

## SUMÁRIO

- 1 - INTRODUÇÃO E CAMPO DE APLICAÇÃO
- 2 - CONCEITOS BÁSICOS
- 3 - MOTORES ELÉTRICOS
- 4 - MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUÇÃO
- 5 - MOTORES MONOFÁSICOS
- 6 - CARACTERÍSTICAS NOMINAIS
- 7 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS
- 8 - CARACTERÍSTICAS DAS CARGAS ACIONADAS
- 9 - CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES DE INDUÇÃO
- 10 - PARTIDA DOS MOTORES DE INDUÇÃO15
  - Limitação da Corrente de Partida
  - Considerações sobre Flutuação de Tensão
- 11 - MÉTODO DE CÁLCULO DE FLUTUAÇÃO DE TENSÃO E REDUÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO EM REGIME PARA MOTORES TRIFÁSICOS
  - Método Simplificado Método Analítico
  - Método Computacional (escolhido)
  - Exemplo de Aplicação
- 12 - MÉTODO DE CÁLCULO PARA MOTORES MONOFÁSICOS
  - Desequilíbrio de Tensão
  - Exemplo de Aplicação
  - Flutuação de Tensão na partida



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

- 13 - FOLHAS DE DADOS DO CONSUMIDOR
  - 14 - CRITÉRIOS DE ANÁLISE PARA ATENDIMENTO
  - 15 - PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE PARA OS MOTORES ELÉTRICOS
  - 16 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO - MÉTODO COMPUTACIONAL
    - Para Motores Trifásicos
    - Para Motores Monofásicos
    - Análise dos exemplos
  - 17 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
- ANEXOS

## 1 - INTRODUÇÃO E CAMPO DE APLICAÇÃO

A presente norma, trata dos motores elétricos trifásicos e monofásicos de indução, e tem objetivos básicos:

- estabelecer um modelo otimizado de cálculo, afim de se quantificar os efeitos causados, pelo acionamento de motores elétricos na rede de distribuição da CPFL ;
- estabelecer critérios fundamentais para atendimento desses motores, objetivando assegurar a manutenção da qualidade do fornecimento de energia elétrica a todos os consumidores ; e
- fornecer ao usuário, uma quantidade suficiente de informações sobre a máquina propriamente dita, afim de auxiliá-lo quando da elaboração de uma análise técnica.

### Âmbito de Aplicação : Distribuição

## 2 - CONCEITOS BÁSICOS

### A - Barra

Qualquer ponto significativo do sistema, em que se queira destacar qualquer grandeza elétrica.

### B - Barramento Infinito

É uma barra do sistema que contém potência de curto circuito infinita, na qual não existe variações de tensão ou de frequência.

### C - Tensão de Alimentação

É a tensão efetivamente recebida pelo consumidor, no ponto de entrega de energia, em condições normais de operação.

### D - Ponto de Entrega

É a barra em que, o sistema da CPFL se interliga ao circuito do consumidor.

### E - Queda de Tensão

Qualquer redução verificada na tensão de alimentação. Produzida pela ligação de cargas no sistema.

## F - Flutuação de Tensão

É uma série de variações na tensão, podendo ser regulares ou não.

## G - Flicker

É a impressão visual de uma variação na luminosidade, regular ou não, podendo, dependendo do grau, causar irritações à visão do ser humano.

## 3 - MOTOR ELÉTRICO

O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica de utilização.

Existem vários tipos de motores elétricos empregados em instalações, porém, por sua maior aplicação nesta área, devido à simplicidade de construção, vida útil longa, custo reduzido de compra e manutenção, esta norma irá tratar somente dos motores elétricos assíncronos de indução.

Serão abordados os motores trifásicos e os monofásicos.

Para outros tipos de motores consultar a Engenharia, para elaboração de estudos específicos.

## 4 - MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUÇÃO

### 4.1 CONSTRUÇÃO

Estas máquinas são constituídas basicamente por duas partes distintas:

#### a) Estator

É formado por três elementos: a carcaça, que corresponde à estrutura de suporte do rotor; o núcleo, constituído de chapas de material ferromagnético adequadamente fixadas ao estator; e um enrolamento trifásico com bobinas espaçadas entre si de 120 graus geométricos, dimensionado em material condutor e dispostos em ranhuras sobre o núcleo.

#### B - Rotor

Formado também por três elementos: o eixo, responsável pela transmissão da potência mecânica gerada; o núcleo constituído de chapas de material ferromagnético e os enrolamentos, constituídos de material condutor dispostos em ranhuras sobre o núcleo.

O rotor pode ser constituído de duas maneiras:

#### B.1 - Rotor bobinado

Contém os enrolamentos formados por bobinas alojadas nas ranhuras do rotor, compondo um enrolamento trifásico com mesmo número de pólos do estator.

Três terminais de mesma polaridade são geralmente ligados em estrela, e os demais ligados em anéis deslizantes, os quais, através de escovas, são ligados a um reostato de partida. Deste modo pode-se variar a resistência rotórica, oferecendo assim um importante recurso durante a partida do motor.

#### B.2 - Rotor em gaiola

Constituído por um conjunto de barras não isoladas e interligadas através de anéis curto-circuitados.

Por sua maior aplicação, será este tipo de motor, objeto de maiores detalhes deste trabalho.

### 4.2 - FUNCIONAMENTO

O motor de indução opera normalmente a uma velocidade constante, a qual varia ligeiramente com a aplicação de carga no eixo.

O funcionamento do motor baseia-se no princípio da formação de um campo magnético rotativo produzido no estator pela passagem da corrente alternada em suas bobinas, cujo fluxo, por efeito de sua variação, se desloca em volta do rotor, gerando nestas correntes induzidas que tendem a opor-se ao campo rotativo, sendo no entanto arrastado por este.

O rotor em nenhuma hipótese atinge a velocidade do campo rotórico, pois do contrário, não haveria geração de correntes induzidas, eliminando o fenômeno magnético rotórico, responsável pelo trabalho mecânico do rotor.

Quando o motor está girando sem a presença de carga mecânica no eixo, comumente chamado “motor a vazio”, o rotor desenvolve uma velocidade angular de valor praticamente igual a velocidade síncrona do campo girante do estator.

Adicionando-se carga no eixo, o rotor diminui sua velocidade.

A diferença existente entre a velocidade síncrona e do rotor, é denominada de escorregamento, que representa a fração de rotação que perde o rotor, a cada rotação do campo rotórico.

A potência desenvolvida por um motor, representa a rapidez com que a energia é aplicada para mover a carga. Por definição, potência é a relação entre a energia gasta para realizar um determinado trabalho, e o tempo em que o mesmo foi executado.

Isto poderá ser explicado se considerarmos a potência para levantar um objeto pesando 50 kgf do fundo de um poço de 40m de profundidade, durante um período de tempo de 27s. A energia gasta foi de  $50 \text{ kgf} \times 40\text{m} = 2000 \text{ kgfm}$ .

Como o tempo para realizar este trabalho foi de 27s, a potência exigida pelo motor foi de  $PM1 = 2000/27 = 74 \text{ kgfm/s}$ .

Se o mesmo trabalho fosse realizado em 17s., a potência do motor seria  $PM2 = 2000/17 = 117 \text{ kgfm/s}$ . Considerando que 1CV corresponde a 75 kgmf/s, então a potência dos motores seriam :  $PM1 = 74/75 = .98 = 1 \text{ CV}$ ;  $PM2 = 117/75 = 1.56 = 1.5 \text{ CV}$ .

## 5 - MOTORES MONOFÁSICOS

Os motores monofásicos são menos utilizados nas instalações quando comparados aos trifásicos e, na maioria dos casos, são de pequenas potências (em geral até 15 cv). Estas máquinas são providas de um segundo enrolamento colocado no estator, e defazado de 90 graus elétricos do enrolamento principal. Desta forma produz-se no entreferro da máquina um campo magnético alternado oscilante, que pode ser decomposto em dois campos de igual magnitude.

Com o motor parado (escorregamento = 1), os conjugados produzidos pelos campos que estão em oposição se anulam, resultando desta forma num conjugado de partida pequeno.

Por este motivo, é que não existe motor monofásico com rotor bobinado.

A sua construção é idêntica ao dos motores trifásicos, exceto o dispositivo de partida. Para se conseguir o defasamento dos campos de 90 graus, coloca-se em série com o enrolamento auxiliar um condensador, que é retirado do circuito após o rotor atingir uma determinada velocidade.

## 6- CARACTERÍSTICAS NOMINAIS

## 6.1 - POTÊNCIA NOMINAL - $P_n$ ( CV )

É a potência que o motor pode fornecer, dentro de suas características nominais, em regime contínuo.

## 6.2 - TENSÃO NOMINAL - $V_n$ ( V )

É a tensão da rede para qual o motor foi projetado. Por norma o motor deve ser capaz de funcionar satisfatoriamente quando alimentado com tensões até 10% acima ou abaixo de sua tensão nominal, desde que sua frequência seja a nominal.

Se houver simultaneamente, variações na frequência, a tolerância de variação de tensão é reduzida, de modo que a soma das duas variações (tensão e frequência) não ultrapasse 10%.

Os efeitos aproximados da variação de tensão sobre as características do motor, estão mostrados no Anexo 1.

As tensões mais usadas em redes de baixa tensão são 220V, 380V e 440V.

A grande maioria dos motores tem terminais de enrolamentos religáveis, de modo a poderem funcionar em redes de pelo menos duas tensões diferentes. Os principais tipos são:

### A - Ligação SÉRIE - PARALELO

O enrolamento de cada fase é dividido em duas partes, ligando as duas metades em série, cada enrolamento fica com a metade da tensão de fase nominal do motor. Da mesma forma ligando as duas metades em paralelo, o motor poderá ser alimentado com uma tensão igual a metade de tensão anterior, mantendo a tensão em cada enrolamento igual para os dois casos.

O tipo de tensão (dupla) mais comum para esta ligação é 220/440V, ou seja, o motor em 220 ficaria em paralelo e, em 440V em ligação série.

A figura explicativa para esta ligação está no Anexo 2-A.

### B - Ligação ESTRELA - TRIANGULO

Ligando as três fases em estrela, o motor pode ser ligado a uma linha com tensão igual a 380V. Se ligarmos as três fases em triângulo, cada fase receberia a tensão de 220V ( $380/\sqrt{3}$ ), mantendo, para os dois casos a tensão no enrolamento do motor (vide Anexo 2-B).

### 6.3 - FREQUÊNCIA NOMINAL - Fn - (Hz)

É a frequência da rede para qual o motor foi projetado.

Por norma a máquina pode funcionar satisfatoriamente com frequências até 5% acima ou abaixo de sua frequência nominal.

Como ainda encontra-se alguns motores enrolados para 50 Hz, o Anexo 4-A converte as características do motor para 60Hz.

### 6.4 - CORRENTE NOMINAL - In(A)

É a corrente que o motor absorve da rede quando funciona a potência nominal, sob tensão e frequência nominais.

A corrente nominal é dada por:

$$I = \frac{736 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot N \cdot FP} \quad (A) \quad (1)$$

onde: V = tensão nominal de linha (V)

N = rendimento da máquina

FP = fator de potência

P = potência nominal (CV)

### 6.5 - VELOCIDADE NOMINAL – Nn (RPM)

É a velocidade que o motor atinge em regime permanente à potência nominal, sob tensão e frequência nominais.

A velocidade depende do escorregamento (s) e da velocidade síncrona (Ns).

Seu valor é dado por:

$$Nn = Ns \times \left(1 - \frac{S\%}{100}\right) \quad (2)$$

## 7 - OUTRAS CARACTERÍSTICAS

### 7.1 - REGIME DE TRABALHO



É o grau de regularidade da carga a que o motor está submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo, isto é, para carga constante, por tempo indefinido e igual a potência nominal do motor.

A indicação do regime deve ser feita pelo comprador, da forma mais exata possível.

Os tipos de regime são :

a - Regime contínuo ( S1 )

Carga de duração constante tal que se alcance o equilíbrio térmico. Ver Anexo 3-A.

b - Regime de tempo limitado ( S2 )

Carga constante, num intervalo de tempo, sem alcançar o equilíbrio térmico, seguido de um período de repouso de duração suficiente para restabelecer a igualdade de temperatura com o meio refrigerante. Ver Anexo 3-B.

c - Regime intermitente Periódico ( S3 )

Regime cíclico, cada qual incluindo um período de funcionamento a carga constante, e um período de repouso sem que atinja o equilíbrio térmico.  
Ver Anexo 3-C.

d - Regime Intermitente periódico com Partidas ( S4 )

Regime cíclico, cada qual incluindo um período de partida, um período a carga constante e um de repouso, sem que atinja o equilíbrio térmico.  
Ver Anexo 3-D.

e - Regime Intermitente periódico com Frenagem ( S5 )

Regime cíclico, cada qual incluindo de um período de partida, um período a carga constante, um de frenagem elétrica rápida, e um período de repouso, sem que atinja o equilíbrio térmico. Ver Anexo 3-E.

## 7.2- GRAU DE PROTEÇÃO ( IP\_ \_ )

É um grau padronizado, que define o tipo de proteção do motor contra a entrada de agentes externos e estranhos na máquina.

A norma da ABNT que trata deste item, define como notação do grau de proteção as

letras IP, seguida de dois algarismos, que são:

- Algarismo 1: indica o grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos, e contato acidental.

- 0 – sem proteção
- 1 – corpos estranhos de dimensões acima de 50mm
- 2 – idem, acima de 12mm
- 4 – idem acima de 1 mm
- 5 – proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao motor

- Algarismo 2: indica o grau de proteção contra penetração de água no interior do motor.

- 0 – sem proteção
- 1 – pingos de água na vertical
- 2 – pingos de água até a inclinação de 15 graus com a vertical
- 3 – água de chuva até a inclinação de 15 graus com a vertical
- 4 – respingos de todas as direções
- 5 – jatos de água de todas as direções
- 6 – água de vagalhões
- 7 – imersão temporária
- 8 – imersão permanente

Os tipos mais usuais encontrados são IP12, IP22, IP23 e IP44.

### 7.3 - CLASSE DE ISOLAMENTO

A norma agrupa os materiais isolantes e os sistemas de isolamento, no que denomina de classe de isolamento, e são limitados pela temperatura que cada material isolante pode suportar em regime contínuo, sem que seja afetada a sua vida útil.

As classes de isolamento empregadas em máquinas elétricas são:

Classe A – limite 150°C

Classe E – limite 120°C

Classe B – limite 130°C

Classe F – limite 155°C

Classe H – limite 180°C

#### 7.4- CÓDIGO DE PARTIDA (COD)

É a indicação padronizada, através de uma letra, da corrente de rotor bloqueado do motor, sob tensão nominal.

O código é dado por :

$$KVA/CV = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I_p}{P \cdot 1000} \quad (3)$$

Onde :  $I_p$  = corrente de partida, ou de rotor bloqueado

P = potência do motor em CV

Os valores relativos às letras são mostrados no Anexo 4-B.

#### 7.5 - CONJUGADO MECÂNICO

Conhecido também como Torque, esta grandeza traduz o esforço que o motor deve Ter para movimentar seu eixo. Como o conjugado varia com a velocidade, contendo instantes distintos desde a partida até o regime, define-se então os conjugados para cada etapa:

##### A - CONJUGADO NOMINAL (CN)

É aquele que o motor desenvolve, à potência nominal, quando submetido a tensão e frequência nominais.

Em se tratando de tensões trifásicas desequilibradas, a componente de sequência negativa da corrente, produz um torque negativo próximo a 0,55 do nominal, para um desequilíbrio da ordem de 10% na tensão do ponto de alimentação.

Mesmo que este fato, na prática, seja de pouca relevância, tem uma certa influência nas perdas ôhmicas da máquina.

##### B - CONJUGADO DE PARTIDA ( CP )

Conhecido também como conjugado de arranque ou de rotor bloqueado, é aquele desenvolvido pelo motor durante a partida, sob condições nominais de tensão e frequência.

O conjugado deve Ter um valor elevado, para que o motor possa acionar a carga, desde a posição de inércia até a velocidade nominal (em regime), num tempo reduzido,

principalmente quando é utilizada uma chave de partida, ou quando exista uma queda de tensão considerável até os terminais do motor.

#### C - CONJUGADO BÁSICO (CB)

É aquele conjugado quando a máquina aciona carga nominal a velocidade nominal (Nn).

Matematicamente é obtido da seguinte forma:

$$CB = \frac{716.P}{Ns}$$

Onde : P = potência do motor em CV  
Ns = velocidade síncrona

#### D - CONJUGADO MÁXIMO (CMA)

É o conjugado de maior valor produzido pelo motor, nas condições nominais de tensão e frequência, sem variações bruscas de velocidade.

O conjunto máximo também deve Ter um valor elevado, capaz de assimilar satisfatoriamente os eventuais picos de carga, e também, manter a velocidade angular num valor razoável, quando da ocorrência de quedas de tensão no sistema de suprimento.

#### E - Conjugado Mínimo (CMI)

É o menor valor de conjugado desenvolvido pelo motor, desde a velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo.

Na partida este valor não pode ser muito pequeno, pois caso contrário, a partida será mais demorada, sobreaquecendo o motor, especialmente nos casos de alta inércia, ou partida com tensão reduzida.

#### F - CONJUGADO DE ACELERAÇÃO (CA)

É aquele que o motor desenvolve desde a velocidade zero, até a velocidade em regime.

Analisando o Anexo 5, observa-se que, o conjugado de aceleração dá-se pela diferença entre as curvas do conjugado do motor e da carga, ou melhor, pela integração (área A) da diferença das curvas.

Este conjugado é o principal responsável pelo tempo de aceleração da máquina, ao acionar uma carga. De outra forma, quanto maior for a área “A”, menor o tempo de aceleração.

## 7.6 - CATEGORIA

Os motores elétricos são classificados em categorias, conforme suas características de conjugado em relação à corrente de partida e a velocidade, adequadas para cada tipo de carga.

A especificação brasileira de motores de indução NBR-7094, define as características de partida dos motores que são aqui descritas resumidamente:

A - CATEGORIA A : conjugado de partida normal; corrente de partida alta; baixo escorregamento (menor que 5%). Motores usados onde não há problemas de partida nem limitações de corrente.

B - CATEGORIA B : conjugado de partida normal; corrente de partida normal; baixo escorregamento.  
Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado, e prestam-se ao acionamento de cargas normais como: bombas, máquinas operatrizes, etc.

C - CATEGORIA C : conjugado de partida alto; corrente de partida normal; baixo escorregamento.  
Usados para cargas que exigem maior conjugado na partida como: transportadores carregados, peneiras, cargas de alta inércia.

D - CATEGORIA D: conjugado de partida alto; corrente de partida normal; alto escorregamento (mais que 5%).  
Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos.  
Usados também em elevadores e cargas que necessitam de conjugado de partida elevado, e corrente de partida limitada.

E - Categoria F: Conjugado de partida baixo; corrente de partida baixa; baixo escorregamento. Pouco usados, destinam-se a cargas com partidas freqüentes, porém, sem a necessidade de altos conjugados, e onde é importante limitar a corrente de partida.

**Obs.:** O conjugado mínimo de motores trifásicos de gaiola, categoria C, não deve ser inferior a 70% do seu conjugado com rotor bloqueado.

As curvas Conjugado x Velocidade das diferentes categorias estão mostradas no Anexo 5-B.

As curvas Conjugado Resistente x Potência Requerida estão no Anexo 6.

## 8 - CARACTERÍSTICAS DAS CARGAS ACIONADAS

### BOMBAS:

São equipamentos destinados a fornecer energia a um fluido, afim de promover seu deslocamento.

Bombas centrífugas, apresentam uma curva de conjugado parabólico, com um conjugado de partida da ordem de 10% a 20% do conjugado nominal, e que normalmente não apresentam inércia elevada.

Bombas a pistão apresentam uma curva de conjugado constante, semelhante a dos compressores a pistão.

### COMPRESSORES:

São máquinas destinadas a produzir a compressão de gases. Os compressores centrífugos apresentam uma curva de conjugado parabólico, semelhante às curvas de conjugado das bombas.

Os compressores a pistão apresentam uma curva de conjugado aproximadamente constante com a rotação, necessitando de um conjugado de partida da ordem de 1 a 1.5 vezes o conjugado nominal.

### VENTILADORES:

São máquinas rotativas capazes de aumentar a energia de um fluido pelo aumento da pressão estática e cinética.

Tem um curva de conjugado parabólica, com um conjugado de partida da ordem de 10% a 15% do nominal. Por apresentarem alta inércia, os ventiladores maiores podem necessitar de conjugados de partidas elevados, da ordem de 1 a 1.5 vezes o nominal.

### TRANSPORTES CONTÍNUOS:

São sistemas para transporte e despacho de grande quantidade de material, por um percurso fixo de transporte. São cargas de conjugado aproximadamente constante, que apresentam elevada inércia, especialmente para partidas com carga.

Requerem um conjugado de partida que pode chegar a 1.5 vezes o conjugado nominal.

#### BRITADORES:

São máquinas utilizadas para quebra e redução de materiais de alta ou baixa dureza, e empregados geralmente em pedreiras, minerações, indústria de cimento, etc.

Os britadores apresentam uma curva de conjugado resistente aproximadamente constante com a velocidade, necessitando de um conjugado de partida próximo do nominal.

