

TENSÕES NOMINAIS E VARIAÇÕES DE TENSÃO

ÍNDICE	PÁG.
1 - OBJETIVO	3
2 - TENSÕES NOMINAIS	3
3 - VARIAÇÕES DE TENSÃO	5
3.1 - Fonte de Alimentação	9
3.2 - Transformador de Potência	9
3.3 - Tensão Nominal do Sistema.....	9
3.4 - Tensão Nominal dos Motores	9
3.5 - Relés e Contatores	10
3.6 - Partida de Motores	10
3.7 - Ajustes da Tensão do Sistema e Equipamentos	10
3.8 - Subtensão nos Sistemas	11
4 - SITUAÇÕES MAIS FREQUENTES	14
4.1 - Instalação Existente	14
4.2 - Projeto Novo	14
5 - CONCLUSÃO	14

1 - OBJETIVO

No Brasil, definir as tensões nominais do sistema e equipamentos é um problema que sempre surge quando se inicia um projeto. Isto ocorre porque não existem, no Brasil, normas ou padronizações que definam estas tensões. Portanto, o objetivo deste informativo é o de abordar este assunto para que o usuário tenha mais informações para tomar suas decisões e argumentos para apresentar ao cliente.

Outro assunto que será objeto deste informativo são os problemas das variações de tensão nas cargas, em função das variações de tensão nas fontes e quedas de tensão nos circuitos envolvidos. Nesta análise serão consideradas as normas aplicáveis e os limites admissíveis nas cargas.

2 - TENSÕES NOMINAIS

Como o enfoque deste site está mais voltado para sistemas de baixa tensão de hidrelétricas, os níveis de tensão destas instalações serão mais abordados, mas também podem ser válidos para outras áreas, principalmente as industriais.

Não é possível definir, a priori, quais as tensões nominais e medidas que devem ser adotadas para atender às necessidades de uma instalação, pois essa definição depende das exigências do cliente, dos equipamentos, componentes utilizados e dos recursos disponíveis. Portanto, essa definição deve ser feita levando em conta todas as variáveis.

No Brasil não existem tensões nominais padronizadas para sistemas de baixa tensão, nem para sistemas nem para equipamentos. O que existe sobre o assunto são as definições dadas pelos Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957 e alteradas pelos Decretos nº 73.080, de 5 de novembro de 1973 e nº 97.280, de 16 de dezembro de 1988.

No Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957, o artigo 47 definia que:

“Art 47. Deverão ser adotadas preferencialmente, nas novas instalações de serviço de energia elétrica, as seguintes tensões nominais:

.....

III - Na distribuição secundária:

Trifásica a 220, 380 e 440 volts, monofásica a 110, 127 e 220 volts.

IV - Na utilização de energia para tração elétrica urbana:

600 volts, corrente contínua.

....

Parágrafo único. As tensões nominais na distribuição secundária referem-se aos pontos de entrega da energia; nos demais casos referem-se à extremidade de alimentação da linha.”

No Decreto nº 73.080 de 5 de novembro de 1973 o artigo 47 foi alterado para:

“Art 47. Deverão ser adotadas pelas concessionárias de serviço de energia elétrica, em novas instalações, as seguintes tensões nominais:

....

III - Para distribuição secundária de corrente alternada em redes públicas: 380-220 e 220-127 volts em redes trifásicas a quatro fios, e 230/115 volts em redes monofásicas a três fios.

§ 1º A tensão nominal de um sistema é o valor eficaz da tensão pelo qual o sistema é designado.

§ 2º Tensões nominais diferentes das indicadas neste artigo, somente poderão ser utilizadas em reforço ou extensão de redes já existentes utilizando tais tensões, desde que técnica e economicamente justificado. “

Com o Decreto nº 97.280, de 16 de dezembro de 1988 a redação atualizada do artigo 47, para baixa tensão, é:

“Art 47. Deverão ser adotadas pelas concessionárias de serviço de energia elétrica, em novas instalações, as seguintes tensões nominais:

....

III - Para distribuição secundária de corrente alternada em redes públicas: 380/220 e 220/127 volts, em redes trifásicas; 440/220 e 254/127 volts, em redes monofásicas;

§ 1º A tensão nominal de um sistema é o valor eficaz da tensão pelo qual o sistema é designado.

