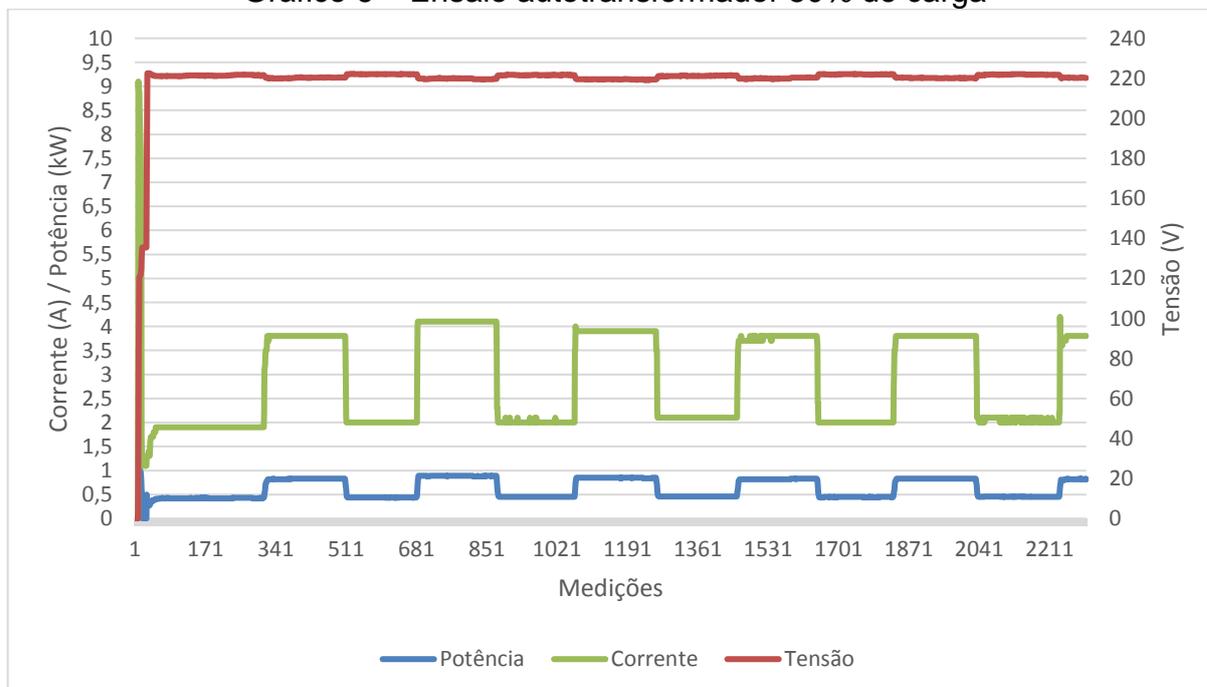
depois de mais ou menos 60 segundos, a carga foi elevada ao máximo, retornando para 50% depois de 60 segundos, repetindo esta ação algumas vezes.