Para acionamento com carga, podem necessitar de um conjugado de partida de 1,5 vezes o nominal.

#### GUINDASTES:

São máquinas eletromecânicas, que pela utilização de uma relação força-velocidade, prestam-se ao levantamento e translação de cargas.

Apresentam uma curva de conjugado aproximadamente constante com a rotação, necessitando de um conjugado de partida igual ao conjugado nominal.

As características de conjugado x velocidade para diversas cargas, estão contidas no Anexo 7.

## 9 - PROTEÇÃO DOS MOTORES DE INDUÇÃO

A proteção dos motores de indução deve ser estudada isoladamente para cada tipo de motor, regime de funcionamento e tipo de carga.

Em geral, a proteção dos motores elétricos são contra sobrecarga e curto circuito, dos quais podemos fazer algumas anotações:

A - SOBRECARGA: É uma corrente que, se persistir por um determinado tempo, causará danos ou sobreaquecimentos prejudiciais a máquina. Não se incluem aqui as correntes de curto circuito fase-fase e fase-terra.

A vida útil do motor poderá ser drasticamente reduzida se, seus enrolamentos forem sujeitos a uma elevação de temperatura superior aquela para qual fora projetado.

São várias as causas que podem resultar numa sobrecarga, dentre elas podemos citar: carga mecânica excessiva; baixa tensão; alta tensão que possa causar saturação no ferro; tensões desbalanceadas; operações monofásicas; ciclo de trabalho pesado; temperatura elevada do ambiente; circulação de correntes harmônicas, etc.

Para proteção de sobrecarga, são usados os relés térmicos, que simulam aproximadamente as condições de temperatura do enrolamento. Este dispositivo deve Ter um tempo para atuação tal que, coordene com o tempo de aceleração do motor.

**B - CURTO CIRCUITO:** Em todos os casos devem conter a pressão contra curto-circuito entre fases no enrolamento do estator, sendo que, nos sistemas com neutro aterrado deve ser incluída a proteção entre fase e terra.

Para este tipo de proteção usam-se fusíveis.

Em muitos casos, são empregados disjuntores com uma unidade térmica e uma unidade eletromagnética, para a proteção contra sobrecarga e curto circuito respectivamente.

Nos motores de grande porte encontram-se também proteção contra subtensão. Neste caso também deve-se tomar cuidado com seu ajuste, pois caso contrário corre-se o risco de o motor não partir, haja visto que, na partida há uma queda natural de tensão.

## 10 - PARTIDA DOS MOTORES DE INDUÇÃO

Os motores de indução quando na partida, solicitam da rede de alimentação uma corrente de valor elevado, da ordem de 5 a 10 vezes sua corrente nominal. Desta forma, o circuito que inicialmente, fora projetado para conduzir a corrente nominal do motor, é solicitado agora por uma corrente de partida durante um certo período de tempo.

Em consequência, o sistema fica submetido a uma queda de tensão normalmente muito superior aos limites estabelecidos para o funcionamento em regime, podendo provocar sérios distúrbios operacionais nos equipamentos de outros consumidores (comando e proteção), além de afetar o desempenho da iluminação, notadamente a incandescente.

Como veremos a seguir, a variação de tensão ou flutuação de tensão, está intimamente ligada a variação de potência reativa da carga provocada no sistema.



Os motores de indução tem como característica básica de partida, além de grande corrente inicial, um baixo fator de potência (da ordem de 25%), consumindo da rede quase que somente potência reativa, causando assim flutuações de tensão, que dependendo da rede poderá ser significativa.

## 10.1 - LIMITAÇÃO DA CORRENTE DE PARTIDA

- Para motores trifásicos e monofásicos - com rotor em gaiola.

### A - PARTIDA COM PLENA TENSÃO - PARTIDA DIRETA (DIR)

Por norma o motor deve suportar a partida a plena tensão, isto é, deve suportar os esforços mecânicos nas bobinas, devidos a essas correntes, bem como seus efeitos térmicos.

O Anexo 4-B mostra os limites de kVA/CV por norma que a máquina deve suportar.

O conjugado disponível nos terminais da máquina é dado por:

$$C_p = C_n \times \left( \frac{V_t}{V_n} \right)^2 \quad (5)$$

Onde:

$V_t$  = tensão nos terminais da máquina em volts ou pu

$V_n$  = tensão nominal da máquina em volts ou pu

$C_n$  = conjugado nominal da máquina em Kgfm ou pu.

### B - PARTIDA COM TENSÃO REDUZIDA

Quando as características da rede de alimentação, ou de outros consumidores ligados a ela, tornam-se inaceitáveis as correntes de partida dos motores, usam-se dispositivos de partida destinados a reduzir temporariamente a tensão nos terminais da máquina.

Usualmente são empregados os seguintes dispositivos:

#### I - CHAVE ESTRELA TRIANGULO (CET)

É um dispositivo que liga as três fases do motor em estrela, durante a partida, e após a máquina atingir uma velocidade próxima a nominal, comuta as ligações para triângulo.

Isto significa que a tensão por fase na ligação de partida (estrela) é  $1/\sqrt{3}$  vezes a tensão de linha de rede.

Na ligação de marcha (triângulo), a tensão por fase é igual a tensão de linha. Para que a operação seja possível, é preciso que as três fases tenham terminais independentes (seis terminais), de modo que possam ser conectados nas duas ligações.

Isto ocorre naturalmente em motores de tensão dupla, em que as tensões guardam entre si a relação  $1/\sqrt{3}$ , e a tensão inferior é igual a tensão da rede.

A corrente e o conjugado de partida são reduzidos em  $1/3$ . O esquema de ligação (Anexo 8-A) contém 3 contatores (c1, c2, c3). Inicialmente fecha-se os contatores c1 e c2 ligando-se o motor em estrela. Após um certo tempo é aberto o contator c2 e fechado o c3, o motor passa para a ligação em triângulo.

## II - CHAVE COMPRESSADORA - AUTO TRANSFORMADOR (CAT)

É um dispositivo que aplica tensão reduzida ao motor durante a partida, através de um autotransformador. Depois de o motor acelerar até uma velocidade próxima da nominal, o auto trafo é retirada do circuito, e o motor ligado diretamente a rede com tensão nominal.

Para este método ser aplicável, não há restrições quanto às ligações internas do motor, que funciona sempre em sua ligação normal de marcha.

Os autotransformadores destes dispositivos são dotados de taps diversos, que permitem um melhor ajuste da tensão de partida.

Normalmente encontram-se os taps de 50%, 65% e 80%.

A ligação contém 3 contatores (Anexo 8-B)

Inicialmente fecha-se os contatores c1 e c3 ficando o motor com tensão reduzida. Passado um determinado tempo, é aberto o contator c3, e logo após, fechado c2, ligando o motor a plena tensão. Finalmente é aberto o contator c1.

## III - CHAVE SÉRIE PARALELO (CSP)

A condição para esta ligação, é que os enrolamentos do motor tenham sido divididos em duas partes iguais.

Inicialmente liga-se as bobinas em série, de modo que cada bobina do enrolamento fique submetida a metade de tensão nominal para a qual foi projetada, enquanto a

corrente e o conjugado de partida ficam reduzidos a 1/4 do valor que alcançariam se as bobinas estivessem em paralelo.

A ligação contém 4 contatores (Anexo 8-D)

Inicialmente fecha-se os contatores c1 e c3, ligando as bobinas em série. Passado um determinado tempo é aberto o contator c3 e fechados c2 e c4, passando-se a ligação em paralelo.

#### IV - CHAVE RESISTENCIA REATOR (CRX)

Liga-se em série com o motor (estator), resistência (ou reatores) de forma a obter uma tensão reduzida nos terminais da máquina, devido à queda de tensão na chave.

Este método proporciona uma aceleração suave, haja visto que a queda de tensão se reduz com a corrente a medida que o motor acelera.

Em geral a queda de tensão nas resistências varia entre 15 e 30% da tensão nominal.

Para grandes motores, deverá se usar reatores em vez de resistores, evitando assim perdas e elevação de temperatura durante a partida.  
Ver Anexo 8-C.

**OBS.:** para os motores trifásicos com ROTOR BOBINADO, os enrolamentos do rotor são acessíveis através de anéis deslizantes e escovas. Desta forma pode-se ligar em série com o enrolamento do rotor, resistências, geralmente um reostato variável acionado por contatores.

A medida que o motor acelera, as resistências vão sendo curto - circuitadas gradativamente (proporcionalmente às variações da velocidade), até o motor alcançar sua velocidade nominal, quando não mais existirá resistência inserida ao circuito rotórico (ver Anexo 8-E).

As vantagens e as aplicações de cada chave estão contidas no Anexo 9.

#### 10.2 – CONSIDERAÇÕES SOBRE FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

Entende-se por flutuação de tensão (na partida de um motor) como sendo: uma queda na tensão de alimentação em qualquer ponto do sistema de distribuição, provocada pelo acionamento de uma carga.

A operação destas cargas pode trazer, num determinado período de tempo, uma série de oscilações na tensão, podendo esta série ser regular ou não, dependendo do regime de operação das cargas acionadas.

Desta forma, há se levar em conta a frequência de flutuações provocadas por um consumidor, ou seja, quanto maior o número de oscilações provocadas, menor será o módulo da queda de tensão admissível em cada oscilação.

Posto isto, houve a necessidade de adotarmos uma curva que fornecesse os limites de variações de tensão em função da frequência de oscilação (Anexo 10).

Esta curva, obtida numa Recomendação do Relatório “SCEL-03/79”, cuja função é conhecida e dada por:

$$V\% = \frac{15}{3 + \sqrt{f}}$$

onde: V% = flutuação de tensão admissível em percentagem da nominal.

f = número de oscilações causadas pelo consumidor num intervalo de 1 minuto

Exemplo - Calcular a flutuação de tensão admissível, para um motor com regime de funcionamento de 10 partidas por dia.

$$f = \frac{10}{24 \times 60} = 0.00694$$

$$V\% = \frac{15}{3 + \sqrt{0.00694}} \rightarrow V\% = 4.86$$

## 11. MÉTODOS DE CÁLCULO DE FLUTUAÇÕES DE TENSÃO E REDUÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO EM REGIME PARA MOTORES TRIFÁSICOS

Neste item iremos tratar da metodologia de cálculo da flutuação de tensão e da redução do nível de tensão em regime para motores trifásicos, onde abordaremos três métodos e suas particularidades :

### A - MÉTODO SIMPLIFICADO

**OBS:** Este método será aplicado para o cálculo de desequilíbrio de tensão em motores monofásicos.

Ver item 12-A .1

Este método, pode, de uma maneira prática, calcular a flutuação de tensão na partida, e a queda de tensão em regime para os motores trifásicos. Para os motores monofásicos, o método faz uma boa aproximação para o cálculo do desequilíbrio de tensão.

Desvantagem: Os valores encontrados, através de suas fórmulas que consideram somente os módulos das potências aparentes (ver equações 7 e 8), na grande maioria dos casos, ficam super estimados, fugindo da realidade.

$$\text{na partida : } V_p = 100 \times \frac{S_p}{S_p \times S_{cc}} \quad (7)$$

$$\text{em regime : } V_r = 100 \times \frac{S_n}{S_n \times S_{cc}} \quad (8)$$

onde :

$V_p$  = flutuação de tensão na partida - %

$V_r$  = queda de tensão em regime permanente - %

$S_p$  = potência aparente na partida – kVA

$S_n$  = potência aparente nominal - kVA

$S_{cc}$  = potência aparente de curto circuito no ponto de instalação do motor - kVA

$$\text{com : } S_p = \frac{I_p}{I_n} (\sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n) \text{ (kVA)} \quad (9)$$

$$S_n = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \quad (10)$$

onde:

$I_p/I_n$  = corrente de partida de placa do motor-PU ou A

$V_n$  = tensão nominal - kV

$I_n$  = corrente nominal - A

Determinação de  $S_{cc}$  :

Cada equipamento do sistema (cabo, transformador, motor, gerador, etc), terá uma representação :

- para motores, transformadores e geradores

$$S_c = \frac{S_n}{Z} \quad (11)$$

onde:

$S_c$  = potência de curto circuito aparente do equipamento (kVA)

$S_n$  = potência aparente nominal do equipamento (kVA)

$Z$  = impedância nominal do equipamento (PU)

- para cabos :

$$S_c = \frac{1000 \times V_n^2}{Z_c} \quad (12)$$

onde:

$S_c$  = potência de curto circuito aparente do cabo (kVA)

$Z_c$  = impedância do cabo (Ohm)

$V_n$  = tensão nominal do cabo (kV)

- Equipamentos em série (  $S_{c1}$  e  $S_{c2}$  ) ( 12-A )

$$S_{cc} = \frac{S_{c1} \times S_{c2}}{S_{c1} + S_{c2}} \quad (13-A)$$

- Equipamentos em paralelo (  $S_{c1}$  e  $S_{c2}$  )

$$S_{cc} = S_{c1} + S_{c2} \quad (13-B)$$

## B - MÉTODO ANALÍTICO

Usado para calcular a flutuação de tensão na partida, e a queda de tensão em regime permanente.

Por trabalhar com impedâncias complexas, este método fica mais próximo da realidade comparado ao anterior.

Para maior facilidade nos cálculos usa-se o “sistema por unidade”, (pu), escolhendo como valores de base, a tensão nominal da máquina (tensão de base), e a potência aparente com o rotor da máquina bloqueado (potência de base).

Desvantagem : Este método utiliza impedâncias constantes, ou seja, valores que independem da tensão aplicada nas barras de carga.

A equação (20) explica este fato. Ela considera como 1 pu o valor de tensão para o cálculo de corrente, superdimensionando-a, haja visto que a equação não considera os valores reais de tensão nas barras para cálculo de corrente.

Também, não considera as demais cargas do sistema, gerando um erro considerável, haja visto que estas cargas mudam os níveis de tensão em todas as barras do sistema, alterando todo fluxo de carga.

A seguir segue-se a descrição das equações :

Valores de base:

$$\text{Impedância de base (OHM)} : Z_B = 1000 \times \frac{V_B^2}{S_B} \quad (14)$$

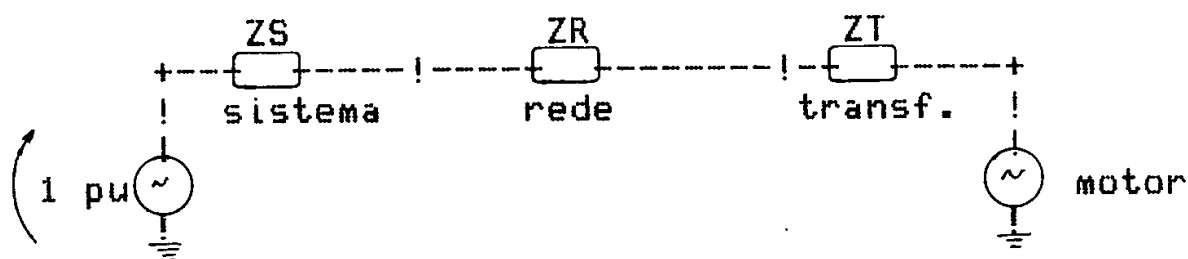
$$\text{Corrente de base (A)} : I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot V_B} \quad (15)$$

onde :

$V_B$  = tensão de base (kV) – (nominal primária ou secundária)

$S_B$  = potência de base (kVA) ( potência na partida da máquina)

Seja o circuito abaixo :



$$ZS = \frac{SB}{S_{cc}} \quad (16)$$

$$ZR = \frac{Z_r}{Z_B} \times \frac{VS^2}{ST} \quad (17)$$

$$ZR = \frac{10 \times Z\%}{Z_B} \times \frac{VS^2}{ST} \quad (18)$$

$$ZM = |z_m| \times \cos \theta_p + |ZM| \times \sin \theta_p \quad (19)$$

para  $SB = S_{partida} \rightarrow ZM = 1$

onde:

$ZS$  = impedância do sistema (pu)

$ZR$  = impedância da rede de distribuição (pu)

$ZT$  = impedância do transformador (pu)

$ZM$  = impedância do motor na partida (pu)

$\cos \theta_p$  = fator de potência na partida

$S_{cc}$  = potência aparente de curto circuito na SE

$VS$  = tensão secundária do transformador

$Z\%$  = impedância percentual do transformador

$ST$  = potência nominal do transformador do consumidor



Após determinar o diagrama de impedâncias em pu, basta fazer :

$$I = \frac{1}{ZS + ZR + ZT + ZM} = \text{corrente do circuito} \quad (20)$$

$$VSE = (ZS + ZT + ZM) \times I \quad (21)$$

$$VPT = (ZT + ZM) \times I \quad (22)$$

$$VST = ZM \times I \quad (23)$$

onde :

I = corrente do circuito devido a partida do motor

VSE = tensão na SE de distribuição

VPT = tensão no primário do transformador

VST = tensão no secundário do transformador

## C - MÉTODO COMPUTACIONAL (MÉTODO ESCOLHIDO)

Este método foi escolhido, pelo fato de ter a capacidade de possibilitar a análise de uma rede com “ n “ barras, dispostas de qualquer forma, levando em consideração a simultaneidade de efeitos causados por vários motores em condições de partida e/ou regime permanente, existentes no circuito.

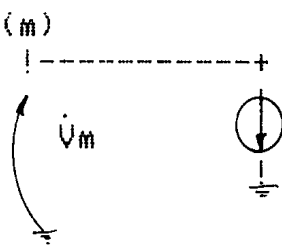
Diferente dos métodos anteriores, este, através de seu processo iterativo, calcula as correntes nas barras de carga, levando em consideração, uma tensão pré-calculada nas respectivas barras.

Cabe salientar que esta metodologia de cálculo não será aplicada às demais cargas especiais (máquinas de solda, aparelhos de raio-x, fornos a arco e fornos de indução), cabendo a estas, um modelo de cálculo distinto para cada tipo de carga.

Cada barra de carga do sistema será considerada como uma fonte de corrente, dada pelo conjugado da relação entre, a potência aparente da carga na barra “m”, e a tensão na mesma barra (valores fasoriais).

Esquemáticamente :

onde :



$$I_m = \left( -\frac{\dot{S}_m}{\dot{V}_m} \right)^* \quad (24)$$

onde :

m = número da barra em estudo

Sm = potência aparente da carga (pu)

Vm = tensão na barra "m" (pu)

\* = sinal de conjugado

## 1 - DETERMINAÇÃO DE Sm

1.1 - Para uma carga qualquer

$$S_m = \sqrt{3} \times V_n \times I_n \times \cos \theta \quad (25)$$

onde :

Vn = tensão nominal da carga

In = corrente nominal da carga

θ = fator de potência da carga

1.2- Para motores elétricos

a - Para condição de regime permanente (R)

A potência útil no eixo do motor é dado por:

$$S = \frac{CV \times 0.736}{FPR \times N} \quad (\text{KVA}) \quad (26)$$

onde :

CV = potência nominal da máquina (CV)

FPR = fator de potência em regime

N = rendimento da máquina

Como, FPR e N, em geral não estão contidos na placa de identificação da máquina, faremos :

$$P = \sqrt{3} \times V_n \times I_n \times FPR \quad (\text{kW}) \quad (27)$$

onde:

V<sub>n</sub> = tensão nominal da máquina (kV)

I<sub>n</sub> = corrente nominal da máquina (A), valor que leva em consideração o rendimento do motor

FPR = fator de potência em regime

Para FPR, caso não disponível, serão consideradas as seguintes faixas de valores:

$$\text{Para : } 0.33 < CV < 5.000 \rightarrow FPR = 0.78$$

$$5.00 < CV < 25.00 \rightarrow FPR = 0.85$$

$$25.00 < CV < 250.00 \rightarrow FPR = 0.$$

A potência absorvida da rede será :

$$S_r = \sqrt{3} \times V_n \times I_n \varnothing \quad (\text{kVA}) \quad (28)$$

$$\varnothing_r = \cos (FPR) \quad (29)$$

onde :

S<sub>r</sub> = potência aparente absorvida em regime

∅<sub>r</sub> = ângulo do fator de potência em regime

FPR = fator de potência em regime

## B - Condição de Partida (P)

Na partida o motor solicita da rede uma corrente “IP” vezes sua corrente nominal, o mesmo acontecendo com a potência absorvida desta forma:

$$S_p = I_p \times S_r \cos \theta_p \quad (\text{kVA}) \quad (30)$$

$$\cos \theta_p = \frac{1}{FPP} \quad (31)$$

onde :

$S_p$  = potência aparente absorvida na partida

$\theta_p$  = ângulo do fator de potência na partida

FPP = fator de potência na partida

$I_p$  = relação entre a corrente de partida e nominal

Caso não seja disponível, deverá ser considerado :

FPP = 0.25, haja visto que na partida o motor desenvolve quase que somente potência reativa

### B.1 - Uso de dispositivo de partida (P)

A tabela do Anexo-9, relaciona para cada tipo de dispositivo de partida, um fator de corrente (k)

Desta forma a potência aparente absorvida com o dispositivo será:

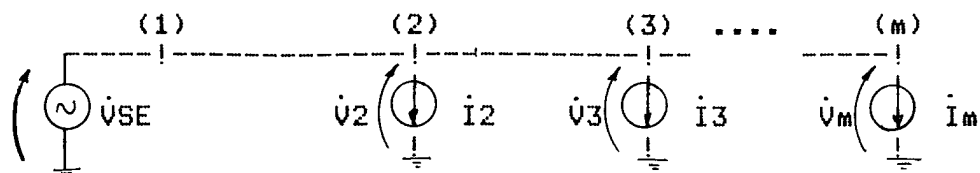
$$S_p = k \times S_r \cos \theta \quad (\text{kVA}) \quad (32)$$

## C - Valores em pu

Após a determinação das potências, cada valor é transformado em pu, dividindo-as por uma base comum a todos os trechos.