§ 2º Tensões nominais de transmissão e subtransmissão ou distribuição primária diferentes das indicadas neste artigo, somente poderão ser utilizadas em reforço ou extensão de linhas ou redes já existentes, desde que técnica e economicamente justificável

....”.

De acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), para saber qual é a tensão nominal do sistema de distribuição secundária, devemos saber qual é o município e a concessionária local. Portanto, existe uma variedade de tensões nominais e todas são legalmente válidas. Entre essas tensões podemos citar 440/220V, 380/220V, 254/127V, 230/115V, 220/127V. Por exemplo, conforme site da ANEEL, Tensões Nominais Secundárias por Município, no município de Alcobaça - Bahia, a COELBA distribui a energia nas tensões de 440/220V, 380/220V e 254/127V.

BA - Bahia	Alcobaça
COELBA	
Tensão Nominal 1	440/220 volts
Tensão Nominal 2	380/220 volts
Tensão Nominal 3	254/127 volts

Não existe no Brasil, como existe em outros países da Europa e nos Estados Unidos, uma padronização de tensões nominais de sistemas e equipamentos. Por exemplo, na maioria dos países da Europa, que utilizam a norma IEC (International Electrotechnical Commission), a tensão nominal do sistema trifásico é 400V e a tensão nominal dos motores é 380V; na Inglaterra, que utiliza a norma BS (British Standards), a tensão nominal do sistema é 415V e a tensão nominal dos motores é 400V; nos Estados Unidos, que utiliza a norma NEMA (National Electrical Manufacturers Association), a tensão nominal do sistema trifásico é 480V e a tensão nominal dos motores é 460V.

As normas da ABNT são baseadas principalmente nas recomendações da IEC, mas as tensões nominais dos sistemas e equipamentos não são definidas, o que nos leva a adotar, na maioria das vezes, tensões nominais de 380V, 440V, 460V e 480V para sistemas e 380V e 440V para motores. O que poderia ser feito, já que os fabricantes de equipamentos e materiais também atendem outros mercados, e muitos desses fabricantes são originários de outros países, é adotar as tensões definidas nas normas internacionais como, por exemplo, IEC ou NEMA. No Brasil as normas da ABNT se baseiam na IEC, mas não adotamos as tensões nominais nela definidas.

Lembramos que tanto nos Estados Unidos como na Europa ocorreram atualizações das tensões nominais dos sistemas e motores. Nos Estados Unidos, na década de 1960, a tensão nominal do sistema era 480V e dos motores 440V, sendo que a tensão nominal do sistema foi mantida em 480V e a tensão nominal dos motores foi alterada para 460V. Na Europa, na década de 1980, a tensão nominal do sistema e motores era 380V, sendo que a tensão nominal do sistema foi alterada para 400V e a tensão nominal dos motores foi mantida em 380V. Também cabe ressaltar que a frequência nos Estados Unidos é 60Hz e na Europa 50Hz.

As tensões nominais de equipamentos, tais como transformadores de controle, relés, contadores etc., são fabricados de acordo com as normas internacionais. Portanto, como a tensão nominal do secundário dos transformadores de controle é 115V e as relações que atendem as normas são, por exemplo, 3,5 e 4, as relações nominais dos transformadores de controle devem ser 402,5-115V e 460-115V. Com base nas normas, podemos concluir que transformadores de 380-115V, 440-115V e 480-115V seriam especiais, ou seja, para transformadores 380-115V a relação seria 3,30; para transformadores 440-115V a relação seria 3,82; para transformadores 480-115V a relação seria 4,17.

Em função do acima exposto, e na falta de definição das normas brasileiras, a recomendação deveria ser a de adotar as seguintes tensões:

Referência Europa

Para motores com tensão nominal: 380V;

Tensão nominal do sistema: 400V

Transformador de controle: 402,5-115V (Relação 3,5)

Tensão nominal de relés, contadores etc.: 110V

Referência Estados Unidos

Para motores com tensão nominal: 460V

Tensão nominal do sistema: 480V

Transformador de controle: 480-120V (Relação 4)

Tensão nominal de relés, contadores etc.: 115V

Para atender eventuais sistema existentes

Para motores com tensão nominal: 440V

Tensão nominal do sistema: 460V

Transformador de controle: 460-115V (Relação 4)