Gráfico 5 – Ensaio inversor 50% de carga



Fonte: Autor 2018

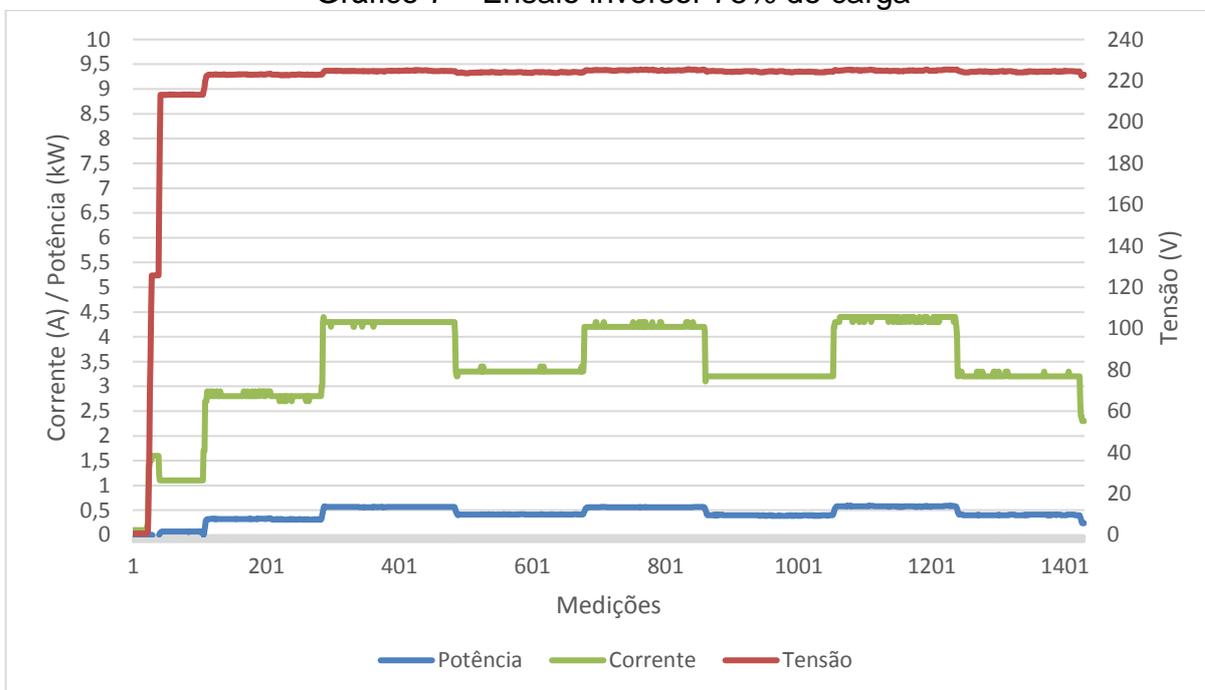
Gráfico 6 – Ensaio autotransformador 50% de carga



Fonte: Autor 2018

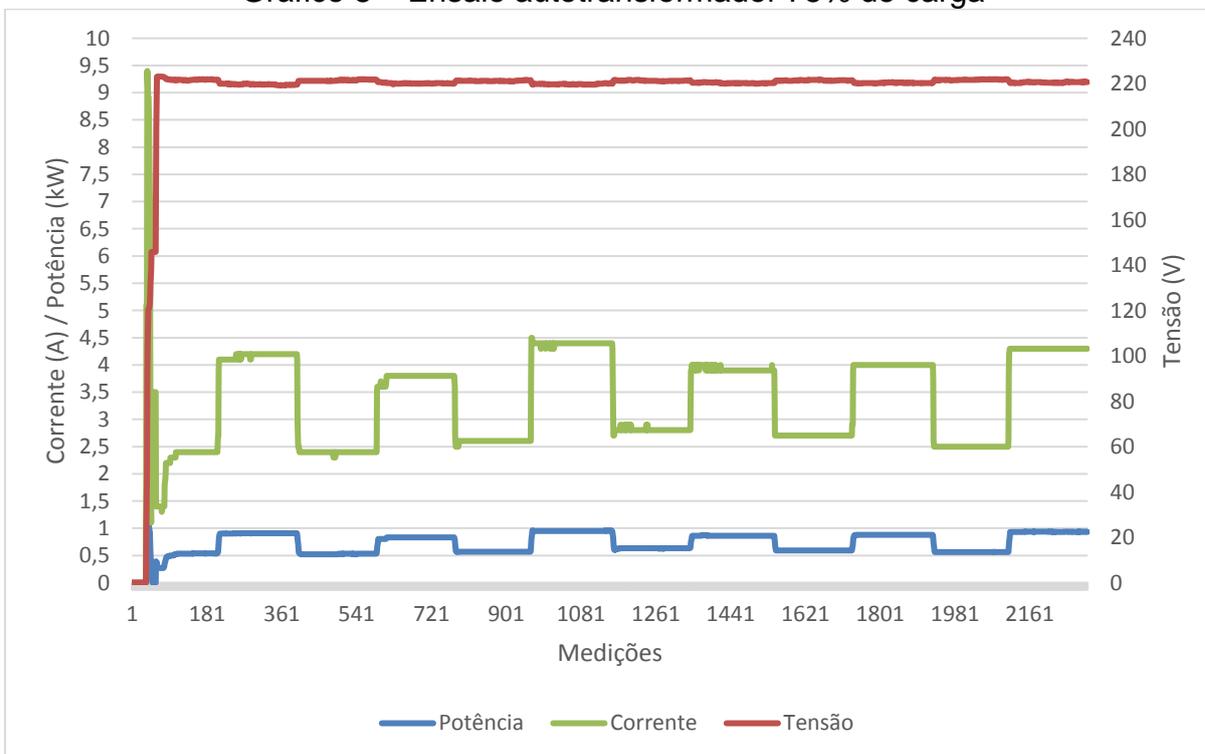
A seguir estão os gráficos 7 e 8 mostrando o desempenho do motor acionado pelos dispositivos com 75% de carga.