## 2 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO ITERATIVO

Seja o circuito



Etapa -1 - Inicializar o processo considerando a uma referencial

$$V_{SE} = 1 \ 0 \text{ pu} = \text{tensão na SE} \quad (33)$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_m = 1 \ 0 = \text{tensão nas demais barras} \quad (34)$$

Etapa-2 - Calcula-se as correntes de cada barra de carga

$$I_{Ci}^{(n)} = \frac{S_m^*}{V_i^{(n-1)}} \quad (35)$$

onde :

$I_{Ci}^{(n)}$  = corrente de carga da barra " i " na " n-ésima " iteração

n = número da iteração

$V_i^{(n-1)}$  = tensão da barra " i " na " (n-1)ésima iteração

Etapa-3 - Acumula-se as correntes de cada trecho

Etapa-4 - Calcula-se as quedas de tensão de cada trecho

$$DV_i^{(n)} = Z_i \times I_i^{(n)} \quad (36)$$

onde :

$I_i^{(n)}$

$DV_i$  = queda de tensão do trecho “ i “ na “ n-ésima “ iteração

$Z_i$  = impedância do trecho “ i “

$I_i^{(n)}$  = corrente acumulada do trecho “ i “ na “ (n-1)ésima iteração

Etapa-5 - Calcula-se as tensões em cada barra partindo da SE

$$V_i^{(n)} = V_i^{(n-1)} - DV_i^{(n)} \quad (37)$$

onde :

$V_i^{(n-1)}$  = tensão do trecho eletricamente anterior na “ n-ésima “ iteração

Etapa-6 - Compara-se os valores de tensão encontrados a um erro

$$\text{Se } |V_i^{(n-1)} - V_i^{(n)}| < 0.000001 \quad (38)$$

O sistema convergiu, e a resposta é a definitiva, caso contrário continuar

Etapa-7 - Faz-se nova iteração

$$n = n + 1 \quad (39)$$

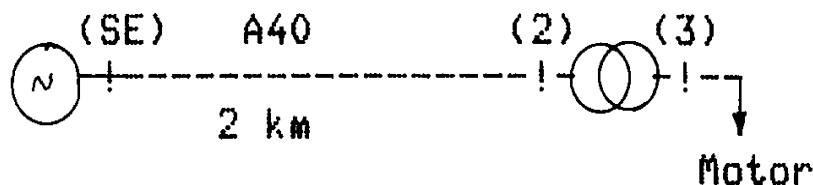
Etapa-8 - Volta-se a Etapa-2) para o novo cálculo

## D - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para exemplificarmos o desenvolvimento do método computacional em todas as etapas, resolveremos um circuito simples a 2 barras.

Atendimento em tensão primária :

Seja o circuito :



Dados : Tensão nominal do sistema = 13.8 kV

Cabo A40 : R = 0.3020 OHM/KM X = 0.4254 OHM/KM

Consumidor : Transformador 13.8/0.38 kV

Motor Vn = 0.38 kV

Pn = 250 Cv

In = 350<sup>A</sup>

Ip = 7

Para condição de partida com chave compensadora (CAT) : TAP = 65%

1 - Determinação da potência aparente absorvida pelo motor

$$S_p = I_p \times \sqrt{3} \times V_n \times I_n = 7 \times \sqrt{3} \times 0.38 \times 350 = 1612.54 \text{ kVA}$$

fator de potência na partida (FPP) : 0.25

$$\cos^{-1} \text{ FPP} = 75.52 \text{ graus}$$

$$S_p = 1612.54 \cos 75.52 \text{ (kVA)}$$

Com a chave compensadora (CAT)  $\rightarrow K = 0.42 = (0.65)^2$

$$S_p = 0.42 \times 1612.54 = 677.26 \cos 75.52 \text{ (kVA)}$$

2 - Representação da rede em pu

Potência de base  $S_b = 100 \text{ MVA}$

Tensão de base  $V_b = 13.8 \text{ kV}$

$$\text{Impedância de base } Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{13.8^2}{100} = 1.9044 \text{ OHMS}$$

## 2.1 - Cabo

$$Z_c = (0.3020 + j 0.4254) \times 2$$

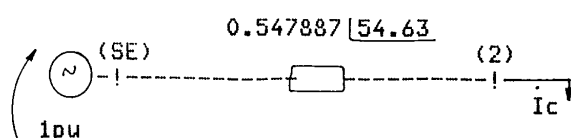
$$Z_c = 1.0434 \quad 54.62 \text{ OHMS}$$

$$Z_c = \frac{1.0434 \quad 54.62}{1.9044} = 0.547887 \quad 54.63 \text{ pu}$$

## 2.3 - Carga

$$S_c = \frac{677.26}{100 \times 1000} = 0.00677 \quad 75.52$$

Resolvendo o circuito vem :



## 3 - Processo Iterativo

Etapa -1 -  $V_{SE} = 1 \quad 0$

$$v_2^{(0)} = 1 \quad 0$$

$$\text{Etapa-2 - } I_{c2}^{(1)} = \frac{S_p^{(1)}}{v_2^{(0)}} = \frac{0.00677 \quad -75.52}{1 \quad 0} = 0.00677 \quad -75.52$$



Etapa-3 - Como o sistema contém somente duas barras, não há a necessidade de se acumular a corrente.

$$\text{Etapa-4 - } DV^{(1)} = 0.547887 \begin{vmatrix} 54.63 \\ \end{vmatrix} \times 0.00677 \begin{vmatrix} -75.52 \\ \end{vmatrix}$$

$$DV^{(1)} = 0.003709 \begin{vmatrix} -20.89 \\ \end{vmatrix}$$

$$\text{Etapa-5 - } V_2^{(1)} = 1 \begin{vmatrix} 0 \\ \end{vmatrix} - 0.0037092 \begin{vmatrix} -20.89 \\ \end{vmatrix}$$

$$V_2^{(1)} = 0.9965355 \begin{vmatrix} -0.07604 \\ \end{vmatrix}$$

$$\text{Etapa-6 - } V_2^{(0)} - V_2^{(1)} = 0.0034287$$

O valor encontrado é maior que 0.000001, faz-se assim novo cálculo.

$$\text{Etapa-2 - } I_{c2}^{(2)} = \frac{S_p^{(2)}}{V_2^{(1)}} = \frac{0.00677 \begin{vmatrix} -75.52 \\ \end{vmatrix}}{0.9965355 \begin{vmatrix} -0.075 \\ \end{vmatrix}} = 0.0067940 \begin{vmatrix} -75.44 \\ \end{vmatrix}$$

$$\text{Etapa-4 - } DV^{(2)} = 0.547887 \begin{vmatrix} -54.63 \\ \end{vmatrix} \times 0.0067933 \begin{vmatrix} -75.59 \\ \end{vmatrix} = 0.003722 - 20.81$$

$$\text{Etapa-5 - } V_2^{(2)} = 1 \begin{vmatrix} 0 \\ \end{vmatrix} - 0.003722 \begin{vmatrix} -20.81 \\ \end{vmatrix}$$

$$V_2^{(2)} = 0.9965252 - 0.077$$

$$\text{Etapa-6 - } V_2^{(1)} - V_2^{(2)} = 0.000461 > 0.000001 \rightarrow \text{novo cálculo.}$$

$$\text{Etapa-2 - } I_{c2}^{(3)} = \frac{0.00677 \quad \underline{-75.52}}{0.9965355 \quad \underline{-0.077}} = 0.0067936 \quad \underline{-75.44}$$

$$\begin{aligned} \text{Etapa-4 - } DV^{(3)} &= 0.547887 - 54.63 \times 0.0067936 \quad \underline{-75.44} = \\ &= 0.0037221 \quad \underline{-20.81} \end{aligned}$$

$$\text{Etapa-6 - } V_2^{(2)} - V_2^{(3)} = 0.000035 > 0.000001 \rightarrow \text{ novo cálculo.}$$

$$\text{Etapa-2 - } I_{c2}^{(4)} = \frac{0.00677 \quad \underline{-75.52}}{0.9965217 \quad \underline{0.076}} = 0.0067936 \quad \underline{-75.59}$$

$$\begin{aligned} \text{Etapa-4 - } DV^{(4)} &= 0.547887 \quad \underline{54.63 \times 0.0067936 \quad \underline{-75.59}} = \\ &= 0.003722 \quad \underline{-20.96} \end{aligned}$$

$$\text{Etapa-5 - } V_2^{(4)} = 0.9965212 \quad \underline{0.076}$$

$$\text{Etapa-6 - } V_2^{(3)} - V_2^{(4)} = 0.00005 < 0.000001 \rightarrow \text{ SISTEMA CONVERGIDO EM 4 ITERAÇÕES}$$

RESPOSTA : Tensão na Barra 2 :  $0.9965212 \text{ pu} = 0.9965212 \times 13.8 = 13.752 \text{ kV} \rightarrow 0.348 \% \text{ de QUEDA}$

## 12 - MÉTODO DE CÁLCULO PARA MOTORES MONOFÁSICOS

A - Desequilíbrio de Tensão em Regime – Vd

## 1 - Análise Quanto ao Planejamento ( Pedido de Ligação)

Este método calcula o grau de desequilíbrio de tensão provocado pelo acionamento de motores monofásicos, o qual segue a seguinte metodologia de análise :

### I - Motor ligado entre FASE e NEUTRO

Pelo uso das componentes de seqüência simétricas vem:

$$V_{2n} = Z_{2nn} \times I_{2n} \quad (40)$$

onde:

$V_{2n}$  = tensão de seqüência negativa na barra "n"

$I_{2n}$  = corrente de seqüência negativa na barra "n"

$Z_{2nn}$  = impedância de seqüência negativa do sistema vista pela barra "n" considerando a relação fundamental de corrente;

$$\begin{vmatrix} I_{0n} \\ I_{1n} \\ I_{2n} \end{vmatrix} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix} \quad (41)$$

onde :  $a = 1 \angle 120^\circ$

A corrente  $I_{2n}$  é dada por :

$$I_{2n} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (42)$$

Supondo que a barra "n" esteja alimentando somente o motor monofásico pela fase "a", vem :

$$I_a = I_m$$

$$I_b = 0, I_c = 0, \text{ desta forma}$$

$$V_{2n} = Z_{2nn} \times \frac{I_a}{3}, \text{ por outro lado} \quad (43)$$

3

$$Z_{1nn} = \frac{V_{1n}}{I_{c30n}}, \text{ onde :} \quad (44)$$

$Z_{1nn}$  = impedância de seqüência positiva do sistema vista pela barra “n”

$V_{1n}$  = tensão de seqüência positiva na barra “n”

$I_{c30n}$  = corrente de curto circuito trifásica na barra “n”

Como  $Z_{1nn} = Z_{2nn}$  vem : (45)

$$V_{2n} = \frac{V_{1n}}{I_{c30n}} \times \frac{I_a}{3} \quad (46)$$

Como o grau de desequilíbrio de tensão é definido pela relação entre as tensões de seqüência negativa e positiva tem-se :

$$V_{dn} = \frac{V_{2n}}{V_{1n}} = \frac{V_{1n}}{I_{c30n}} \times \frac{I_a}{3} \times \frac{1}{V_{1n}} = \frac{I_a}{3} \times \frac{1}{I_{c30n}} \rightarrow$$

$$V_{dn} = \frac{S_{mn}}{S_{c30n}} \quad (47)$$

onde:

$V_{dn}$  = Grau de desequilíbrio de tensão na barra “n”

$S_{mn}$  = Potência aparente monofásica ligada na barra “n”

$S_{c30n}$  = Potência de curto-circuito trifásica disponível na barra “n”

## II - Motor ligado ENTRE FASES

Será considerado o motor ligado entre as fases A e B, desta forma:

$$I_a = - I_b$$

$$I_c = 0$$

pela relação (41) tem-se :

$$I_{1n} = \frac{1}{3} \times (I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

$$= \frac{1}{3} \times (I_a - a^2 I_a) = \frac{1}{3} \times (I_a (1 - a^2))$$

considerando :  $a^2 = 1 - 120^\circ \rightarrow 1 - a^2 = \sqrt{3} \quad 30^\circ$

$$I_{2n} = \frac{\sqrt{3}}{3} \times I_a \quad (48)$$

análogo ao anterior vem:

$$V_{dn} = \frac{S_{mn}}{S_{c30n}} \quad (49)$$

onde:  $S_{mn}$  = potência monofásica (fase-fase) ligada a barra “n”

## 2 - Análise Quanto a Operação ( Medição de Vd.)

Seja um motor monofásico, alimentado por tensão fase-fase ou fase-neutro:

Considerando a relação fundamental de tensão:

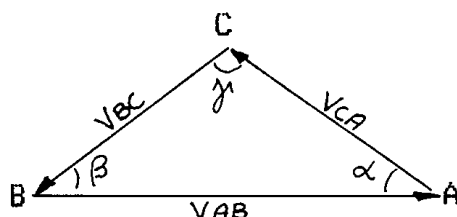
$$\begin{vmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{vmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{vmatrix} \quad (50)$$

onde :

n = número da barra onde se quer medir Vd,  $V_{an}$ ,  $V_{bn}$ ,  $V_{cn}$ ,  $V_{cn}$  = tensões de linha na barra “n”

Através de um voltímetro, mede-se os módulos das tensões na barra “n”, daí :

Adotando-se a sequência de fases ABC tem-se :



pela lei dos cossenos determina-se “α”, “β” e “γ”

$$V_{bc}^2 = V_{ab}^2 + V_{ca}^2 - 2 \times V_{ab} \times V_{ca} \times \cos \alpha$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{V_{bc}^2 - V_{ab}^2 - V_{ca}^2}{-2 \times V_{ab} \times V_{ca}} \right) \quad (51)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{V_{bc}^2 - V_{ab}^2 - V_{ca}^2}{-2 \times V_{ab} \times V_{ca}} \right) \quad (52)$$

$$\gamma = 180 - (\alpha + \beta) \quad (53)$$

Desta forma determina-se fasorialmente as tensões de linha:

$$V_{ab} = V_{ab} \angle 0^\circ; V_{bc} = V_{bc} \angle 180^\circ + \beta; V_{ca} = V_{ca} \angle 180^\circ - \alpha$$

através da relação (50) determina-se V1 e V2 :

$$V1 = \frac{1}{3} (V_{ab} + V_{bc} \angle 300^\circ + \beta + V_{ca} \angle 60^\circ - \alpha) \quad (54)$$

$$V2 = \frac{1}{3} (V_{ab} + V_{bc} \angle 60^\circ + \beta + V_{ca} \angle 300^\circ - \alpha) \quad (55)$$

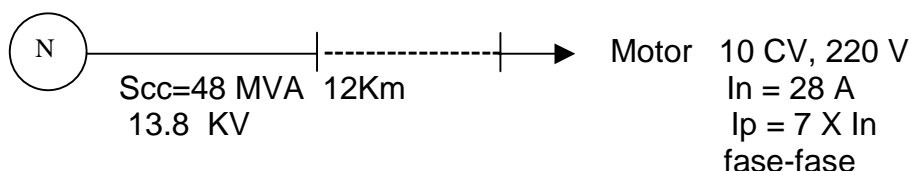
O grau de Desequilíbrio é dado por :

$$V_d = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \quad (\%) \quad (56)$$

Para o valor máximo admissível, ver item 14.C

### 3 - Exemplo de Aplicação

a - Quanto ao planejamento (pedido de ligação) seja o circuito :



cabo A40 :  $r = 0.3020 \text{ ohm/km}$   $x = 0.4250 \text{ ohm/km}$

Calcular o grau de desequilíbrio de tensão na barra 1.

$$V_d = \frac{S_{m1}}{I_{c301}}$$

Determinação de  $S_{c301}$  :

$$\text{cabo} = (0.3020 + j 0.4254) \times 12 = (3.624 + j 5.1048) \text{ ohms}$$

$$S_{c1} = \frac{1000 \times 13.8^2}{3.624 + j 5.1048} = 30419 \text{ kVA} \quad \text{equação (12)}$$

$$S_{c301} = \frac{S_{c1} \times S_{cc}}{S_{c1} + S_{cc}} = \frac{48000 \times 30419}{48000 + 30419} \quad \text{equação (13-A)}$$

Sc301 = 18619 kVA = potência de curto trif. na barra 1

Determinação de Sm1 :

$$Sm1 = V_n \times I_n = 220 \times 28 = 6.160 \text{ kVA}$$

o desequilíbrio será :

$$V_d = \frac{6.160}{18619} \times 100 = 0.033\% \text{ equação (47)}$$

Para nível máximo admissível, ver item 14.C.

B - Quanto a Operação (medição de Vd)

Num consumidor secundário, após a operação de um motor monofásico, foi feita a seguinte medição :

$$V_{ab} = 225V$$

$$V_{bc} = 209V$$

$$V_{ca} = 215V$$

Calcular o grau de desequilíbrio de tensão

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{209^2 - 225^2 - 215^2}{-2 \times 225 \times 215} \right) = 56.66^\circ \text{ equação (51)}$$

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{215^2 - 225^2 - 209^2}{-2 \times 225 \times 209} \right) = 59.25^\circ \text{ equação (52)}$$

$$\gamma = 180^\circ - (56.66^\circ + 59.25^\circ) = 64.09^\circ \text{ equação (53)}$$

$$V_1 = \frac{1}{3} (225 + 209 + 215) = 216.23$$

$$1$$



$$V2 = \frac{225 + 209 + 119.25 + 215 + 243.34}{3} = 9.38$$

$$Vd = \frac{9.38}{216.23} \times 100 = 4.3\%$$

Ver item 12 C.

## B - Flutuação de Tensão na Partida

Como se sabe, a operação de um motor monofásico, traz para o sistema de suprimento um desequilíbrio de tensão, exigindo desta forma, uma análise trifásica para se constatar os níveis de tensão nas respectivas fases deste sistema.

Para tal, será usada a teoria das componentes de seqüência simétricas.

Condições para análise :

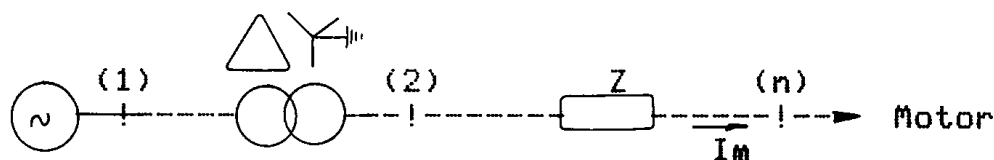
- Serão considerados como "barramento infinito" :

O lado secundário do transformador da SE, quando da análise de um consumidor primário;

O lado primário do transformador de distribuição, quando da análise de um consumidor secundário;

- O sistema de suprimento será considerado simétrico e equilibrado, antes da ligação do motor monofásico;
- O sistema estará ligado em estrela com o neutro aterrado.