Tensão nominal de relés, contadores etc.: 110V

Nota: A preferência deveria ser para a tensão de 480V para sistemas e 460V para motores, como nos Estados Unidos, onde a frequência é de 60Hz, igual à do Brasil. A indústria nacional, para atender também outros mercados, fabrica os motores para tensões nominais de 380, 440, 460V e equipamentos (relés, contadores etc.) para 110 e 115V, com frequências de 50 e 60Hz, pois a frequência em outros países, como a América Latina e Europa, é 50Hz. Desta forma, atende tanto sistemas e equipamentos nacionais como importados.

3 - VARIAÇÕES DE TENSÃO

Neste item serão analisadas as variações de tensão, que ocorrem nas alimentações das instalações e equipamentos, e os limites admissíveis recomendados pelos fabricantes de componentes e equipamentos, normas e as necessidades das instalações.

As normas recomendam limites para as quedas de tensão nos circuitos alimentadores. Entretanto, esses limites são valores máximos recomendados que devem ser analisados com as outras variáveis dos sistemas e instalações.

De acordo com a Faixa de Classificação de Tensões – Tensões de Regime Permanente da ANEEL (Tabela 3 abaixo) a tensão adequada nos pontos de alimentação de sistemas de média tensão pode variar de 93 a 105% da tensão de referência. Os valores limites da tensão nos pontos de conexão podem variar entre 90 e 105% da tensão de referência.

Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

IEC 61000-3 recomenda a definição da tensão de referência como a tensão nominal do sistema.

De acordo com a Faixa de Classificação de Tensões – Tensões de Regime Permanente da ANEEL (Tabela 12 abaixo) a tensão adequada nos pontos de alimentação de sistemas de baixa tensão pode variar de 92 a 105% da tensão nominal. Os valores limites da tensão nos pontos de conexão podem variar entre 87 e 106% da tensão nominal.

Tabela 12 – Faixas aplicadas às tensões nominais inferiores a 1 kV para formação das Tabelas 4 a 11

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão Nominal (TN)
Adequada	$0,92TN \leq TL \leq 1,05TN$
Precária	$0,87TN \leq TL < 0,92TN$ ou $1,05TN < TL \leq 1,06TN$
Crítica	$TL < 0,87TN$ ou $TL > 1,06TN$

Se considerarmos as faixas adequadas de operação da tensão, na alimentação de uma instalação, e aplicarmos as quedas de tensão admissíveis nas normas aos diversos circuitos, provavelmente poucos equipamentos poderiam funcionar com as variações recomendadas pelos fabricantes e até pelas próprias normas.

Da norma NBR 5410 temos:

6.2.7 Quedas de tensão

6.2.7.1 Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);

b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;

c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;

d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.

Considerando o caso de hidrelétricas, a queda de tensão máxima, desde os terminais secundários do transformador MT/BT até a carga, deveria ser de 7% da tensão nominal do sistema. Ocorre que, nas usinas hidrelétricas, os transformadores MT/BT são, na maioria das vezes, alimentados diretamente pelo gerador, e este gerador também tem uma faixa de operação, geralmente em $\pm 10\%$ e, apesar de operar em uma faixa menor, por exemplo, $+10\%$, -5% , ainda temos a queda de tensão no próprio transformador MT/BT e componentes dos circuitos, como quadros e cabos.

Se o gerador estiver com 95% da tensão nominal, a tensão nominal do sistema de baixa tensão for 480V e a tensão nominal dos motores for 460V, mesmo considerando que não haja queda de tensão no transformador MT/BT, se a queda de tensão na carga atender à queda de 7% da tensão nominal, a tensão de operação dos motores será:

$$V_T = 480 \times 0,95 = 456V$$

$$V_M = 456 - 480 \times 0,07 = 422,4V$$

Onde:

V_T – Tensão nos terminais do transformador MT/BT

V_M – Tensão nos motores

A tensão nos motores será 422,4V que corresponde a 91,8% da sua tensão nominal.