Gráfico 7 – Ensaio inversor 75% de carga



Fonte: Autor 2018

Gráfico 8 – Ensaio autotransformador 75% de carga



Fonte: Autor 2018

Observando os gráficos, pode-se perceber que nesse ensaio foi utilizado o mesmo procedimento dos testes de 20% e 50% de carga. Depois da partida do motor foi inserida a carga no motor até o nível requerido, elevando para 100% depois de 60 segundos e novamente reduzindo para 75%, executando esta ação repetidas vezes.

A tabela 3 apresenta os valores encontrados no ensaio do laboratório, mostrados também através do gráfico 2.

Tabela 3 – Resultados ensaio laboratório

<b>Ensaio motor 1CV</b>		
<b>Carga</b>	<b>Autotrafo (kW)</b>	<b>Inversor (kW)</b>
20%	0,34	0,1
50%	0,46	0,22
75%	0,57	0,39
100%	0,88	0,58

Fonte: Autor 2018

Depois de analisar esses números, pode se obter a diferença percentual dos acionamentos, através da Equação 8, primeiro foi feito uma média dos valores encontrados nos ensaios do laboratório para que posteriormente a equação pudesse ser utilizada.

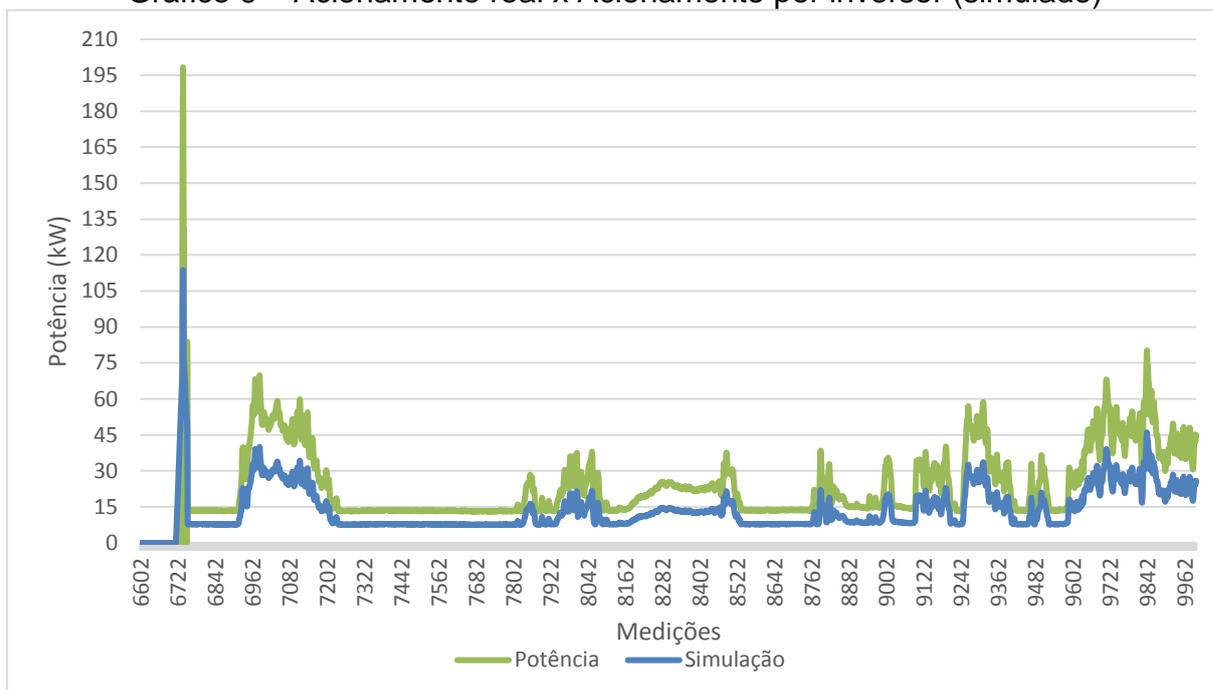
$$\% = (m\u00e9dia\ autotrafo - m\u00e9dia\ inversor) * \frac{100}{m\u00e9dia\ autotrafo} \quad (8)$$

Depois de executar os c\u00e1culos, pode-se concluir que o acionamento por inversor de frequ\u00eancia poder\u00e1 representar uma economia de at\u00e9 40% na opera\u00e7\u00e3o do motor utilizado no britador de mand\u00edbulas prim\u00e1rio.

Com o valor encontrado nos c\u00e1culos da Equa\u00e7\u00e3o 8, foram feitos outros c\u00e1culos com os valores da pot\u00eancia consumida medidos no britador mostrado no gr\u00e1fico 1, os valores registrados no britador foram reduzidos com o valor encontrado na equa\u00e7\u00e3o 8, para assim concluir a simula\u00e7\u00e3o.