Genericamente será considerado o seguinte circuito :



onde :

n = número de barra do motor

$I_m$  = corrente do motor

$Z$  = impedância equivalente do trecho 2-n

Para o cálculo das tensões e correntes, em relação às suas componentes de sequências e vice-versa, serão consideradas as seguintes relações fundamentais :

de tensão :

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (57)$$

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{abn} \\ V_{bcn} \\ V_{can} \end{bmatrix} \quad (58)$$

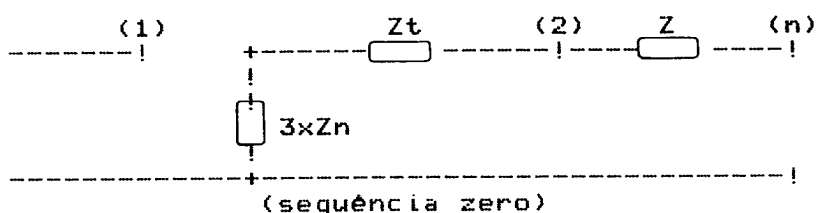
de corrente :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (59)$$

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \quad (60)$$

$I_2$       1   a   a    $I_c$

A representação do circuito acima, em componentes de seqüência simétricas será :



$$Z_0 = 3 \times Z_n + Z_t + Z_{10} \quad (61)$$

$$Z_1 = Z_t + Z_{11} \quad (62)$$

$$Z_2 = Z_1 = Z_t + z_{11} \quad (63)$$

onde :

$Z_t$  = impedância do transformador

$R_{at}$  = resistência de aterramento do transformador

$E$  = tensão fase-neutro com o circuito aberto

$Z_0$  = impedância de Thevenin de seqüência zero da barra "n"

$Z_1$  = impedância de Thevenin de seqüência direta da barra "n"

$Z_2$  = impedância de Thevenin de seqüência inversa da barra "n"

I - Motor ligado entre FASE-NEUTRO

Supondo que motor seja alimentado pela fase A, tem-se as seguintes condições de contorno:

$$I_a = I_m$$

$$I_b = I_c = 0$$

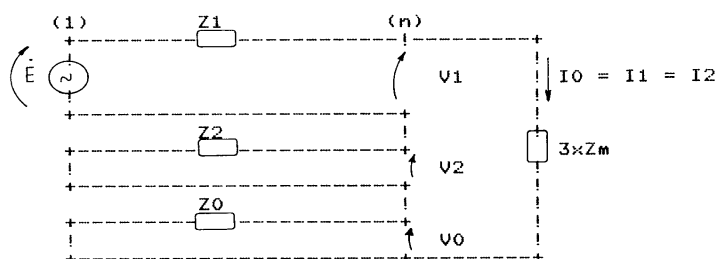
$$V_{an} = Z_m \times I_a$$

onde :

$V_{an}$  = tensão no motor

$Z_m$  = impedância do motor

Para serem válidas as condições acima, é necessário que se conecte os diagramas da seguinte forma:



$$\text{com } Z_m = \frac{V_n}{I_n \times I_p} \quad \phi_p ; \phi_p = \cos^{-1} (\text{FPP}) \quad (64)$$

onde :  $I_0, I_1, I_2$  = componentes de seqüência de corrente barra "n"

$V_0, V_1, V_2$  = idem para tensões

$Z_m$  = impedância do motor na partida

$V_n$  = tensão nominal do motor

$I_n$  = corrente nominal do motor

$I_p$  = corrente de partida (pu)

$\phi_p$  = ângulo do fator de potência na partida

$F_{pp}$  = fator de potência na partida

Desta forma, determina-se as correntes :

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_m} \quad (65)$$

determinando-se as tensões :

$$V_0 = -Z_0 \times I_0 \quad (66)$$

$$V_1 = E - Z_1 \times I_1 \quad (67)$$

$$V_2 = 0Z_2 \times I_2 \quad (68)$$

Para o cálculo das tensões fase-neutro, basta usar a relação (57), ou seja:

$$V_{an} = V_0 + V_1 + V_2 \quad (69)$$

$$V_{bn} = V_0 + a^2 V_1 + aV_2 \quad (70)$$

$$V_{cn} = V_0 + aV_1 + a^2 V_2 \quad (71)$$

Por outro lado, determina-se as tensões fase-fase :

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} \quad (72)$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} \quad (73)$$

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} \quad (74)$$

## II - Motor ligado ENTRE FASES

Supondo, o motor ligado entre as fases B e C, tem-se as seguintes condições de contorno:

$$I_a = 0$$

$$I_b = -I_c = I_m$$

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0 \rightarrow V_{an} = -V_{bn} - V_{cn} \quad (75)$$

da relação (60) vem :

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3} (0 + I_b - I_b) = 0 \quad (76)$$

$$I_1 = \frac{1}{3} (0 + aI_b - a^2 I_b) = \frac{1}{3} (I_b (a - a^2)) \quad (77)$$

$$I_2 = \frac{1}{3} (0 + a^2 I_b - a I_c) = \frac{1}{3} (I_b (a^2 - a)) \quad (78)$$

comparando-se (77) e (78) nota-se que

$$I_1 = - I_2 \quad (79)$$

Como o motor está ligado entre as fases B e C vem :

$$V_{bn} = V_{cn} + Z_M \times I_b \quad (80)$$

da relação (77) tem-se

$$I_b = \frac{3 \times I_1}{(a - a^2)} \quad (81)$$

da relação (76) vem :

$$V_0 = -Z_0 \times I_0 = -Z_0 \times 0 = 0$$

da relação (58) vem :

$$V_0 = \frac{1}{3} (V_{an} + V_{bn} - V_{cn}) = 0 \quad (82)$$

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{1}{3} (V_{an} + a V_{bn} + a^2 V_{cn}) = \frac{1}{3} (-V_{bn} - V_{cn} + a V_{bn} + a^2 V_{cn}) \\ &= \frac{1}{3} (V_{bn} (a - 1) + V_{cn} (a^2 - 1)) \end{aligned} \quad (83)$$

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{1}{3} (V_{an} + a^2 V_{bn} + a V_{cn}) = \frac{1}{3} (-V_{bn} - V_{cn} + a^2 V_{bn} + a V_{cn}) \\ &= \frac{1}{3} (V_{bn} (a^2 - 1) + V_{cn} (a - 1)) \end{aligned} \quad (84)$$

3

Substituindo (80) e (81) em (83) vem :

$$V1 = \frac{1}{3} (3 \times Z_m \times I1 \times \frac{(a-1)}{(a-a^2)} + V_{cn} \times (a-1) + V_{cn} \times (a^2 - 1))$$

$$= \frac{1}{3} ( \frac{-3 \times Z_m \times I1}{1 \mid 60} + V_{cn} \times 3 \mid 180 )$$

$$V1 = Z_m \times I1 \mid 60 - V_{cn} \quad (85)$$

analogamente :

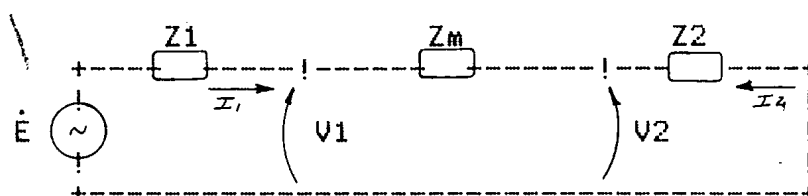
$$V2 = Z_m \times I1 \mid 120 - V_{cn} \quad (86)$$

fazendo (85) - (86) vem :

$$V1 - V2 = Z_m \times I1 \mid 60 - Z_m \times I1 \mid 120 , \text{resultando}$$

$$V1 = V2 + A_m \times I1$$

Para satisfazer a condição acima, basta que se conecte os diagramas de seqüências da seguinte forma :



determina-se assim, as correntes :

$$I1 = - I2 = \frac{E}{Z1 + Z_m + Z2} = \frac{E}{2 \times z1 + Z_m} \quad (88)$$

determinando as tensões :

$$V0 = 0 \quad (89)$$

$$V1 = E - Z1 \times I1 \quad (90)$$

$$V2 = - I2 \times Z2 \quad (91)$$

Para o cálculo das tensões fase-neutro basta usar a relação (57), obtendo-se valores idênticos às equações (69), (70) e (71)

Da mesma forma, para as tensões fase-fase, chega-se a valores idênticos às equações (72), (73) e (74)

### 13 - FOLHA DE DADOS DO CONSUMIDOR

Para que se possa fazer uma análise completa, dos efeitos de acionamentos de motores elétricos na rede da CPFL, é necessário o preenchimento por parte do consumidor, da folha de dados, cujo modelo encontra-se no Anexo –12.

**OBS :** Quando não for disponível algum dado de um motor elétrico em estudo, recorrer em último caso aos Anexos 13 e 14

### 14 - CRITÉRIO DE ANÁLISE PARA ATENDIMENTO

#### A - FLUTUAÇÃO DE TENSÃO NA PARTIDA OU EM REGIME PARA MOTORES COM CICLO DE CARGA VARIADO

Este critério, para motores monofásicos e trifásicos, tem como objetivo, evitar que a partida de motores elétricos, ou mesmo a operação de motores com carga variável venha prejudicar outros consumidores ligados no mesmo circuito, cujos efeitos podem, dependendo de seu grau, causar irritações devido o efeito “flicker”, bem como o mau funcionamento dos possíveis equipamentos ligados ao mesmo sistema. O Anexo – 11B mostra o valor mínimo de tensão, que alguns equipamentos necessitam para continuar operando adequadamente.

De acordo com o item 10.2, o limite de flutuação de tensão, está intimamente ligado à frequência de oscilações existentes num alimentador, desta forma, deve-se considerar todos os motores ligados em um alimentador, levando-se m conta o total de oscilações causadas no sistema em estudo. Contudo, se fará um estudo de se estimar o número total de oscilações do circuito.

O valor máximo de flutuação de tensão na partida (Dvmax), será escalonado segundo dois níveis de consumidores :



## 1 - PARA CONSUMIDOR PRIMÁRIO COM UM ALIMENTADOR EXPRESSO:

2

a - Regime de trabalho do motor com  $f < 1$  oscilação/hora (\*)

$$D_{vmax} = 7.5\%$$

b - Regime de trabalho do motor com  $f > 1$  oscilação/hora (\*)

$$D_{vmax} = \frac{15}{\sqrt{f}} \quad ; \quad \text{vide item 10.2}$$

## 2- PARA CONSUMIDOR SECUNDÁRIO E COSUMIDOR PRIMÁRIO NÃO EXPRESSO:

a - Regime de trabalho do motor com  $f < 1$  oscilação/hora (\*)

$$D_{vmax} = 5\%$$

b - Regime de trabalho do motor com  $f > 1$  oscilação/hora (\*)

$$D_{vmax} = \frac{15}{3 + \sqrt{f}} \quad ; \quad \text{vide item 10.2}$$

( \*) Uma oscilação = 1 variação do nível de tensão provocada pela partida, ou por uma variação qualquer no ciclo de carga (carga nominal – em regime) de um motor.

## B - NÍVEL DE TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

Este item, tem como objetivo, limitar a máxima e a mínima tensão, após o motor alcançar sua velocidade nominal

### 1 - MÁXIMO VALOR DE TENSÃO

Todo motor é projetado para suportar até 10% de sobretensão. Por outro lado os níveis admissíveis pela portaria 047 do DNAEE são menores que 10%. Desta forma determina-se os máximos valores de sobretensão como sendo :

+ 5 % para consumidores primários

+ 3.94 % ( = 132 volts na base de 127 volts)

para consumidores secundários

### 3 - MINIMO VALOR DE TENSÃO

Afim de se otimizar este item, serão determinados valores limitantes de tensão, de forma diferenciada para cada tipo de consumidor, levando em conta o nível de tensão de atendimento.

#### a - PARA CONSUMIDOR CONECTADO A UM ALIMENTADOR CONTENDO SOMENTE CONSUMIDORES PRIMÁRIOS

- 7.5 % da tensão de fornecimento.

#### b - PARA CONSUMIDOR PRIMÁRIO CONECTADO A UM ALIMENTADOR CONTENDO TAMBÉM CONSUMIDORES SECUNDÁRIO

Neste item cabe a preocupação de se determinar um nível mínimo de tensão para o consumidor em estudo, sem que o mesmo venha prejudicar os consumidores do circuito secundário derivado do mesmo alimentador.

Desta forma a tensão mínima no circuito primário será :

$V_{min} = 12.97 \text{ kV}$  para sistema de 13.8 kV

$V_{min} = 11.20 \text{ kV}$  para sistema de 11.9 kV

#### B - Para Consumidores Secundários

Neste caso a mínima tensão será a própria tensão estabelecida pela portaria 047 do DNAEE.

#### C - DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO EM REGIME PERMANENTE - VD

( somente para motores monofásicos)

O grau de desequilíbrio de tensão será calculado de acordo com os itens 12.A ou 12.B, de acordo com a necessidade do estudo.

Para um pedido de ligação utilizar o método do item 12.A, para uma medição após a ligação, utilizar o método do item 12.B.

Como é sabido, os desequilíbrios de tensão gerados nos sistemas trifásicos, são provocados pelo acionamento de cargas monofásicas, no caso em questão, pelos motores monofásicos.

Os motores trifásicos, são os mais prejudicados pelo desequilíbrio de tensão, pois, caso haja um desequilíbrio, o mesmo sofre deformações no seu campo girante, devido sua baixa impedância de seqüência negativa, desequilibrando suas correntes de fase, ocasionando assim um sobreaquecimento da máquina.

Os valores máximos de desequilíbrio de tensão, para os motores monofásicos serão :

$$V_d = 2 \%$$

## 15 - PROCEDIMENTO DE ANÁLISE PARA OS MOTORES ELÉTRICOS

### 15.1 - MOTORES TRIFÁSICOS

#### a - Análise de Partida

- Obter os resultados através do programa “Trifator”
- Estimar o número de oscilações (partidas) por dia, por hora, por minuto ou, por segundo
- Analisar os resultados obtidos segundo os critérios do item 14.A

#### b - Análise em regime

##### b.1 - Motores que alimentam cargas com regime constante de operação

Motores que depois da partida, não tem mais variações de velocidade e conjugado em seu eixo. Ex.: bomba d' água, ventiladores, transportadores contínuos, etc.

- obter os resultados através do programa “Trifator”
- analisar os resultados segundo os critérios do item 14.B

##### b.2 - Motores que alimentam cargas com regime variado de operação

Motores que dentro de seu ciclo de carga, passam do estado em vazio para o estado em carga (nominal) várias vezes. Ex.: picadeira de cana, compressores, bate-estaca, etc.

- Obter os resultados através do programa “Trifator”, considerando o motor em regime permanente (carga nominal)

- Estimar o número de oscilações provocadas pelo acionamento desta carga, por dia, por hora, por minuto ou, por segundo
- Analisar os resultados obtidos segundo os critérios do item 14.A

## 15.2 - MOTORES MONOFÁSICOS

### a - Análise de Partida

- Obter os resultados através do programa “Monotor”
- Estimar o número de oscilações (partidas) por dia, por hora, por minuto ou, por segundo
- Analisar os resultados obtidos segundo os critérios do item 14.A

### b - Análise em regime

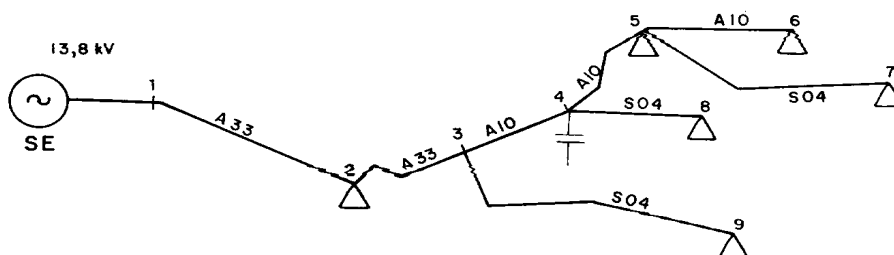
- obter os resultados através do programa “Monotor”
- analisar os resultados segundo os critérios do item 14.C

## 16 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO – MÉTODO COMPUTACIONAL

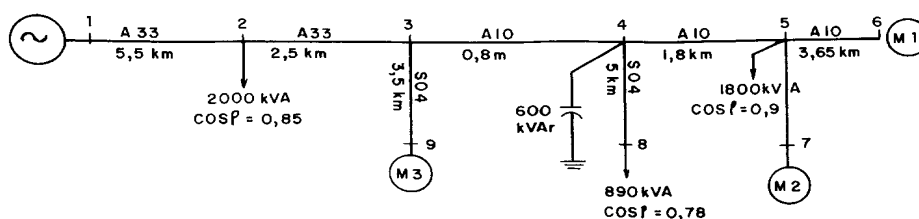
### 1 - ANÁLISE PARA MOTORES TRIFÁSICOS

( Utilização do Programa “TRIFATOR” )

#### A - Atendimento em Tensão Primária



(Diagrama Físico do Alimentador)



(Diagrama Unifilar)

( Diagrama Unifilar )

Através do programa “Trifator”, será calculado o fluxo de carga do circuito acima, considerando três motores (M1, M2 e M3), além das demais cargas existentes.

O cálculo se fará para a seguinte condição :

- Partida simultânea de M1 e M2 com M3 em regime permanente
- Dados dos motores :

M1 : corrente nominal : 860 A  
corrente de partida : 7.4 pu  
tensão nominal : 220 V  
potência nominal : 350 CV  
dispositivo de partida : chave compensadora (CAT) 65%  
número de partida : 3 por hora

M2 : corrente nominal : 250 A  
corrente de partida : 8.5 pu  
tensão nominal : 220 V  
potência nominal : 100 CV  
dispositivo de partida : partida direta (DIR)  
número de partidas : 8 por hora

M3 : corrente nominal : 610 A  
corrente de partida : 7.4 pu  
tensão nominal : 220 V  
potência nominal : 250 CV  
dispositivo de partida : chave estrela triângulo (CET)  
número de partidas : 1 por semana



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

A seguir são apresentadas as folhas da listagem do caso e das respostas, geradas pelo programa "Trifator".

## LISTAGEM

C.P.F.L

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO

### CÁLCULO DE MOTORES TRIFÁSICOS

Data : 27.01.89

Comentário: Atendimento em Tensão Primária

Local : Campinas

Subestação : Barão Geraldo

Alimentador : BGE-03

LISTAGEM DO ARQUIVO : A : TRIPPRI.DAT

BARRA	COMPR	CABO	CARGA (L)	FP	MOTOR	COND
*		**				

K - L (M - KM) CÓDIGO (KVA) (CV) R/P

1	SE					
1	2	5.50	A33	2000.000	.85 0	-
2	3	2.50	A33	.000	.00 0	-
3	4	.80	.....A10	-600.000	.00 0	-
4	5	1.80	.A10	1800.000	.90 0	-
5	6	3.65	A10	1018.504	.25' 350	P
4	8	2.00	.....S04	890.000	78 0	-
3	9	3.50	S04	232.441	89 250	R

( \*) M → Circuito Secundário

KM → Circuito Primário

( \*\* ) R → Motor em Regime Permanente

P → Motor na Partida

## RESULTADOS

C.P.F.L

N.Documento: 237	Categoria: Instrução	Versão: 1.0	Aprovado por: Adalberto Sotero de castro	Data Publicação: 10/08/2000	Página: 54 de 97
---------------------	-------------------------	----------------	---	--------------------------------	---------------------



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO

## CÁLCULO DE MOTORES TRIFÁSICOS

Data : 27.01.89

Comentário: Cálculo de Partida

Local : Campinas

Subestação : Barão Geraldo

Alimentador : BGE-03

RESULTADOS DA REDE : A : TRIPPRI.DAT

VALORES DE BARRAS :

BARRA TENSÃO QUEDA FP

K (V) (%)

1	13800.00		64.41
2	13303.49	3.60	65.16
3	13092	5.13	63.70
4	12988.73	5.88	60.40
5	12813.37	7.15	33.59
6	12639.98	8.41	25.00
7	12521.96	9.26	25.00
8	12771.93	7.45	78.00
9	12989.22	5.88	89.00

VALORES DE FLUXOS :

TRECHO CORRENTE P E R D A S

K - L (A) (KW) (kVAR)

1	2	120.87	45.99	97.34
2	3	112.62	18.15	38.41
3	4	103.22	15.46	11.51
4	5	89.44	26.12	19.44

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
237	Instrução	1.0	Adalberto Sotero de castro	10/08/2000	55 de 97



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

5	6	46.52	14.33	10.67
5	7	37.33	33.39	10.29
4	8	40.23	15.51	4.78
3	9	10.33	1.79	.55

## LISTAGEM

C.P.F.L

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO

### CÁLCULO DE MOTORES TRIFÁSICOS

Data : 27.01.89  
Comentário: Cálculo de Regime Permanente  
Local : Campinas  
Subestação : Barão Geraldo  
Alimentador : BGE-03

RESULTADOS DA REDE : A : TRIPPRI.DAT  
(Sistema Convergado em 5 iterações)

### VALORES DE BARRAS :

BARRA TENSÃO QUEDA FP  
K ( V ) ( % )

1	13800.00	95.77
2	13595.85	1.48 96.24
3	13518.07	2.04 97.33
4	13466.82	2.41 98.27
5	13406.50	2.85 89.00
6	13339.85	3.33 25.00
7	13347.77	3.28 89.00
8	13257.98	3.93 78.00
9	13418.22	2.77 89.00

### VALORES DE FLUXOS :

TRECHO CORRENTE P E R D A S  
K - L ( A ) ( KW ) (kVAR)

N.Documento: 237	Categoria: Instrução	Versão: 1.0	Aprovado por: Adalberto Sotero de castro	Data Publicação: 10/08/2000	Página: 56 de 97
---------------------	-------------------------	----------------	---	--------------------------------	---------------------



1	2	72.36	16.48	34.88
2	3	64.24	5.90	12.50
3	4	54.57	4.32	3.22
4	5	26.05	2.22	1.65
5	6	14.18	1.33	.99
5	7	4.12	.41	.13
4	8	38.76	14.39	4.44
3	9	10.00	1.68	.52

Quanto a análise de flutuação máxima admissível na partida, a mesma é feita em separado, como mostra o item 10.A equação (6), ou seja :

$$V \% = \frac{15}{3 + \sqrt{f}} \quad (\text{máxima flutuação admissível})$$

para M1 : 1 partida por dia

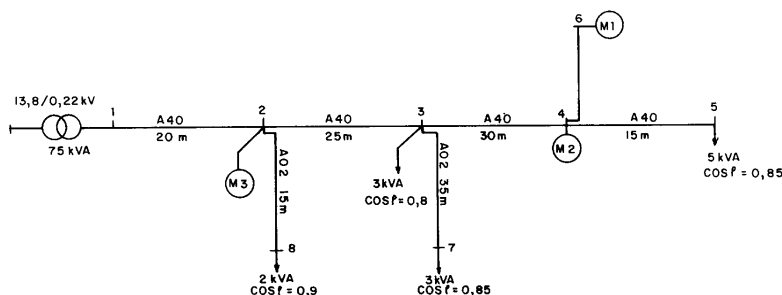
A máxima queda de tensão na partida é 5%  
( ver item 14.A.2)

para M2 : 3 partidas por hora ( ver item 14.A.2)

$$f = \frac{3}{24 \times 60} = 0.002083$$

$$V \% = \frac{15}{3 + \sqrt{0.002083}} = 4.93$$

## B - Atendimento em Tensão Secundária





<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

O cálculo se fará para a seguinte condição:

M2 partindo com M1 e M3 em regime permanente

Dados dos motores

- M1 : corrente nominal : 15 A  
corrente de partida : 7.1 pu  
tensão nominal : 220 V  
potência nominal : 5 CV  
dispositivo de partida : chave estrela (CET)  
número de partida : 1 por dia
- M2 : corrente nominal : 21 A  
corrente de partida : 9.0 pu  
tensão nominal : 220 V  
potência nominal : 7.5 CV  
dispositivo de partida : chave série paralelo (CSP)  
número de partidas : 20 por hora
- M3 : corrente nominal : 12 A  
corrente de partida : 7.4 pu  
tensão nominal : 220 V  
potência nominal : 4 CV  
dispositivo de partida : partida direta (DIR)  
número de partidas : 1 por dia

A seguir são apresentadas as folhas da listagem do caso e das respostas, geradas pelo programa "Trifator".