Se considerarmos a mesma condição anterior, porém com a tensão de geração com 110% da tensão nominal, a tensão de operação dos motores será:

$$V_T = 480 \times 1,10 = 528V$$

$$V_M = 528 - 480 \times 0,07 = 494,4V$$

Onde:

V_T – Tensão nos terminais do transformador MT/BT

V_M – Tensão nos motores

A tensão nos motores será 494,4V que corresponde a 107,5% da sua tensão nominal.

Se quisermos que a tensão de operação dos motores seja, no mínimo, 95% da sua tensão nominal, ou seja, 437V, que corresponde a 91% da tensão nominal do sistema, a queda de tensão deveria ser:

Para a tensão da geração com 95% da tensão nominal.

$$V_T = 480 \times 0,95 = 456V$$

$$V_M = 456 - 480 \times d_V = 437V$$

$$d_V = \frac{456 - 437}{480} = 0,04$$

Ou seja, a queda de tensão deve ser 4% da tensão nominal do sistema, em vez de 7%.

Isso implicará que, quando o gerador estiver operando com tensão de 110% da tensão nominal, a tensão de operação dos motores será:

$$V_T = 480 \times 1,10 = 528V$$

$$V_M = 528 - 480 \times 0,04 = 508,8V$$

que corresponde a 110,6% da tensão nominal dos motores.

Supondo uma instalação, com tensão nominal do sistema de 480V e motores com tensão nominal de 460V, formada apenas por um quadro geral que alimenta todas as cargas, e este quadro geral for alimentado por uma fonte externa com tensão nominal 480V, se a tensão da fonte de alimentação for 441,6V, ou seja, 92% da tensão nominal, ainda dentro da faixa adequada de tensão, e considerarmos uma queda de tensão total de 5% a partir do ponto de entrega, como previsto na NBR 5410, a tensão de operação dos motores será:

$$V_M = 441,6 - 480 \times 0,05 = 417,6V$$

ou seja, 87% da tensão nominal do sistema, que corresponde a 90,8% da tensão nominal dos motores.

Se considerarmos a mesma condição anterior, porém com a alimentação com 504V, ou seja, 105% da tensão nominal, também dentro do limite de tensão adequada, a tensão de operação dos motores será:

$$V_M = 504 - 480 \times 0,05 = 480V$$

que corresponde a 104,3% da tensão nominal dos motores.

Se quisermos que a tensão de operação dos motores seja, no mínimo, 95% da sua tensão nominal, ou seja, 437V, que corresponde a 91% da tensão nominal do sistema, a queda de tensão deveria ser:

Para tensão na alimentação com 441,6V (92% da tensão nominal do sistema).

$$V_M = 441,6 - 480 \times d_V = 437V$$

$$d_V = \frac{441,6 - 437}{480} = 0,01$$

Ou seja, a queda de tensão até os motores deverá ser 1% em vez de 5%.

Para tensão na alimentação com 456V (95% da tensão nominal do sistema).

$$V_M = 456 - 480 \times d_V = 437V$$

$$d_V = \frac{456 - 437}{480} = 0,04$$

Ou seja, a queda de tensão até os motores deverá ser 4% em vez de 5%.

Para tensão na alimentação com 504V (105% da tensão nominal do sistema), a tensão nos motores será 480V, considerando a queda de tensão de 5%, que corresponde a 104,3% da tensão nominal dos motores.

A NBR 5410 recomenda também que o dimensionamento dos condutores que alimentam motores deve ser tal que, durante a partida do motor, a queda de tensão nos terminais do dispositivo de partida não ultrapasse 10% da respectiva tensão nominal, observados os limites para os demais pontos de utilização da instalação.

O fato de utilizar uma tensão nominal do sistema, maior que a tensão nominal dos motores, traz a vantagem de se poder admitir uma queda de tensão maior que a que se admitiria, se as tensões nominais dos motores fossem iguais às tensões nominais dos sistemas. Entretanto, pode ocorrer que a tensão da fonte esteja no limite superior da faixa adequada e a queda de tensão nos circuitos seja pequena, o que poderá implicar em que os componentes operem com tensão acima da recomendada ou admissível.

Para dimensionar corretamente os componentes de uma instalação, é importante conhecer a faixa de operação da tensão de alimentação e os limites admissíveis de tensão de operação dos equipamentos envolvidos (transformadores, motores, contadores, relés etc.). Com base nestes dados será possível definir a forma de melhor atender todas as necessidades da instalação e seus componentes. Entretanto, por mais que se tente atender esses limites, será necessário analisar algumas condições críticas que certamente surgirão.