O gr\u00e1fico 9 mostra o resultado da simula\u00e7\u00e3o feita com os valores encontrados nos c\u00e1culos. Pode-se observar o mesmo desempenho do britador apresentado no gr\u00e1fico 1, e a simula\u00e7\u00e3o da mesma medi\u00e7\u00e3o se o motor do britador possu\u00edsse o acionamento com inversor de frequ\u00eancia.

Gráfico 9 – Acionamento real x Acionamento por inversor (simulado)



Fonte: Autor 2018

No gráfico, pode-se observar o desempenho do consumo de potência ativa registrado na primeira medição (em verde) e a simulação feita através dos cálculos descritos acima (em azul). O gráfico mostra que o inversor poderá fornecer uma economia considerável do consumo de potência, mostrando que o acionamento do motor com inversor de frequência é mais indicado, pois possui um melhor controle de velocidade do motor, garantindo uma eficiência do seu desempenho.

## **5 CONCLUSÃO**

Este trabalho apresenta um estudo de métodos de acionamentos de motores de indução buscando descobrir qual dispositivo é mais eficiente para o processo de britagem.

Para chegar na conclusão foram precisos testes em laboratório, utilizando um motor na escala de 100:1 com acionamentos por inversor e autotransformador.

Como apresentado no capítulo 4, pode-se concluir que o método com inversor de frequência é mais eficiente que o autotransformador. Conforme descoberto nos testes, ele poderá apresentar uma economia de até 40% no consumo de potência ativa.