## RESULTADOS

C.P.F.L

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
237	Instrução	1.0	Adalberto Sotero de castro	10/08/2000	58 de 97



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## CÁLCULO DE MOTORES TRIFÁSICOS

Data : 27.01.89

Comentário: Cálculo de Partida

Local : Campinas

Subestação : Campinas Centro

Alimentador : CAM-08

RESULTADOS DA REDE : A : TRISEC.DAT  
(Sistema Convergiu em 5 iterações)

### VALORES DE BARRAS :

BARRA TENSÃO QUEDA FP  
K (V) (%)

1	220.00		50.80
2	211.74	1.48	50.77
3	209.31	3.75	45.76
4	206.75	6.02	39.60
5	206.75	6.02	85.00
6	206.57	6.11	78.00
7	208.81	5.09	85.00
8	211.60	3.82	90.00

### VALORES DE FLUXOS :

TRECHO CORRENTE P E R D A S  
K - L (A) (KW) (KVAR)

1	2	155.23	1.15	1.90
2	3	139.23	.44	.43
3	4	124.57	.42	.42
4	5	13.96	.00	.00
4	6	15.98	.00	.00
3	7	8.29	.01	.00
2	8	5.46	.00	.00

## RESULTADOS

C.P.F.L

N.Documento: 237	Categoria: Instrução	Versão: 1.0	Aprovado por: Adalberto Sotero de castro	Data Publicação: 10/08/2000	Página: 59 de 97
---------------------	-------------------------	----------------	---	--------------------------------	---------------------



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO

CÁLCULO DE MOTORES TRIFÁSICOS

Data : 27.01.89  
Comentário: Atendimento em Tensão Secundária  
Local : Campinas  
Subestação : Campinas Centro  
Alimentador : CAM-08

LISTAGEM DO ARQUIVO : A : TRISEC.DAT

BARRA	COMPRCABO	CARGA (L)	FP	MOTOR	COND
*	**				

K - L (M – KM) CÓDIGO (KVA) (CV) R/P

1	SE						
1	2	20.00	A40	4.573	.78	4	R
2	3	25.00	A40	3.000	.80	0	-
3	4	30.00	A40	36.009	.25	7	P
4	5	15.00	A40	5.000	.85	0	-
5	6	10.00	A10	5.716	.78	5	R
4	8	35.00	A02	3.000	.85	0	-
2	8	15.00	A02	2.000	.90	0	-

Capacidade do Transformador ( kVA ) : 750000

( \* ) M → Circuito Secundário

KM → Circuito Primário

( \* \* ) R → Motor em Regime Permanente

P → Motor na Partida

RESULTADOS

C.P.F.L

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## CÁLCULO DE MOTORES TRIFÁSICOS

Data : 27.01.89

Comentário: Cálculo de Regime Permanente

Local : Campinas

Subestação : Campinas Centro

Alimentador : CAM-08

RESULTADOS DA REDE : A : TRISEC.DAT

(Sistema Convergado em 4 iterações)

### VALORES DE BARRAS :

#### BARRA TENSÃO QUEDA FP

K ( V ) ( % )

1	220.00		82.17
2	215.92	1.85	82.65
3	214.72	2.40	82.86
4	213.63	2.90	82.99
5	213.63	2.90	85.00
6	213.44	2.98	78.00
7	214.23	2.62	85.00
8	215.78	1.92	90.00

### VALORES DE FLUXOS :

#### TRECHO CORRENTE P E R D A S

K - L ( A ) ( KW ) (kVAR)

1	2	84.14	.34	.56
2	3	66.66	.10	.10
3	4	50.52	.07	.07
4	5	13.51	.00	.00
4	6	15.46	.00	.00
3	7	8.08	.01	.00
2	8	5.35	.00	.00

A análise dos níveis máximos na partida, é feita da mesma forma do exemplo acima.

Para M1 : 20 partidas por dia

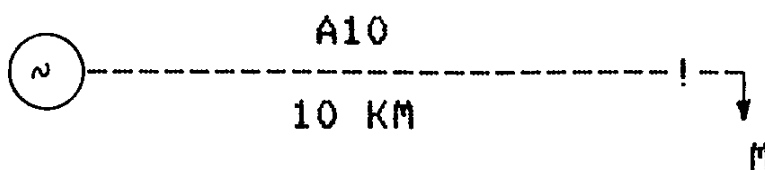
A máxima flutuação é 5% (ver item 14.A.2)

## 2 - ANÁLISE PARA MOTORES MONFÁSICOS

( Utilização do Programa "MONOTOR" )

A - Quanto a um Pedido de Ligação

A.1 - Atendimento em Tensão Primária



Dados do motor :

corrente nominal : 112 A

corrente de partida : 7.0 pu - partida direta

tensão nominal : 110 V

potência nominal : 12.5 CV

número de partidas : 8 por dia

A seguir é apresentada a folha da resposta, gerada pelo programa "Monotor".

## RESULTADOS

C.P.F.L

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## CÁLCULO DE MOTORES MONOFÁSICOS

Tipo : PEDIDO DE LIGAÇÃO

Data : 27.01.89

Comentário: Atendimento em Tensão Primária

Local : Campinas

Subestação : Barão Geraldo

Alimentador : BGE-03

Motor : Análise de um motor monofásico de 12.5 CV

### RESULTADOS OBTIDOS NO PONTO DE ENTREGA

#### TENSÕES DE FASE (VOLTS)

VAN % VBN % VCN %

7967. .0 7933. .4 7955. .2

#### TENSÕES DE LINHA ( VOLTS )

VAB % VBC % VCA %

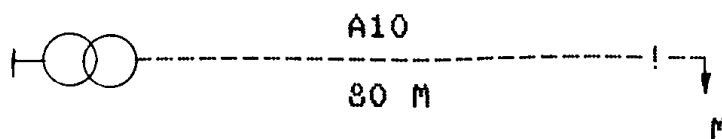
13767. .2 13745. .4 13805. .0

POTÊNCIA DE CURTO CIRCUITO TRIFÁSICA ( kVA ) : 33687.80

GRAU DE DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO EM REGIME ( % ) : .037

QUEDA DE TENSÃO ( % ) MÁXIMA ADMISSÍVEL NA PARTIDA : 4.879

#### A.2 - Atendimento em Tensão Secundária



Dados do motor monofásico:

corrente nominal : 28 A

corrente de partida : 8.5 pu - partida direta

tensão nominal : 110 V

N.Documento:	Categoria:	Versão:	Aprovado por:	Data Publicação:	Página:
237	Instrução	1.0	Adalberto Sotero de castro	10/08/2000	63 de 97



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

potência nominal : 3 CV

número de partidas : 2 por dia

A seguir é apresentada a folha da resposta, gerada pelo programa "Monotor".

## RESULTADOS

C.P.F.L

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO

### CÁLCULO DE MOTORES MONOFÁSICOS

Tipo : PEDIDO DE LIGAÇÃO

Data : 27.01.89

Comentário: Atendimento em Tensão Secundária

Local : Campinas

Subestação : Campinas Centro

Alimentador : CAM-09

Motor : Análise de um motor monofásico de 3 CV

### RESULTADOS OBTIDOS NO PONTO DE ENTREGA

VAN % VBN % VCN %

112. 11.7 127. .0 127. .0

TENSÕES DE LINHA ( VOLTS )

VAB % VBC % VCA %

212. 3.6 220. .0 202. 8.2

CAPACIDADE DO TRANSFORMADOR ( kVA ) : 75.0

POTÊNCIA DE CURTO CIRCUITO TRIFÁSICA ( kVA ) : 650.83

GRAU DE DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO EM REGIME ( % ) : .473

QUEDA DE TENSÃO ( % ) MÁXIMA ADMISSÍVEL NA PARTIDA : 4.939

N.Documento: 237	Categoria: Instrução	Versão: 1.0	Aprovado por: Adalberto Sotero de castro	Data Publicação: 10/08/2000	Página: 64 de 97
---------------------	-------------------------	----------------	---	--------------------------------	---------------------





Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## B - Medição do Grau de Desequilíbrio ( Vd )

Objetivo : Constatação do grau de desequilíbrio de tensão em regime permanente, no ponto de entrega de um consumidor, que opera um motor monofásico desconhecido, cujas medições no mesmo ponto foram :

$$VAB = 220 \text{ V}$$

$$VBC = 227 \text{ V}$$

$$VCA = 219 \text{ V}$$

A seguir é apresentada a folha de resposta gerada pelo programa "Monotor"

## RESULTADOS

C.P.F.L

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE DISTRIBUIÇÃO  
DIVISÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO  
SETOR DE CONTROLO E OTIMIZAÇÃO DA QUALIDADE DO FORNECIMENTO

### CÁLCULO DE MOTORES MONOFÁSICOS

Tipo : PEDIDO DE LIGAÇÃO

Data : 27.01.89

Comentário: Verificação do Desequilíbrio após medição

Local : Campinas

Subestação : Campinas Centro

Alimentador : CAM-05

Motor :

### TENSÕES DE LINHA ( VOLTS )

$$VAB = 220.000$$

$$VBC = 227.000$$

$$VCA = 219.000$$

### RESULTADOS OBTIDOS :

TENSÃO – SEQUÊNCIA DIRETA (VOLTS) : 221.9708

TENSÃO – SEQUÊNCIA INVERSA (VOLTS) : 5.0607

N.Documento: 237	Categoria: Instrução	Versão: 1.0	Aprovado por: Adalberto Sotero de castro	Data Publicação: 10/08/2000	Página: 65 de 97
---------------------	-------------------------	----------------	---	--------------------------------	---------------------

GRAU DE DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO ( % ) : 2.280

## 16.1 - ANÁLISE DOS EXEMPLOS

### EXEMPLO 1 - Atendimento em Tensão Primária

#### A - Cálculo de partida (M1 e M2 partindo com M3 em Regime)

Analisando o relatório “cálculo de partida”, nota-se que a partida dos dois motores em estudo, gera no sistema, flutuações de tensão fora dos limites admissíveis.

Considerando somente as barras dos motores, tem-se :

MOTOR	BARRA	FLUTUAÇÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL	FLUTUAÇÃO CALCULADA
M1	6	5%	8,41%
M2	7	4,93%	9,26%

- Portanto no critério de partida, a instalação destes motores é inviável nestas condições.

#### B - Cálculo de Regime (M1, M2 e M3 em regime)

Analisando o relatório “cálculo de Regime Permanente”, tem-se :

MOTOR	BARRA	TENSÃO MÍNIMA ADMISSÍVEL	TENSÃO CALCULADA
M1 - 6		12,97 Kv	13,339 kV
M2 - 7		12,97 kV	13,347 kV
M3- 9		12,97 kV	13,418 kV

- No critério de regime permanente não há problemas.

**CONCLUSÃO - 1 -** A ligação destes motores é tecnicamente inviável, pois a partida dos mesmos, causam flutuações inadmissíveis no sistema de distribuição, nas condições acima (M1 e M2 partindo). Ver item 14.B.2.b.

**EXEMPLO - 2 -** Atendimento em Tensão Secundária

**A -** Cálculo de partida (M2 partindo com M1 e M3 em Regime)

Nota-se que a partida de M2 gera no sistema, flutuações de tensão inadmissíveis, por exemplo:

Considerando somente as barras dos motores, tem-se :

MOTOR BARRA	FLUTUAÇÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL	FLUTUAÇÃO CALCULADA
M2 - 4	5%	6,02%

- Pelo critério de partida, a instalação do motor é inviável nestas condições.

**B -** Cálculo de Regime (M1, M2 e M3 em regime)

Analisando o relatório “Cálculo de Regime Permanente”, tem-se :

MOTORBARRA	TENSÃO MÍNIMA ADMISSÍVEL	TENSÃO CALCULADA
M1 - 6	200,91 V	206,57 V
M2 - 4	200,91 V	206,75 V
M3 - 2	200,91 V	211,74 V

- No critério de regime permanente não há problemas.

**CONCLUSÃO - 2 -** A ligação destes motores é tecnicamente inviável, pelo critério de partida.

### EXEMPLO 3 - Motor Monofásico - Atendimento em Tensão Primária – Pedido de Ligação

#### A - Critério de partida

A partida deste motor causa uma flutuação de tensão menor que o limite máximo de 4,879%. Verificar a folha de resposta :

#### B - Critério Grau de Desequilíbrio de Tensão

O grau de desequilíbrio de tensão provocado pelo motor está abaixo do limite máximo de 2%. Limite fixado no item 14.C

**CONCLUSÃO - 3 -** A ligação do motor é tecnicamente viável.

### EXEMPLO 4 - Motor Monofásico - Atendimento em Tensão Secundária – Pedido de Ligação

a - A partida do motor causa uma flutuação de tensão na fase “A” de 11,7%, maior que o limite máximo de 4,939%

#### b - Critério Grau de Desequilíbrio de Tensão

O grau de desequilíbrio de tensão provocado pelo motor é menor que o limite estabelecido de 2%.

**CONCLUSÃO - 4 -** A ligação do motor é tecnicamente inviável pelo critério de partida.

### EXEMPLO 5 - Motor Monofásico – Verificação do desequilíbrio após medição.

Este motor monofásico, provoca um grau de desequilíbrio de tensão de 2,28% maior que o limite máximo admissível de acordo com o item 14.C.

## 17 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

#### A - Máquinas Elétricas 2

Arnold/Stehr

#### b - Manual de Motores Elétricos – WEG



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

c - Conversão Eletromecânica de Energia

A. Falcone

d - NBR 7094 – Máquinas Elétricas Girantes

e - Elements of Power System Analysis

William D. Stevenson Jr.

f - Handbook of Electric Power Calculation

Arthur H. Seidman – Harouhn Mahrous

e - Influência de Motores de Grande Porte para Irrigação nos

Sistemas Elétricos

CPFL – Masaharu Shimoda – Vernei Gialluca – Osmar R. Trombeta

F - Queda de Tensão na Partida de Motores Elétricos

General Eletric S.A.

G - Catálogo de Motores Elétricos Monofásicos e Trifásicos

WEG

H - Instalações Elétricas Industriais

J. Mamede

## ANEXO - 1

### EFEITOS DA VARIAÇÃO DE TENSÃO

DESEMPENHO	TENSÃO 20% ACIMA	TENSÃO 10% ACIMA	TENSÃO 10% ABAIXO
Conjugado de partida e	aumenta	aumenta	diminui

N.Documento: 237	Categoria: Instrução	Versão: 1.0	Aprovado por: Adalberto Sotero de castro	Data Publicação: 10/08/2000	Página: 69 de 97
---------------------	-------------------------	----------------	---	--------------------------------	---------------------

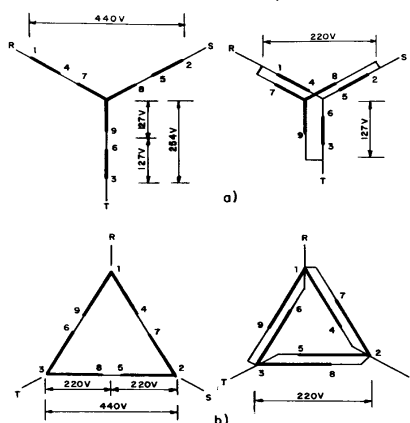


<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

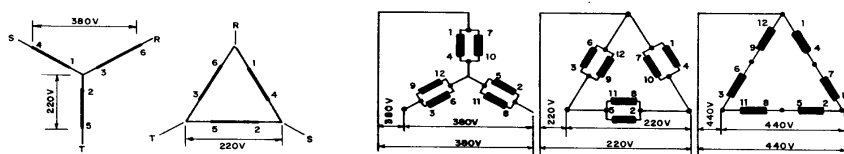
conjugado máximo	44 %	21 %	19 %
Corrente de partida	aumenta 25 %	aumenta 10 a 12 %	diminui 10 a 12 %
Corrente plena carga	diminui 11 %	diminui 7 %	aumenta 11 %
Escorregamento	diminui 30 %	diminui 17 %	aumenta 23 %
Velocidade plena carga	aumenta 1.5 %	aumenta 1 %	diminui 1.5 %
Rendimento	pequeno aumento	aumenta 1 %	diminui 2 %
Fator de Potência	diminui 5 a 15 %	diminui 3 %	aumenta 1 %
Sobreaquecimento	diminui 5 graus	diminui 3 graus C	aumenta 6 graus C
Ruído sem carga	aumento perceptível	ligeiro aumento	ligeira diminuição

## ANEXO - 2

### ESQUEMAS DE LIGAÇÃO



### A. LIGAÇÃO SÉRIE - PARALELO

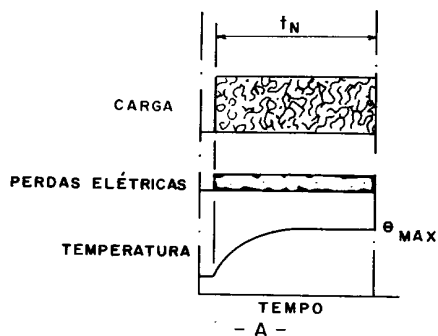


EXECUÇÃO DOS ENROLAMENTOS	Tensão de serviço	Partida com chave estrela-triângulo
220/380	220 V 380 V	sim não
220/440/230/460	220 V / 230 V 440 V / 460 V	não não
220/380/440	220 V 380 V 440 V	sim não não
380/660	380 V	sim
220/380/440/760	220 V 380 V 440 V	sim não não

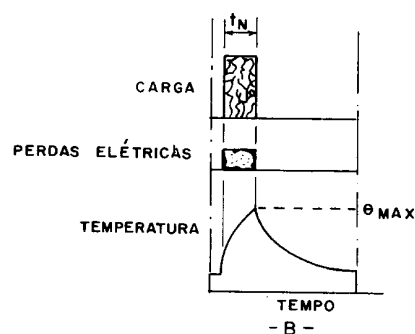
### B - LIGAÇÃO ESTRELA - TRIÂNGULO

## ANEXO - 3

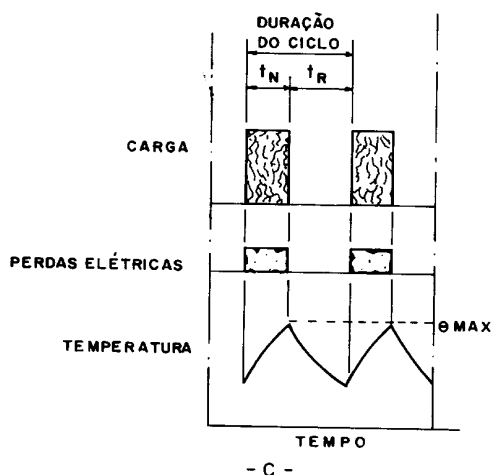
### REGIMES DE TRABALHO



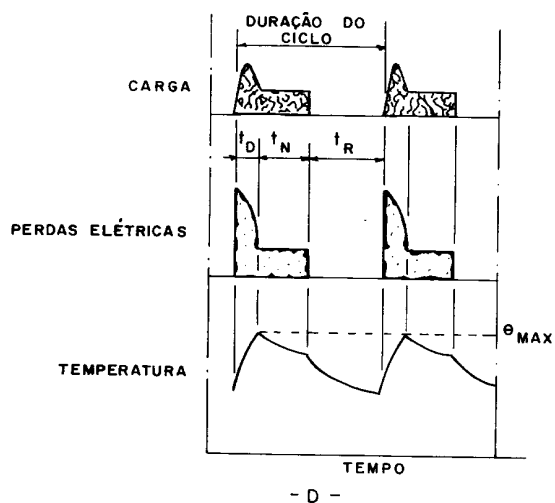
- A -  
REGIME CONTÍNUO (S1)



- B -  
REGIME DE TEMPO LIMITADO (S2)