Em usinas hidrelétricas, se tivéssemos que atender todos os limites, teóricos, de tensões das fontes de alimentação e das cargas, todos os transformadores de serviços auxiliares de MT/BT teriam que ser equipados de comutadores automáticos de tensão. Resumindo, o que se deve fazer é procurar o melhor equilíbrio possível, com os dados disponíveis, e procurar minimizar os casos mais críticos. O mais importante é evitar as sobretensões e administrar os problemas das subtensões.

Nos exemplos considerados, foi arbitrado que o valor da tensão da geração estaria entre +10% e -5%. Entretanto, esse valor deve ser definido para cada instalação e depende da tensão do sistema de alta tensão, das características do transformador elevador e da derivação utilizada do enrolamento de alta tensão do transformador elevador. Na falta dessas informações, para efeito do sistema de baixa tensão, considerar que a unidade

geradora opera com carga e fator de potência nominais. Para condições do sistema de alta tensão associado, considerar os valores estabelecidos pela ANEEL nas tabelas abaixo:

Tabela 1 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 230 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,95TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,93TR \leq TL < 0,95TR$ ou $1,05TR < TL \leq 1,07TR$
Crítica	$TL < 0,93TR$ ou $TL > 1,07TR$

Tabela 2 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,95TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,95TR$ ou $1,05TR < TL \leq 1,07TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,07TR$

A seguir são feitas algumas considerações sobre os problemas que normalmente surgem e uma forma de solucioná-los ou atenuá-los.

3.1 - Fonte de Alimentação

A variação de tensão deve ser a menor possível, mas esta característica muitas vezes não pode ser definida pelo usuário. Entretanto, a faixa de variação da tensão da fonte de alimentação deve ser muito bem definida e avaliada. É importante também saber, dentro dos limites extremos, qual é a faixa mais provável de operação. Estas informações são importantes para definir a faixa da variação de tensão nas cargas e a derivação do enrolamento primário a ser utilizada no transformador MT/BT. Pelo custo elevado, a alternativa de utilizar transformador com comutador automático de tensão é a última opção a ser considerada.

3.2 - Transformador de Potência

A potência e impedância nominal do transformador MT/BT devem ser definidas dentro das características nominais existentes no mercado. Em ambientes abertos utilizar transformadores à óleo e em ambientes fechados utilizar somente transformadores secos.

3.3 - Tensão Nominal do Sistema

A tensão nominal do sistema deve ser uma das tensões recomendadas. Para motores com tensão nominal de 380V adotar tensão nominal de 400V para o sistema; para motores com tensão nominal de 460V adotar tensão nominal de 480V para o sistema.

3.4 - Tensão Nominal dos Motores

A tensão nominal dos motores deve ser 380V ou 460V.

A Classe de Isolamento deve ser Classe F com elevação de temperatura da Classe B, ou seja, os motores devem ser projetados e fabricados para operar com limites de temperatura de isolamento da Classe B (130°C), mas isolados com materiais da Classe F (155°C). Esta prática permite que o aquecimento, provocado por condições críticas de operação, não comprometa a vida útil do motor. Por exemplo, motores operando com tensão mais baixa que as recomendadas operam com uma corrente maior que a normal, proporcional à redução da tensão, o que provoca um aumento da temperatura acima da admissível para a Classe B, mas dentro do limite da Classe F.

3.5 - Relés e Contatores

Relés e contatores devem ter a tensão nominal compatível com a tensão do sistema. Para sistemas com tensão nominal 115V utilizar relés e contatores com tensão nominal de 110V; para sistemas com tensão nominal 120V utilizar relés e contatores com tensão nominal de 115V. Devem ser observadas as tensões de operação do controle para que os contatores não abram por subtensão nem as bobinas queimem por sobretensão.

Deve se evitar que os controles dos contatores operem com tensões acima de 110% e abaixo de 85% da tensão nominal. Entretanto, existem no mercado contatores que operam (se mantêm fechados) com tensões até inferiores a 70% da tensão nominal, mas esta condição deve ser confirmada antes de ser considerada.