O inversor controla o torque e a velocidade, permitindo que mesmo na partida ou com velocidade mais baixa o motor tenha um torque maior. Pois quando ocorre o acionamento do motor, ele sai da inércia e passa para a capacidade máxima de trabalho em um espaço de tempo muito curto, o que prejudica muito os seus componentes diminuindo sua vida útil, aumentando o número de manutenções do motor. O inversor consegue controlar essa partida, fazendo com que o motor tenha uma partida suave, sem trancos, evitando o desgaste dos seus componentes, aumentando a sua vida útil e diminuindo o gasto com manutenções.

O inversor pode ser configurado para que o motor tenha além da partida suave, também uma parada suave evitando frenagens bruscas.

Como apresentado no capítulo 2, os motores possuem a maior parcela do consumo de energia dentro do setor industrial. Sendo assim estudos para aumentar sua eficiência são muito importantes, ainda mais em setores que ainda não foram comprovados a aplicação do inversor como é o caso de britadores.

### **5.1 Trabalhos futuros**

Realizar um estudo para saber qual seria a economia do acionamento com o inversor em termos financeiros, fazer um payback, para saber se realmente vale a pena investir neste sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENVENUTI, R. A. *Plataforma para Simulação e Implementação de Técnicas de Controle de Máquinas de Indução Trifásicas e Pentafásicas*. 2014. 158 fls. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2014.

BRITADOR SÃO GERALDO LTDA. *Nossa Empresa – Excelência e Qualidade*. Disponível em: < <http://www.britadorsaogeraldo.com.br/institucional>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2018.

BRITADOR SÃO GERALDO LTDA. *Produtos – Produtos de Ótima Qualidade*. Disponível em: < <http://www.britadorsaogeraldo.com.br/produtos>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2018.

FRANÇA, F. A. *Ecoeficiência de Circuitos de Cominuição*. 09/2011. 91 fls. Projeto de Graduação em Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10004526.pdf>>. Acesso em: 18 de setembro de 2018.

LOPO, E. B. *Modelagem de Métodos de Partida de MIT Utilizando Matlab/Simulink*. 2014. 38 fls. Monografia de Graduação. Faculdade UnB Gama – FGA, Curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2014. Disponível em: < <http://bdm.unb.br/handle/10483/20074>>. Acesso em: 07 de novembro de 2018.

LUZ, A. B. da. et al. *Tratamentos de Minérios*. 2004. 867p. 4. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. Disponível em: < [http://www.cetem.gov.br/livros/item/download/70\\_55ddcaf11c5ca933d267e0a03c84f9cc](http://www.cetem.gov.br/livros/item/download/70_55ddcaf11c5ca933d267e0a03c84f9cc)>. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

MARTINS, M. P. de S. *Inovação Tecnológica e Eficiência Energética*. 10/1999. 51 fls. Monografia de Pós-Graduação (MBA Em Energia Elétrica) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/ELB/data/documents/storedDocuments/%7B8560E99F-A6A6-428C-965E-619167F03211%7D/%7B91673F5B-A790-481B-B5F0-DC88BE4A0189%7D/monografia01.pdf>> Acesso em 15 de maio de 2018.

MELLO, R. L. C. *Eficiência Energética em Motores Elétricos Trifásicos de Indução*. 2013. 7 fls. Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Automação e Controle Industrial, Instituto Nacional de Telecomunicações. Disponível em:

<<https://www.inatel.br/biblioteca/pos-seminarios/seminario-de-automacao-industrial-e-sistemas-eleto-eletronicos/2013-2/9733-eficiencia-energetica-em-motores-eletricos-trifasicos-de-inducao/file>>. Acesso em 22 de setembro de 2018.

MORAES, E. *10 partidas de motores que você precisa conhecer*. Versão 1.0. [www.saladaeletrica.com.br](http://www.saladaeletrica.com.br). 01/01/2014. 39 fls. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2588967/mod\\_resource/content/1/10-partidas-de-motores-que-voce-precisa-conhecer-Versao-1.01.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2588967/mod_resource/content/1/10-partidas-de-motores-que-voce-precisa-conhecer-Versao-1.01.pdf)> Acesso em 25 de outubro de 2018.