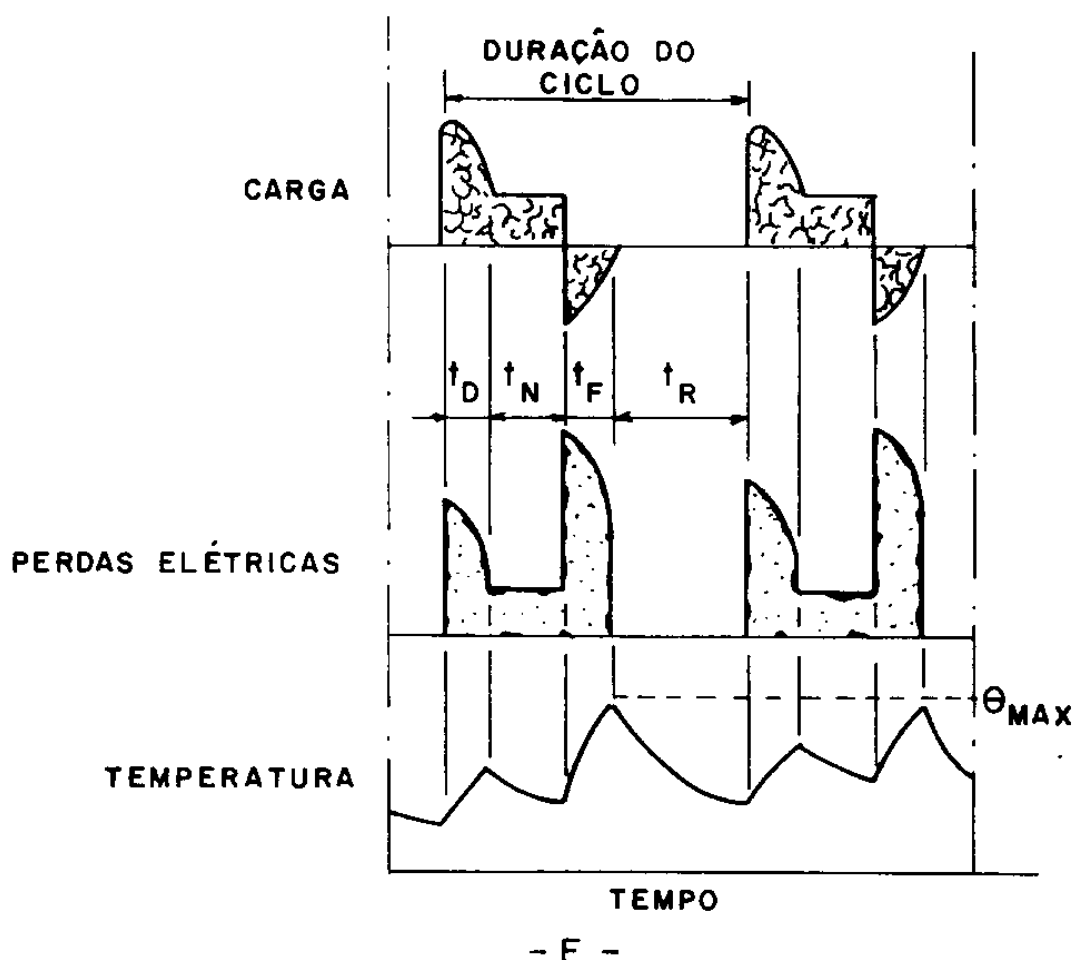
- C -  
REGIME INTERMITENTE PERIÓDICO (S3)



- D -  
REGIME INTERMITENTE PERIÓDICO  
COM PARTIDAS (S4)

$t_D$  - PARTIDA  
 $t_R$  - REPOUSO  
 $t_N$  - FUNCIONAMENTO EM CARGA CONSTANTE  
 $\Theta_{MAX}$  - TEMPERATURA MÁXIMA ATINGIDA DURANTE O CICLO



**ANEXO - 3 (CONTINUAÇÃO)****REGIME INTERMITENTE PERÍODICO  
COM FENAGEM ELÉTRICA (S5)**



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO - 4

### A - TRANSFORMAÇÃO 50/60 Hz

VN 50 HZ	LIGADO EM 60 Hz	MOTOR ENROLADO PARA 50 Hz E ALIMENTADO EM 60 HZ						
		Nn	Pn	Cn	In	Cp	Cm	Ip
220	220	1.20	1.00	0.83	1.00	0.83	0.83	0.83
380	380	1.20	1.00	0.83	1.00	0.83	0.83	0.83
380	440	1.20	1.15	0.96	1.00	0.96	0.96	0.96
440	440	1.20	1.00	0.83	1.00	0.83	0.83	0.83
500	500	1.20	1.00	0.83	1.00	0.83	0.83	0.83
500	550	1.20	1.10	0.91	1.00	0.91	0.91	0.91
660	660	1.20	1.00	0.83	1.00	0.83	0.83	0.83

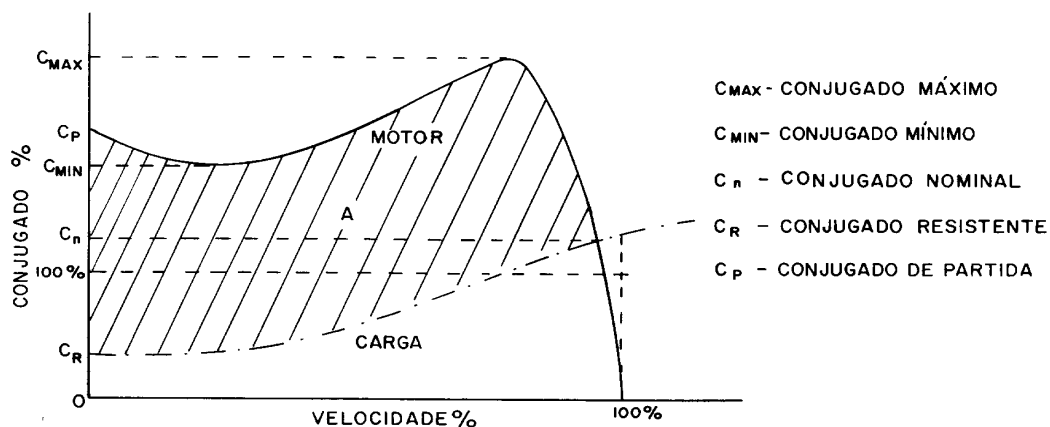
n = nominal m = máximo N = rotação I = corrente  
p = partida V = tensão P = potência C = conjugado

### B - CÓDIGO DE PARTIDA KVA/CV - Equação ( 3 )

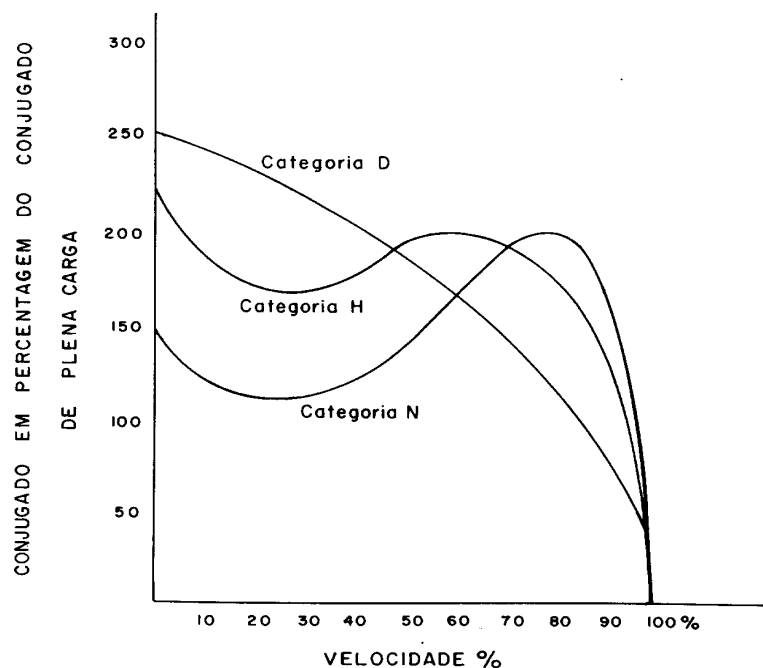
COD	KVA / CV			COD	KVA / CV		
A	0.00	-	3.14	L	9.0	-	9.99
B	3.15	-	3.54	M	10.0	-	11.09
C	3.55	-	3.99	N	11.2	-	12.49
D	4.00	-	4.49	P	12.5	-	13.99
E	4.50	-	4.99	R	14.0	-	15.99
F	5.00	-	5.59	S	16.0	-	17.99
G	5.60	-	6.29	T	18.0	-	19.99
H	6.30	-	7.09	U	20.0	-	22.39
J	7.10	-	7.99	V	22.4	-	ou mais
K	8.00	-	8.99				

## ANEXO - 5

### CURVAS CONJUGADO x VELOCIDADE TÍPICA PARA MOTORES DE INDUÇÃO

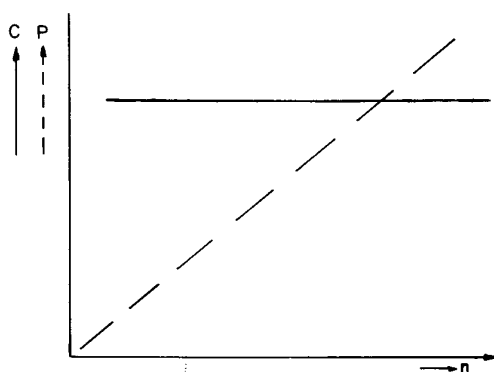


### CURVAS CONJUGADO x VELOCIDADE DAS DIFERENTES CATEGORIAS

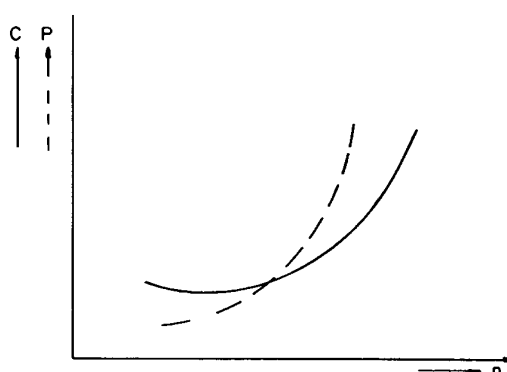


## ANEXO - 6

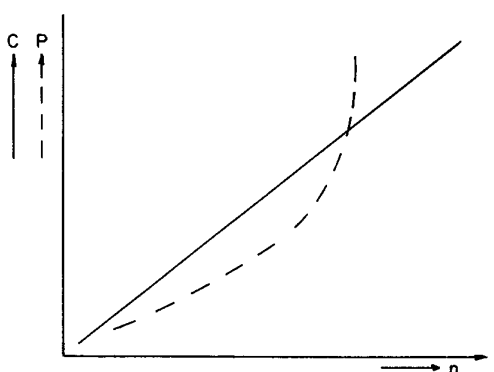
### RELAÇÃO ENTRE CONJUGADO RESISTENTE E POTÊNCIA REQUERIDA



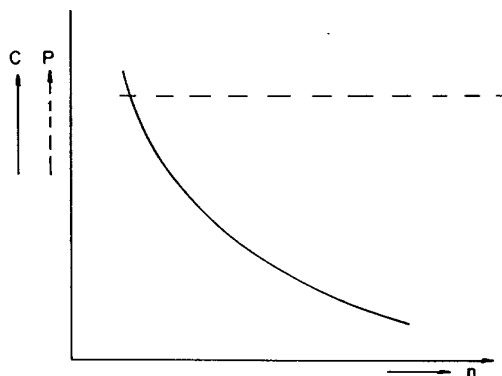
C - Conjugado resistente - Constante  
P - Potência - Proporcional ao número de rotações (n)



C - Conjugado resistente - Proporcional ao número de rotações ao quadrado ( $n^2$ )  
P - Potência - Proporcional ao número de rotações ao cubo ( $n^3$ )

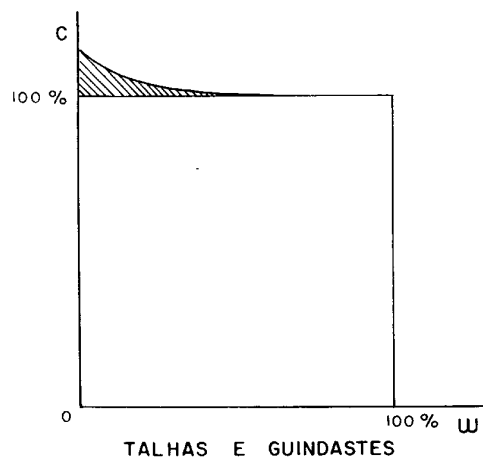
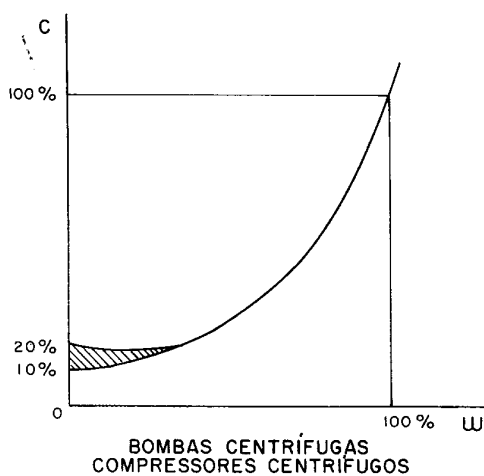
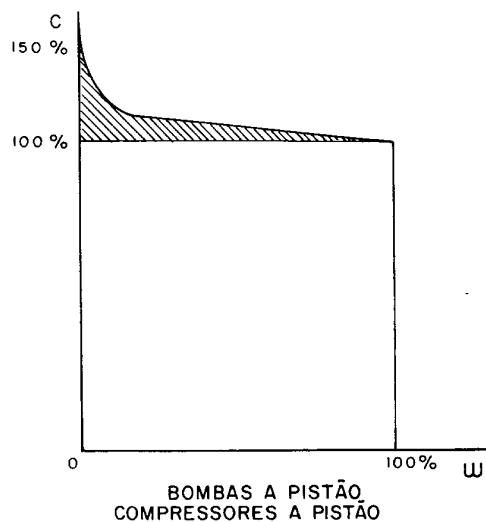
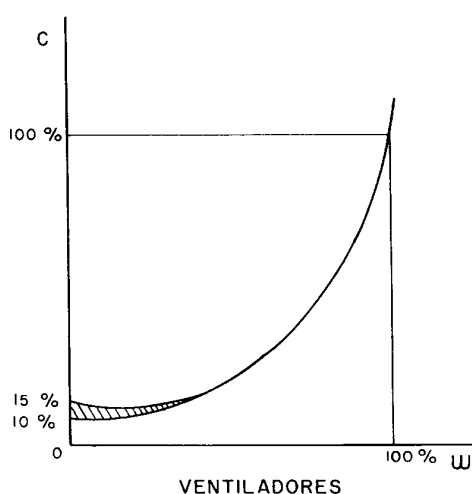


C - Conjugado resistente - Proporcional ao número de rotações (n)  
P - Potência - Proporcional ao número de rotações ao quadrado ( $n^2$ )



C - Conjugado resistente - Inversamente proporcional ao número de rotações (n)  
P - Potência constante

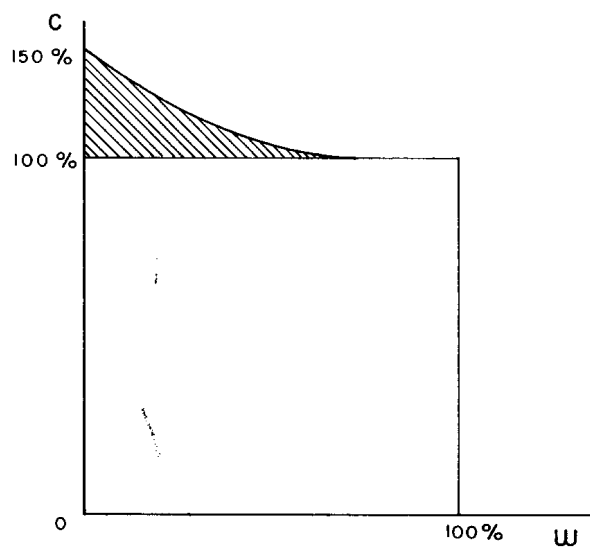
— Conjugado requerido pela máquina  
--- Potência requerida pela máquina

**ANEXO - 7****CARACTERÍSTICAS DAS CARGAS ACIONADAS**

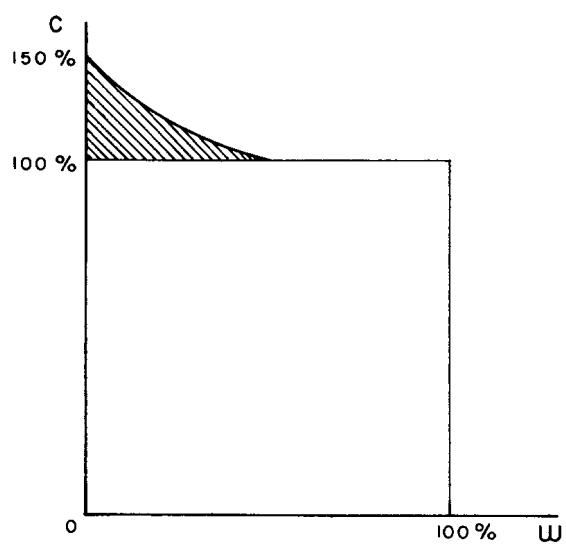
C - CONJUGADO  
ω - VELOCIDADE

**CRITÉRIOS PARA ATENDIMENTO A MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO  
NT-157-FL-92-111**

## ANEXO - 7 ( CONTINUAÇÃO )

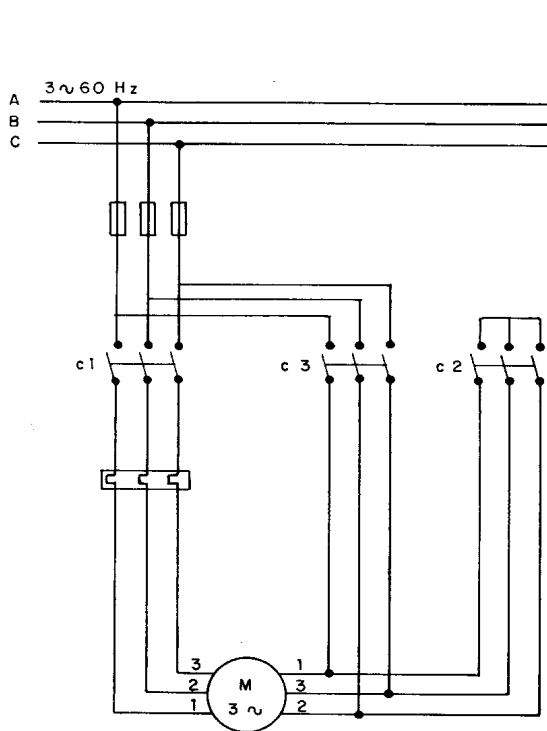


TRANSPORTADORES CONTÍNUOS

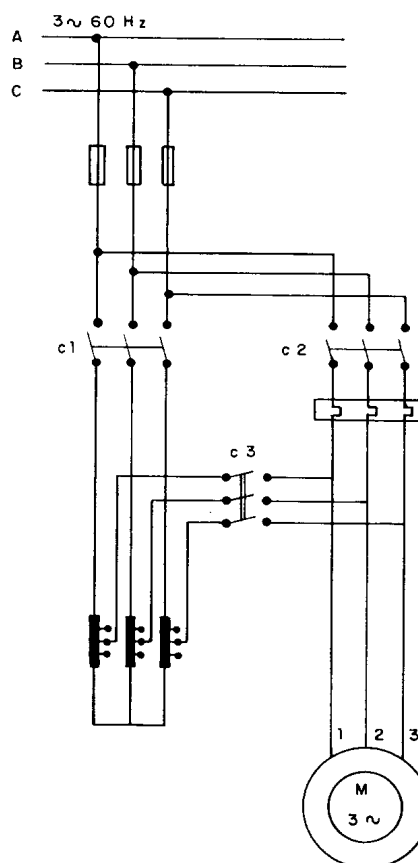


BRITADORES

C - CONJUGADO  
W - VELOCIDADE

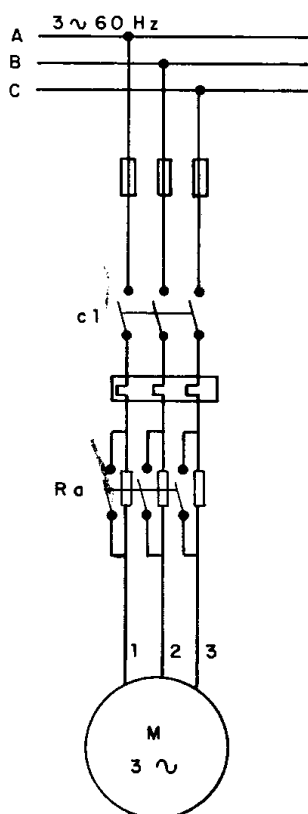
**ANEXO - 8****DIAGRAMAS DE LIGAÇÕES - PARTIDA COM TENSÃO REDUZIDA**

**PARTIDA ESTRELA - TRIÂNGULO**  
- A -

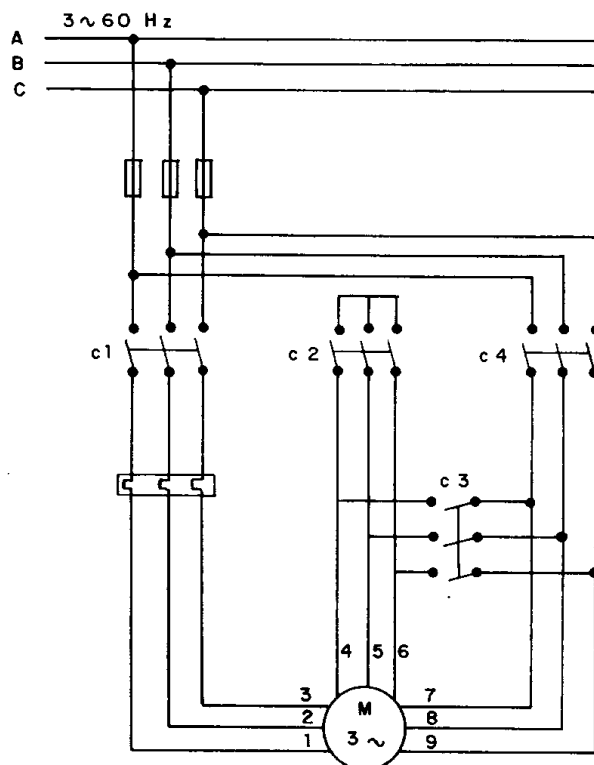


**PARTIDA COM CHAVE COMPENSADORA**  
- B -

**CRITÉRIOS PARA ATENDIMENTO A MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO**  
**NT-157-FL-94-111****ANEXO - 8 (CONTINUAÇÃO)**



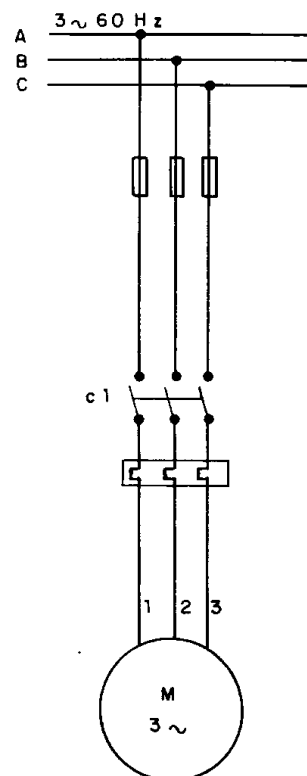
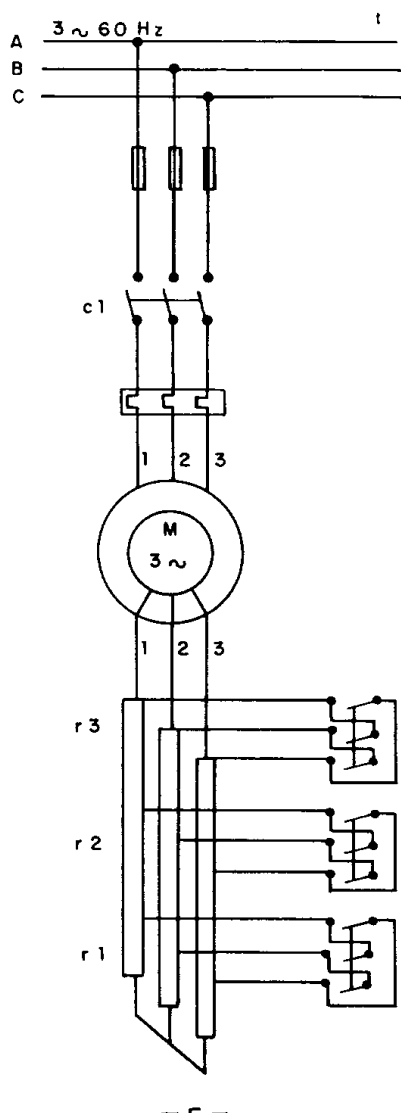
PARTIDA COM RESISTÊNCIA  
- C -



PARTIDA SÉRIE - PARALELO  
- D -



## ANEXO - 8 ( CONTINUAÇÃO )



## ANEXO - 9

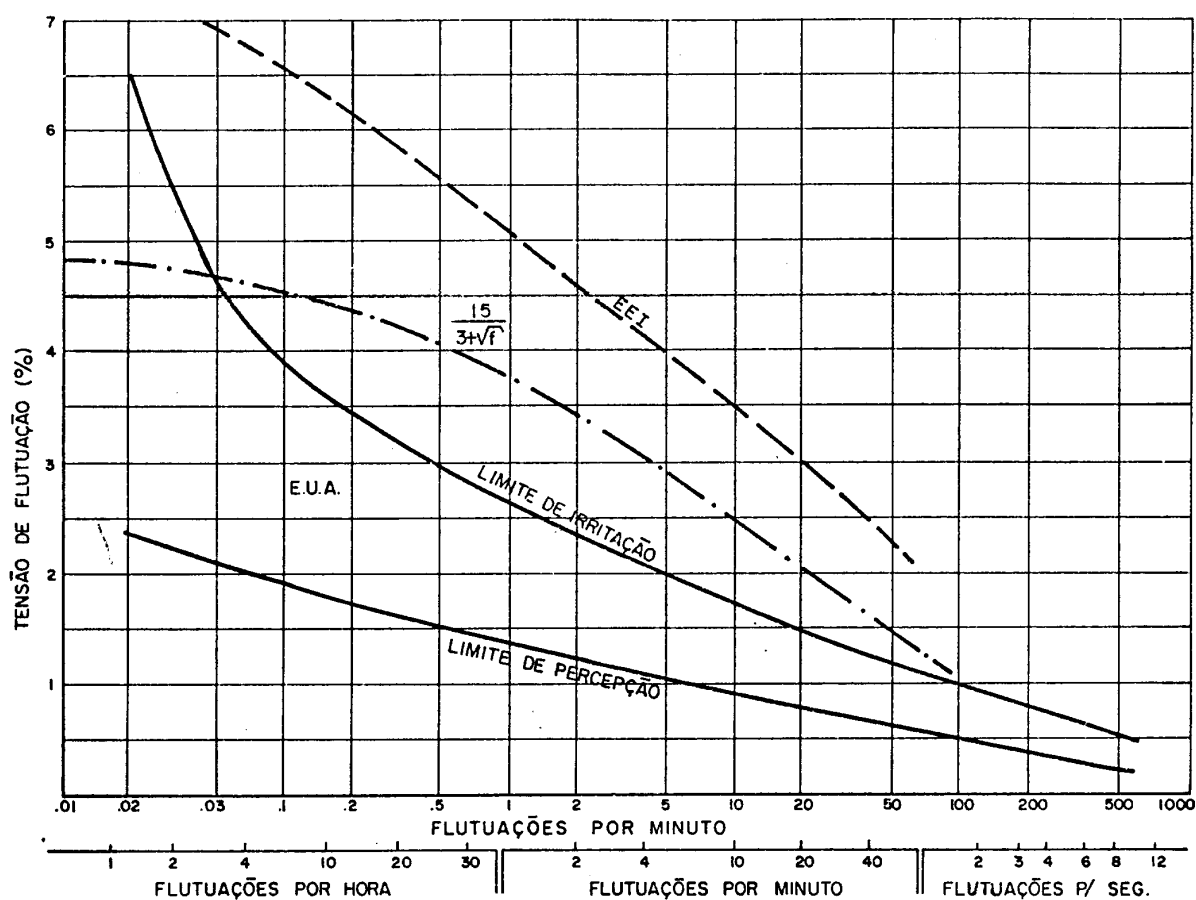
### CARACTERÍSTICAS DAS CHAVES DE PARTIDA - FATOR K

CHAVE	VALORES EM RELAÇÃO A PARTIDA DIRETA ( % )		
	TENSÃO NO ENROLAMENTO ( % )	CORRENTE E POTÊNCIA ( 1 ) K ( % )	CONJUGADO ( % )
ESTRELA – TRIÂNGULO (CET)	58	33	33
50 % COMPENSADORA 65 % (CAT) 80 %	50 65 80	25 42 64	25 42 64
SÉRIE – PARALELO (CSP)	50	25	25
RESISTÊNCIA 70 % REATÂNCIA A (CRX) 80 %	70 A 85	70 A 85	49 A 72
MOTOR COM ROTOR BOBINADO (resistência rotor)	100	100	100

( 1 ) Valores solicitados pelo motor K = Fator de Atenuação

APLICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
CET Conjugado resistente até 1/3 do nominal	Baixo custo. Proporciona baixo conjugado de partida
CAT Conjugado resistente até 1/2 do nominal	Médio custo. Proporciona um conjugado de partida ajustável as necessidades.
CSP Motores que partem praticamente a vazio	Baixo custo. Proporciona baixo conjugado de partida
CRX Conjugado resistente > 1/3 do nominal. Cargas de elevada inércia, e que necessitam de uma aceleração suave	Médio custo. Utilizada quando não for possível o uso da CET
RES. Conjugado resistente elevado, ROT. cargas com alta inércia, com necessidade de controle de velocidade	Alto custo. Apresenta melhor fator de potência (70%). Produz perdas e aquecimento na resistência rotórica.

RES.ROT. = Resistência Rotórica (para motores c/ rotor bobinado)

**ANEXO - 10****CURVA - FREQUÊNCIA DE OSCILAÇÕES**

*LIMITE DE PERCEÇÃO E DE IRRITAÇÃO EM RELAÇÃO A FREQUÊNCIA E O VALOR DA OSCILAÇÃO DE TENSÃO*

## ANEXO - 11

### A - CONJUGADO DE PARTIDA SOLICITADO PELAS CARGAS ACIONADAS

C A R G A	CONJUGADO DE PARTIDA ( % )
Ventiladores	15
Bombas e Compressores Centrífugos	20
Bombas e Compressores a Pistão	150
Bombas a Vácuo	60
Correias Transportadoras	150
Talhas e Guindastes	150
Britadores	150
Moinhos e Bolas	150
Moinhos e Martelos	100
Monhos de Cilindros	100

### B - MÍNIMA TENSÃO SUPORTÁVEL POR EQUIPAMENTO (quando da partida)

EQUIPAMENTO / CONDIÇÃO	MÍNIMA TENSÃO ( * )
Motor em processo de partida	80
Outros motores em operação	71
Fechamento de contadores CA	85
Fechamento de contadores CC	80
Contadores em operação	80
Dispositivos de controle estáticos	90
Flicker perceptível	3



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO - 12

### FOLHA DE DADOS DO CONSUMIDOR

- Motor Tipo :

(    ) INDUÇÃO – ROTOR EM GAIOLA(    ) INDUÇÃO – ROTOR BOBINADO

(    ) CORRENTE CONTÍNUA (    ) SINCRONO

- Número de Fases :

(    ) 3 FASES (    ) 2 FASES (    ) 1 FASE

- Corrente Nominal .....(A)

- Corrente de Partida ..... (A)      ou Relação IP / IN ..... (PU)

- Tensão Nominal .....(V)

- Potência Nominal .....(CV)

- Fator de Potência em Regime.....

- Fator de Potência na Partida.....

- Ocorrências de Partidas .....

(    ) por dia (    ) por hora

(    ) por minuto (    ) Outras ..... Especificar

- Tipo de Partida :

(    ) DIRETA

(    ) C/ CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO

(    ) C/ CHAVE ESTRELA-TRIÂNGULO - TAP ..... %

(    ) C/ CHAVE SÉRIE PARALELO

(    ) C/ RESISTÊNCIA OU REATÂNCIA PRIMÁRIA – AJUSTE .....%



Tipo de Documento:	Orientação Técnica
Área de Aplicação:	Distribuição
Título do Documento:	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO - 12 ( continuação )

(    ) C/ RESISTÊNCIA ROTÓRICA

- Quando houver mais de um motor :

Ordem de partidas dos motores : .....

- Cargas operando quando da partida do motor (quando houver)

Potência : .....Fator de Potência : .....

- Cargas sensíveis à flutuação de tensão :

Tipo : .....

Flutuação admissível : ..... %

- Potência do transformador do consumidor : ..... kVA

- Impedância do transformador do consumidor : ..... %

OBS:

- Em casos de mais de um motor, preencher uma folha de dados para cada um

- Anexar, sempre que possível, a(s) folha(s) das características elétricas fornecidas pelo fabricante.

DATA : ..... / ..... / .....

.....  
Responsável pelas informações



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 13

### MOTORES MONOFÁSICOS

POTÊNCIA		CARCAÇA ABNT	RPM	CORRE NTE NOMINA L EM 220V A	CORRENTE COM ROTOR BLOQUEAD O Ip/In	CONJUGADO NOMINAL Cn kgfm	CONJUGADO COM ROTOR BLOQUEADO Cp/Cn	CONJUGA DO MÁXIMO Cmax/Cn
CV	KW							
3600 RPM								
1.1/2	1.1	90S	3535	7.5	7.8	0.31	2.9	2.3
2.0	1.5	90L	3530	9.5	7.2	0.41	2.9	2.3
3.0	2.2	100L	3460	13	7.6	0.61	3.0	2.2
4.0	3.0	112M	3515	18	8.7	0.81	2.8	2.6
5.0	3.7	112M	9515	23	7.9	1.00	2.8	2.6
7.1/2	5.5	132S	3495	34	6.2	1.50	2.1	2.1
10	7.5	132M	3495	42	7.0	2.00	2.1	2.6
12.1/2	9.2	132M/L	3495	58	6.5	2.50	2.1	2.6

RENDIMENTO $\eta$ % FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT. NOM.			FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT. NOM.			FATOR DE SERVIÇO FS	MOMENTO DE INÉRCIA J kgm	TEMPO COM ROTOR BLOQUEADO (s) A QUENTE	PESO APROXIMADO kg
50	75	100	50	75	100				
64	70	75	0.79	0.82	0.88	1.15	0.0020 <sup>1</sup>	6.0	26
65	71	76	0.80	0.85	0.90	1.15	0.0024	6.0	29
65	72	77	0.95	0.96	0.98	1.15	0.0064	6.0	32
68	74	79	0.95	0.96	0.97	1.15	0.0093	6.0	49
70	75	81	0.92	0.94	0.95	1.15	0.0104	6.0	52
66	74	78	0.93	0.94	0.95	1.15	0.0210	6.0	68
78	78	82	0.93	0.94	0.95	1.15	0.0295	6.0	80.5
70	72	73	0.91	0.93	0.96	1.00	0.0347	6.0	102



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

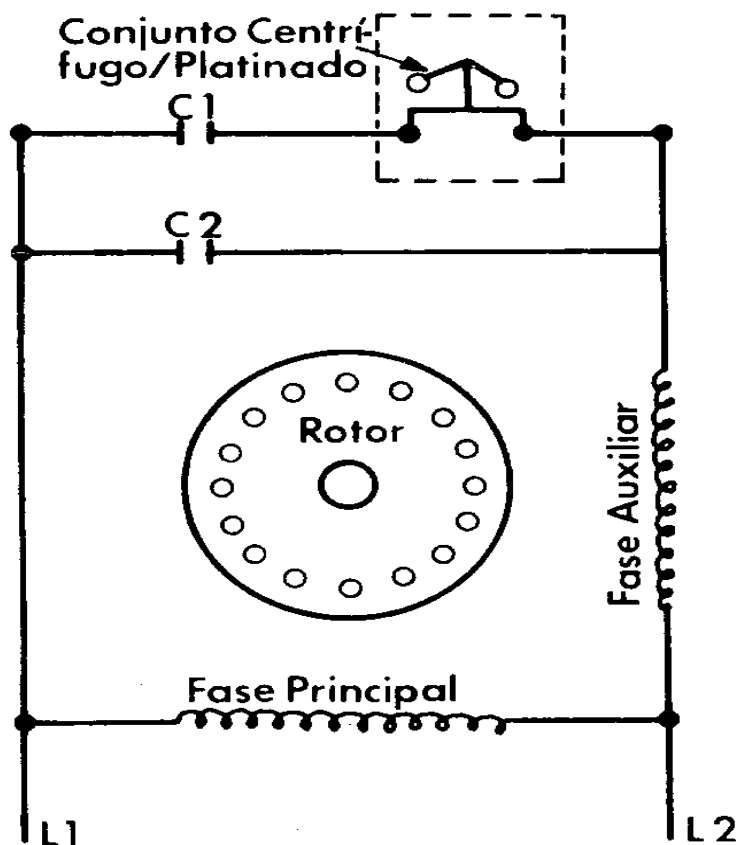
## ANEXO 13 (CONTINUAÇÃO)

### MOTORES MONOFÁSICOS

POTÊNCIA		CARCAÇA A ABNT	RPM	CORRENTE NOMINAL EM 220V A	CORRENTE COM ROTOR BLOQUEADO O Ip/In	CONJUGADO NOMINAL Cn kgfm	CONJUGADO O COM ROTOR BLOQUEADO Cp/Cn	CONJUGADO DO MÁXIMO Cmax/Cn
CV	KW							
1800 RPM								
1.0	1.1	90S	1760	5.8	8.2	0.41	3.0	2.5
1.1/2	1.1	90L	1760	7.5	8.7	.61	2.8	2.9
2.0	1.5	100L	1753	9.5	8.7	0.81	3.0	2.8
3.0	2.2	112M	1755	14	8.5	1.20	3.0	2.8
4.0	3.0	112M	1745	19	7.1	1.60	2.9	2.6
5.0	3.7	132S	1750	25	7.5	2.0	3.0	2.6
7.1/2	5.5	132M	1745	34	7.4	3.10	2.13.0	2.6
10	7.5	132M	1745	46	7.6	4.10	3.0	2.5
12.1/2	9.2	132M/L	1750	56	7.0	5.10	2.85	2.35

RENDIMENTO $\eta\%$ FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT. NOM.			FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT. NOM.			FATOR DE SERVIÇO FS	MOMENTO DE INÉRCIA J kgm	TEMPO COM ROTOR BLOQUEADO (s) A QUENTE	PESO APROXIMADO kg
50	75	100	50	75	100				
59	98	71	0.71	0.80	0.85	1.15	0.0039	6.0	27
62	72	75	0.73	0.81	0.85	1.15	0.0052	6.0	30
62	73	77	0.85	0.88	0.93	1.15	0.0084	6.0	31
72	78	79	0.78	0.87	0.90	1.15	0.0163	6.0	45.5
74	79	80	0.81	0.88	0.90	1.15	0.0183	6.0	52
75	80	81	0.70	0.80	0.88	1.15	0.0336	6.0	65
71	81	84	0.78	0.88	0.90	1.15	0.0378	6.0	75.5
81	83	85	0.82	0.89	0.89	1.15	0.0434	6.0	87
76	79	80	0.83	0.90	0.92	1.00	0.0491	6.0	115



**ANEXO 13 (CONTINUAÇÃO)****MOTORES MONOFÁSICOS**

C1 – Capacitor de partida  
C2 – Capacitor permanente

ESQUEMA DE  
FUNCIONAMENTO



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 14

### MOTORES TRIFÁSICOS

### CARACTERÍSTICAS TÍPICAS

POTÊNCIA		CARCAÇA A ABNT	RPM	CORRENTE NOMINAL EM 220V A	CORRENTE COM ROTOR BLOQUEADO Ip/In	CONJUGADO NOMINAL Cn kgfm	CONJUGADO O COM ROTOR BLOQUEADO Cp/Cn	CONJUGA DO MÁXIMO Cmax/Cn
CV	KW							
- 1200 RPM - 60 Hz - 220V								
0.16	0.12	63	1130	1.10	3.5	0.10	2.7	2.9
0.25	0.18	71	109	1.40	2.8	0.15	1.7	1.9
0.33	0.25	71	110	1.80	3.1	0.20	2.2	2.2
0.50	0.37	80	1140	2.60	4.00	.30	2.7	3.0
0.75	0.55	80	1140	3.40	4.9	0.46	3.2	3.3
1.00	0.75	90S	1140	4.00	4.8	0.63	2.8	2.9
1.50	1.10	90S	1120	5.60	5.3	0.94	2.6	2.7
2.00	1.50	100L	116	6.80	5.4	1.20	2.1	2.4
3.00	2.20	100L	1130	10.0	5.0	1.90	2.4	2.6
4.00	3.00	112M	1150	13.0	5.4	2.50	2.3	2.8
5.00	3.70	132S	1150	15.0	6.6	3.00	2.3	2.9
6.00	4.40	132S	1155	18.0	7.1	3.60	2.4	3.2
7.50	5.50	132M	1160	22.0	7.9	4.60	2.3	3.5
10.0	7.50	132M	1150	30.0	8.2	6.00	3.3	3.6
12.5	9.20	160M	1160	36.0	5.8	7.50	2.1	2.7
15.0	11.0	160M	1160	43.0	6.5	9.00	2.1	2.3
20.0	15.0	160L	1160	56.0	6.6	12.0	2.5	2.9
25.0	18.5	180L	1170	64.0	7.9	15.0	2.3	2.5
30.0	22.0	200L	1180	75.0	8.1	18.0	2.1	2.7
40.0	30.0	200L	1180	100	8.1	24.0	2.4	2.8
50.0	37.0	225S/M	1185	130	8.0	30.0	3.0	2.9
60.0	45.0	250S/M	1180	155	7.4	36.0	2.6	2.6
75.0	55.0	250S/NM	1185	190	7.8	45.0	3.0	2.8
100	75	280S/M	1185	260	7.3	60.0	2.7	2.2
125	90	280S/M	1185	315	6.6	76.0	2.7	2.5
150	110	315S/M	1185	380	7.3	90.0	2.9	2.7
175	130	315S/M	1185	445	7.7	105	2.8	2.7
200	150	315S/M	1185	495	7.8	120	2.8	2.2
250	185	355ML	1190	630	7.0	150	2.0	2.2
300	220	355ML	1190	780	6.6	180	2.3	2.2
350	260	355ML	1190	880	6.7	210	2.0	2.3
400	300	355ML	1190	1020	6.6	240	1.9	2.0
450	330	355ML	1190	1180	6.7	270	2.0	1.8



**Tipo de Documento:** Orientação Técnica  
**Área de Aplicação:** Distribuição  
**Título do Documento:** Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 14 (CONTINUAÇÃO)