MUNDO DA ELÉTRICA. *Como Funciona o Inversor de Frequência*. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-o-inversor-de-frequencia/>>. Acesso em: 19 de outubro de 2018.

OLIVEIRA, C. A. de, GOMES, L. C. *Estudo do Desempenho do Motor de Indução Trifásico Acionado a Velocidade Variável com Utilização de Técnicas Digitais*. 05/2015. 24 fls. Graduação do Curso de Engenharia Elétrica - Sistemas de Energia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Monica. Uberlândia, 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/27319/16507>>. Acesso em: 15 de novembro de 2018.

PEREIRA, S. *Relatório APS3: Dimensionamento de Soft-Starter e Inversor de Frequência e Desenho de Painel Elétrico*. 11/2011. 32 fls. Engenharia Elétrica, Acionamentos Elétricos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. Pato Branco, 2011. Disponível em: <[https://www.ebah.com.br/content/ABAAe3\\_oAF/dimensionamento-partidas](https://www.ebah.com.br/content/ABAAe3_oAF/dimensionamento-partidas)>. Acesso em: 10 de novembro de 2018.

RODRIGUES, A. F. et al. *Eficiência Energética Em Empresas de Pequeno Porte*. 2016. 16 fls. UniFOA – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda. 2016. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/29824325.pdf>> Acesso em 10 de maio de 2018.

SANTOS, A. H. M. et al. *Eficiência Energética – Teoria & Prática*. 1. ed. Itajubá: Eletrobrás / Procel Educação, 2007. 244p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Efic%20En-Teoria%20e%20Pratica-Eletr-Procel-Unifei%20-07.pdf>>. Acesso em: 18 de setembro.

VIANA, A. N. C. et al. *Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações*. 1. ed. Campinas. SP, 2012. 315p. Disponível em: <[https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/Livro\\_Eficiencia\\_Energetica.pdf](https://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientiza%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica/Livro_Eficiencia_Energetica.pdf)>. Acesso em 11 de maio de 2018.

WEG S. A. *Manual para Correção do Fator de Potência*. São Paulo, 40p. Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/downloads/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em 11 de julho de 2018.

WEG S. A. *Manual do Inversor de Frequência*. Serie CFW-09. São Paulo, 2011. 358p. Disponível em: <<http://jd.sitesdosul.com/blogjd/wp-content/uploads/2017/08/WEG-cfw-09-manual-do-usuario-0899.5298-4.4x-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 19 de novembro de 2018.

WEG S. A. *Guia de Aplicação: Inversores de Frequência*. 3. ed. 266p. Disponível em: <<https://www.sidrasul.com.br/wp-content/uploads/2014/09/Guia-de-Aplica%C3%A7%C3%A3o-de-Inversores-de-Frequ%C3%Aancia-WEG-3%C2%AA-Edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 07 de novembro de 2018.

## APÊNDICE A TERMO DE AUTORIZAÇÃO DO ESTUDO NO BRITADOR

### Termo de autorização para uso de informações privadas

Aqui representando a empresa BRITADOR SÃO GERALDO LTDA, localizada na rua Manoel Gonçalves de Castro, número 836, bairro Esplanada, em Caratinga-MG, inscrita no CNPJ com o número 19.433.705/0001-20, autorizo por meio deste termo a utilização e publicação de informações referentes aos dados elétricos e técnicos da empresa, pelo graduando em Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga Márcio Henrique de Miranda Santos inscrito no CPF \*\*\*\*\* como objeto de estudo para obtenção dos créditos do trabalho de conclusão de curso de autoria do mesmo realizado no segundo semestre de 2018.

Caratinga, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018.

Assinatura: \_\_\_\_\_

Eng. Thais de So  
C00-M0-10400/D