RENDIMENTO $\eta\%$ FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT.NOM.			FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT. NOM.			FATOR DE SERVIÇO FS	MOMENTO DE INÉRCIA J kgm	TEMPO COM ROTOR BLOQUEADO (s) A QUENTE	PESO APROXIMADO kg
50	75	100	50	75	100				
31	38	45	0.50	0.57	0.62	1.35	0.0005	16	8.0
44	50	51	0.49	0.59	0.67	1.35	0.0008	26	9.0
42	49	54	0.48	0.57	0.65	1.35	0.0013	23	12
46	54	60	0.47	0.57	0.62	1.25	0.0018	7.0	13
53	61	60	0.44	0.55	0.65	1.15	0.0021	8.0	15
64	69	65	0.50	0.61	0.68	1.15	0.0057	7.5	20
65	68	70	0.51	0.66	0.75	1.15	0.0063	6.0	21
71	77	69	0.56	0.65	0.72	1.15	0.0100	6.0	28
70	73	79	0.59	0.69	0.78	1.15	0.0115	9.0	30
71	73	75	0.67	0.73	0.79	1.15	0.0219	6.0	43
72	78	80	0.61	0.72	0.80	1.15	0.0370	7.5	56
71	77	80	0.59	0.72	0.80	1.15	0.0412	6.5	63
77	81	83	0.57	0.70	0.79	1.15	0.0480	6.0	72
72	78	80	0.67	0.75	0.80	1.15	0.0500	6.5	82
75	82	84	0.68	0.77	0.80	1.15	0.0880	9.5	110
73	79	84	0.67	0.77	0.80	1.15	0.1010	7.5	125
80	84	86	0.70	0.77	0.80	1.15	0.1140	7.5	138
83	85	86	0.82	0.86	0.88	1.15	0.3533	8.0	180
84	87	89	0.76	0.80	0.87	1.15	0.4446	9.5	232
82	86	89	0.76	0.83	0.87	1.00	0.4850	10	244
83	87	88	0.72	0.80	0.84	1.00	1.0500	18	368
86	89	90	0.72	0.80	0.83	1.00	1.1900	12	424
88	90	91	0.70	0.78	0.83	1.00	1.3300	10	452
84	87	88	0.74	0.81	0.84	1.00	2.6600	20	647
88	90	91	0.72	0.79	0.85	1.00	3.1400	17	698
88	91	92	0.68	0.77	0.82	1.00	3.6000	13	818
88	91	92	0.71	0.78	0.83	1.00	4.8100	14	984
90	92	93	0.75	0.81	0.84	1.00	4.8100	14	986
89	91	92	0.68	0.76	0.81	1.00	8.5600	31	1470
89	91	92	0.70	0.78	0.80	1.00	9.3400	33	1570
88	92	92	0.73	0.80	0.82	1.00	12.400	35	1710
90	93	93	0.74	0.80	0.82	1.00	13.200	30	1775
91	93	93	0.67	0.74	0.78	1.00	14.000	32	1840



**Tipo de Documento:** Orientação Técnica  
**Área de Aplicação:** Distribuição  
**Título do Documento:** Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 14 (Continuação )

POTÊNCIA		CARCAÇA A ABNT	RPM	CORRENTE NOMINAL EM 220V A	CORRENTE COM ROTOR BLOQUEADO O Ip/In	CONJUGADO NOMINAL Cn kgfm	CONJUGADO O COM ROTOR BLOQUEADO O Cp/Cn	CONJUGADO DO MÁXIMO Cmax/Cn
CV	KW							
- 3600 RPM - 60 Hz - 220V								
0.16	0.12	63	3450	0.80	5.7	0.03	3.8	4.1
0.25	0.18	63	3450	1.10	5.9	0.05	3.9	4.1
0.33	0.25	63	3430	1.30	5.0	0.07	2.9	3.1
0.50	0.37	63	3410	1.80	5.2	0.10	2.8	2.9
0.75	0.55	71	3400	2.60	5.4	0.15	3.2	3.0
1.00	0.75	71	3420	3.20	6.8	0.20	2.6	2.8
1.50	1.10	80	3480	4.80	7.8	0.30	3.5	3.3
2.00	1.50	80	3400	6.00	6.2	0.40	2.9	3.1
3.00	2.20	90S	3460	9.00	7.0	.60	3.3	3.1
4.00	3.00	90L	3490	12.0	8.1	0.80	3.7	3.2
5.00	3.70	100L	3500	14.0	9.0	1.00	2.7	3.4
6.00	4.40	112M	3510	16.0	8.6	1.20	2.5	3.5
7.50	5.50	112M	3490	20.0	7.8	1.50	2.6	3.4
10.0	7.50	132S	3480	27.0	7.2	2.0	2.0	3.2
12.5	9.20	132M	3510	33.0	8.4	2.4	2.4	2.7
15.0	11.0	132M	3500	38.0	8.7	2.6	2.6	3.7
20.0	15.0	160M	3520	52.0	8.8	2.5	2.5	3.5
25.0	18.5	160	3510	62.0	8.2	2.6	2.6	3.4
30.0	22.0	160L	3490	74.0	7.9	2.5	2.5	3.4
40.0	30.0	200M	3560	100	7.2	3.3	3.3	2.6
50.0	37.0	200L	3570	125	8.0	3.4	3.4	3.0
60.0	45.0	225S/M	3565	150	7.0	2.0	2.0	2.5
75.0	55.0	225S/M	3560	180	8.0	2.8	2.8	3.0
100	75	250S/M	3575	235	7.5	2.5	2.5	2.7
125	90	280S/M	3575	300	7.6	1.3	1.3	2.8
150	110	315S/M	3565	360	7.3	1.5	1.5	2.7
175	130	315S/M	3570	420	7.5	1.9	1.9	2.6
200	150	315S/M	3570	480	6.6	1.5	1.5	2.1
250	185	315S/M	3570	580	7.0	1.5	1.5	2.4
300	220	355ML	3565	730	6.0	1.1	1.1	2.0
350	260	355ML	3570	800	6.6	1.2	1.2	2.1
400	300	355ML	3570	930	6.6	1.3	1.3	2.4
450	330	355ML	3570	1040	6.8	1.4	1.4	2.5



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 14 (Continuação )

RENDIMENTO $\eta\%$ FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT.NOM.			FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT. NOM.			FATOR DE SERVIÇO FS	MOMENTO DE INÉRCIA J kgm	TEMPO COM ROTOR BLOQUEADO (s) A QUENTE	PESO APROXIMADO kg
50	75	100	50	75	100				
43	49	53	0.58	0.67	0.76	1.35	0.0003	9.0	6.0
48	55	58	0.60	0.69	0.75	1.35	0.0003	8.0	6.5
53	60	65	0.71	0.74	0.75	1.35	0.0004	8.0	6.5
60	65	67	0.76	0.79	0.80	1.25	0.0004	8.5	6.5
60	67	71	0.66	0.76	0.78	1.15	0.0005	7.5	7.5
57	65	68	0.72	0.82	0.88	1.15	0.0006	6.0	9.9
63	7	72	0.68	0.78	0.84	1.15	0.0016	7.5	15
72	76	77	0.76	0.81	0.83	1.15	0.0016	6.0	16
72	76	79	0.75	0.80	0.82	1.15	0.0023	6.0	20
72	77	79	0.70	0.77	0.81	1.15	0.0026	6.0	23
65	71	75	0.76	0.85	0.91	1.15	0.0064	6.0	32
75	81	83	0.78	0.84	0.87	1.15	0.0088	6.0	41
74	80	81	0.78	0.85	0.89	1.15	0.0104	6.5	45
73	76	77	0.86	0.90	0.93	1.15	0.0179	6.0	59
74	78	79	0.84	0.89	0.93	1.15	0.0210	6.0	67
78	81	82	0.88	0.91	0.93	1.15	0.0229	6.0	73
74	80	81	0.85	0.89	0.92	1.15	0.0530	6.0	114
80	82	83	0.89	0.91	0.93	1.15	0.0620	6.0	123
76	82	83	0.87	0.91	0.94	1.15	0.0680	6.5	134
76	82	84	0.87	0.90	0.92	1.00	0.3200	11	232
77	83	85	0.87	0.90	0.91	1.00	0.3330	8.5	249
85	87	88	0.82	0.87	0.89	1.00	0.4000	12	347
80	88	90	0.87	0.89	0.89	1.00	0.4800	10	385
84	88	90	0.88	0.90	0.91	1.00	0.6100	7.0	475
82	86	88	0.89	0.90	0.91	1.00	1.2200	8.0	645
83	87	88	0.90	0.91	0.91	1.00	1.2700	25	676
81	86	88	0.90	0.91	0.91	1.00	1.4900	16	780
82	87	89	0.90	0.91	0.91	1.00	1.4900	27	807
88	90	91	0.89	0.91	0.91	1.00	2.0000	25	1076
82	86	89	0.88	0.89	0.89	1.00	3.1400	35	1126
90	91	92	0.89	0.90	0.91	1.00	3.6200	34	1300
90	91	92	0.89	0.90	0.91	1.00	3.9800	35	1380
91	92	92	0.90	0.91	0.91	1.00	4.5900	30	1510



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 14 (Continuação )

POTÊNCIA		CARÇA A ABNT	RPM	CORRENT E NOMINAL EM 220V A	CORRENTE COM ROTOR BLOQUEAD O Ip/In	CONJUGAD O NOMINAL Cn kgfm	CONJUGAD O COM ROTOR BLOQUEAD O Cp/Cn	CONJUGA DO MÁXIMO Cmax/Cn
CV	KW							
- 1800 RPM - 60 Hz - 220V								
0.16	0.12	63	1730	0.90	4.8	0.06	3.5	3.4
0.25	0.18	63	1720	1.30	4.5	0.10	3.2	3.2
0.33	0.25	63	1720	1.60	5.2	0.14	3.5	3.4
0.50	0.37	71	1710	2.10	4.6	0.2	3.0	3.0
0.75	0.55	71	1720	3.00	6.0	0.30	2.9	3.5
1.00	0.75	80	1730	3.80	5.5	0.40	2.7	3.0
1.50	1.10	80	1690	5.00	5.1	0.60	2.4	2.4
2.00	1.50	90S	1720	6.50	6.3	0.84	3.0	3.0
3.00	2.20	90L	1710	9.00	6.8	1.20	3.1	3.2
4.00	3.00	100L	1730	12.0	7.4	1.70	2.9	3.4
5.00	3.70	100L	1710	15.0	7.1	2.00	3.0	3.0
6.00	4.40	112M	1730	17.0	8.9	2.50	2.7	3.0
7.50	5.50	112M	1720	21.0	9.0	3.0	2.8	3.3
10.0	7.50	132S	1730	28.0	7.1	4.10	2.8	2.8
12.5	9.20	132M	1740	34.0	8.2	5.10	3.0	3.2
15.0	11.0	132M	1740	42.0	8.2	6.00	2.8	2.5
20.0	15.0	160M	1750	50.0	8.3	8.00	2.4	3.1
25.0	18.5	160L	1750	62.0	7.8	10.0	2.3	2.9
30.0	22.0	180M	1760	75.0	7.2	12.0	2.5	2.2
40.0	30.0	200M	1770	98.0	8.2	16.0	2.2	2.6
50.0	37.0	200L	1770	120	8.3	20.0	2.8	2.9
60.0	45.0	225S/M	1775	145	7.3	24.0	2.5	2.8
75.0	55.0	225S/M	1775	180	7.4	30.0	2.4	2.8
100	75	250S/M	1780	250	8.5	40.0	3.0	3.0
125	90	280S/M	1780	305	6.8	50.0	2.2	2.3
150	110	315S/M	1785	360	8.0	60.0	2.3	2.5
175	130	315S/M	1785	420	8.0	70.0	2.4	2.6
200	150	315S/M	1780	480	7.2	80.0	2.3	2.4
250	185	315S/M	1785	610	7.4	100	2.2	2.1
300	220	355ML	1790	725	7.1	120	2.3	2.7
350	260	355ML	1790	860	7.4	140	2.4	2.8
400	300	355ML	1790	980	7.4	160	2.0	2.2
450	330	355ML	1790	1050	7.4	180	2.0	2.1
500	370	355ML	1785	1220	6.6	200	2.2	2.4



**Tipo de Documento:** Orientação Técnica  
**Área de Aplicação:** Distribuição  
**Título do Documento:** Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 14 (Continuação )

RENDIMENTO $\eta$ % FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT.NOM.			FATOR DE POT. $\cos\phi$ % DA POT. NOM.			FATOR DE SERVIÇO FS	MOMENTO DE INÉRCIA J kgm	TEMPO COM ROTOR BLOQUEADO (s) A QUENTE	PESO APROXIMADO kg
50	75	100	50	75	100				
42	51	57	0.41	0.50	0.62	1.35	0.0004	9.0	6.0
46	53	56	0.52	0.60	0.66	1.35	0.0005	8.5	6.5
57	64	66	0.51	0.58	0.90	1.35	0.0006	8.0	7.0
54	63	68	0.52	0.60	0.97	1.25	0.0008	12	11
57	64	68	0.52	0.62	0.71	1.25	0.0013	6.0	12
58	66	68	0.51	0.63	0.75	1.15	0.0015	6.0	14
67	69	70	0.61	0.74	0.83	1.15	0.0016	6.0	15
67	71	72	0.63	0.75	0.83	1.15	0.0057	6.0	20
74	76	77	0.61	0.73	0.84	1.15	0.0080	6.0	26
72	77	78	0.71	0.78	0.83	1.15	0.0084	6.0	32
7	74	76	0.74	0.80	0.85	1.15	0.0091	6.0	35
77	80	82	0.69	0.78	0.83	1.15	0.0177	6.0	46
77	80	81	0.67	0.77	0.85	1.15	0.0177	6.0	47
73	78	82	0.78	0.82	0.84	1.15	0.0328	8.0	63
80	83	84	0.74	0.81	0.84	1.15	0.0365	6.5	74
80	83	84	0.67	0.77	0.82	1.15	0.0433	6.5	82
81	85	88	0.70	0.79	0.88	1.15	0.0900	6.0	116
82	86	88	0.68	0.78	0.88	1.15	0.1010	6.0	130
79	85	87	0.82	0.87	0.89	1.15	0.2630	8.5	174
80	88	90	0.80	0.86	0.88	1.0	0.4050	8.5	235
85	89	90	0.81	0.87	0.89	1.0	0.4440	8.5	260
83	89	91	0.81	0.86	0.88	1.0	0.7900	8.0	344
85	88	89	0.85	0.88	0.90	1.0	0.9000	8.0	378
88	90	91	0.72	0.81	0.85	1.0	1.0600	6.0	440
88	90	91	0.83	0.86	0.87	1.0	2.1000	12	638
88	90	91	0.84	0.87	0.88	1.0	2.5100	11	724
88	90	91	0.76	0.84	0.88	1.0	2.9300	11	840
87	90	92	0.82	0.86	0.88	1.0	2.9300	15	867
89	91	92	0.76	0.83	0.86	1.0	3.6900	13	1003
89	90	91	0.81	0.86	0.88	1.0	6.6600	24	1351
89	91	92	0.80	0.85	0.88	1.0	7.3600	26	1490
88	90	91	0.81	0.86	0.89	1.0	7.9200	24	1600
89	91	92	0.82	0.88	0.90	1.0	8.8000	18	1715
88	90	91	0.82	0.87	0.89	1.0	9.5000	24	1800



<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 15

### CONVERSÃO DE UNIDADES

GRANDEZA	MULTIPLIQUE	POR	PARA OBTER
FORÇA	NEWTON(N) QUILOGRAMA-FORÇA (kff) OU QUILOPONDE (kp) LIBRA-FORÇA (lb)	0.1019	QUILOGRAMA-FORÇA(kgf) OU QUILOPONDE (kp)
		2.205	LIBRA-FORÇA (lb)
		4.45	NEWTON-METRO ( N )
COMPRIMENTO	METRO (m) POLEGADA (in.) PÉ (ft.)	39.37	POLEGADA (in.)
		0.0833	PÉ (ft)
		0.3048	METRO (m)
ÁREA	METRO QUADRADO (m²) POLEGADA QUADRADA (sq.in.) PÉ QUADRADO (sq ft.)	1550	POLEGADA QUADRADA (sq. in.)
		$6.94 \times 10^{-3}$	PÉ QUADRADO (sq. ft.)
		0.0929	METRO QUADRADO (m²)
CONJUGADO	NEWTON-METRO (mN) QUILOGRAMA-FORÇA METRO (mkgf) OU QUILOPONDE METRO (mkp) LIBRA-FORÇA PÉ (ft. lb) ONÇA PÉ (oz.-ft) NEWTON-METRO (mN) QUILOGRAMA-FORÇA METRO (mkgf) OU QUILOPONDE (mkp)	7.233	LIBRA-FORÇA-PÉ (ft. lb)
		16	ONÇA PÉ (oz. – ft)
		0.0847	NEWTON-METRO (mN)
		0.7376	FORÇA LIBRA- PÉ (ft.lb)
		115.7	ONÇA PÉ (oz. – ft)
PRESSÃO	NEWTON POR METRO QUADRADO (N/m²) QUILOGRAMA-FORÇA POR CENTÍMETRO QUADRADO (kgf/cm²) LIBRA-FORÇA POR POLEGADA QUADRADA (psi) ATMOSFERA (atm) BAR METRO DE ÁGUA (mH <sub>2</sub> O) NEWTON POR METRO QUADRADO (N/m²)	$1.019 \times 10^{-5}$	QUILOGRAMA FORÇA POR CENTÍMETRO QUADRADO (kgf/cm²)
		14.22	LIBRA-FORÇA POR POLEGADA QUADRADA (psi)
		0.06807	ATMOSFERA (atm)
		1.0132	BAR
		1.02	METRO DE ÁGUA (mH <sub>2</sub> O)
		9810	NEWTON POR METRO QUADRADO (N/m²)
		$1.45 \times 10^{-4}$	LIBRA-FORÇA POR POLEGADA QUADRADA (psi)
		0.968	ATMOSFERA (atm)
	QUILOGRAMA-FORÇA POR CENTÍMETRO QUADRADO (kgf/cm²) LIBRA-FORÇA POR POLEGADA QUADRADA (psi) ATMOSFERA (atm) BAR METRO DE ÁGUA (Mh <sub>2</sub> O) NEWTON POR METRO QUADRADO (N/m²) QUILOGRAMA-FORÇA POR CENTÍMETRO QUADRADO (kgf/cm²) METRO DE ÁGUA (mH <sub>2</sub> O)	$6.89 \times 10^{-2}$	BAR
		1.33	METRO DE ÁGUA (MH <sub>2</sub> O)
		$10^5$	NEWTON POR METRO QUADRADO (N/m²)
		1.42	LIBRA-FORÇA POR POLEGADA QUADRADA (psi)
		$9.87 \times 10^{-6}$	ATMOSFERA (atm)
		0.981	BAR
		0.1	QUILOGRAMA-FORÇA POR CENTÍMETRO QUADRADO (kgf/cm²)





<b>Tipo de Documento:</b>	Orientação Técnica
<b>Área de Aplicação:</b>	Distribuição
<b>Título do Documento:</b>	Critérios de Atendimento a Motores Elétricos de Indução

## ANEXO 15

### CONVERSÃO DE UNIDADES

POTÊNCIA	QUILOWATT (Kw) CAVALO VAPOR (CV) QUILOGRAMA-FORÇA METRO POR SEGUNDO (kgfm/s)	1.358 75 9.81	CAVALO VAPOR (cv) QUILOGRAMA-FORÇA METRO POR SEGUNDO (kgfm/s) QUILOWATT (kw)
ENERGIA	JOULE (J) OU NEWTON METRO (Nm) QUILOGRAMA-FORÇA METRO (kgfm) OU QUILOPONDE METRO (kpm) QUILOWATT HORA (kwh) LIBRA FORÇA PÉ (ft.lb) CALORIA (cal) JOULE (J) OU NEWTON METRO (Nm) QUILOGRAMA-FORÇA METRO (kgfm) OU QUILOPONDE METRO (kpm) QUILOWATT HORA (kwh) LIBRA FORÇA PÉ (ft.lb) CALORIA (cal)	0.102 $2.73 \times 10^{-6}$ $2.66 \times 10^6$ 0.3238 4.187 $2.78 \times 10^{-6}$  7.233 $8.6 \times 10^5$ 1.356 0.427	QUILOGRAMA-FORÇA METRO (kgfm) OU QUILOPONDE METRO (kpm)  QUILOWATT HORA (kwh) LIBRA-FORÇA PÉ (ft. lb) CALORIA (CAL) JOULE (J) OU NEWTON- METRO (Nm) QUILOWATT HORA (kwh)  LIBRA-FORÇA PÉ (ft. lb) CALORIA (cal) JOULE (J) OU NEWTON METRO (Nm) QUILOGRAMA-FORÇA METRO (kgfm) OU QUILOPONDE METRO (kpm)
INÉRCIA	QUILOGRAMA METRO QUADRADO (kgm²) LIBRA PÉ QUADRADO (sq. ft. lb.) LIBRA POLEGADA (sq. in. lb.)	23,73 144 $2,93 \times 10^{-4}$	LIBRA PÉ QUADRADO (sq. ft. lb.) LIBRA POLEGADA QUADRADA (sq. in. lb) QUILOGRAMA METRO QUADRADO (kgm²)