Caso a tensão mínima do controle em corrente alternada seja inferior à tensão mínima de operação dos contatores ou dispositivos de controle, deverão ser utilizados contatores acionados com corrente contínua.

3.6 - Partida de Motores

A partida de motores de indução deve ser, sempre que possível, direta à plena tensão. Com o desenvolvimento da indústria de soft starters e outros dispositivos de acionamento, a sua utilização e benefícios está tornando vantajosa a sua aplicação, principalmente em equipamentos de movimentação e levantamento de cargas como, por exemplo, pontes rolantes, pórticos, máquinas limpa grades etc., onde sua utilização já é padronizada.

3.7 - Ajustes da Tensão do Sistema e Equipamentos

O primeiro cuidado que se deve ter na definição dos sistemas, com relação às tensões, é evitar que equipamentos de controle e seus auxiliares fiquem sujeitos a sobretensões acima das admissíveis definidas pelos fabricantes. Esta sobretensão ocorre, mais precisamente, quando a tensão da alimentação do sistema está no limite máximo e o sistema está com pouca carga. Portanto, esta condição deve definir a escolha da derivação a ser utilizada no primário do transformador MT/BT, se existir.

A derivação a ser utilizada pode ser definida com auxílio da seguinte fórmula:

$$k = \frac{V_P V_{S_n}}{V_S V_{P_n}}$$

Onde:

V_S - Tensão no secundário do transformador (V)

V_P - Tensão no primário do transformador (V)

V_{P_n} - Tensão primária nominal do transformador (V)

V_{S_n} - Tensão secundária nominal do transformador (V)

k - relação entre a tensão da derivação utilizada (V_{P_x}) e a tensão nominal do primário do transformador.

Como os transformadores são, normalmente, fornecidos com derivações de $\pm 2 \times 2,5\%$ da tensão nominal, ou seja, $k=0,95-0,975-1,0-1,025-1,05$, a derivação a ser escolhida deverá ser a mais próxima do valor calculado para k .

Por exemplo, um transformador de relação nominal $13800 \pm 2 \times 2,5\% - 480V$ pode ser alimentado por uma fonte com os limites definidos na tabela abaixo (ANEEL).

Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Considerando que uma alimentação esteja no limite máximo, ou seja, 14490V (+5%) e a tensão máxima no secundário não puder ser superior a 528V (480+10%), o valor de k será:

$$k = \frac{14490 \times 480}{528 \times 13800} = 0,9545$$

A derivação a ser utilizada deverá ser a de -5%.

Se a tensão máxima no secundário não puder ser superior a 506V (460+10%), o valor de k será:

$$k = \frac{14490 \times 480}{506 \times 13800} = 0,9960$$

A derivação a ser utilizada deverá ser a nominal, ou seja, 1,0.

Naturalmente, esta definição garantirá que não haverá sobretensões no sistema e permitirá analisar e administrar os problemas de subtensão que surgirem.

Vale a pena lembrar que existem sistemas definidos como 480V±10%, que alimentam motores com tensão nominal de 440V, ou seja, os motores poderiam chegar a operar com até 20% de sobretensão. Entretanto, o problema de sobretensão em motores não é tão crítico como a sobretensão nos dispositivos de comando e controle.

3.8 - Subtensão nos Sistemas

A subtensão em equipamentos pode causar problemas no seu funcionamento, principalmente nos sistemas de iluminação, comando e controle.

Os problemas de subtensão são agravados quando a tensão da fonte de alimentação está na situação precária ou crítica e o consumo das cargas da instalação é mais elevado. Por exemplo, considerando que a derivação utilizada no transformador seja a de -5% e a tensão de alimentação seja 12420V (13800V, -10%) a tensão no secundário do transformador, em vazio, será dada pela fórmula:

$$V_S = \frac{V_P V_{S_n}}{k V_{P_n}}$$

Ou seja,

$$V_S = \frac{12440 \times 480}{0,95 \times 13800} = 455,5V$$

A tensão de 455,5V será a tensão mínima a ser considerada para desenvolver os estudos do sistema. Caso a tensão seja muito baixa, os transformadores podem ser especificados com derivações, no enrolamento primário, diferentes dos normais como + 2,5%, -3 x 2,5%, por exemplo.

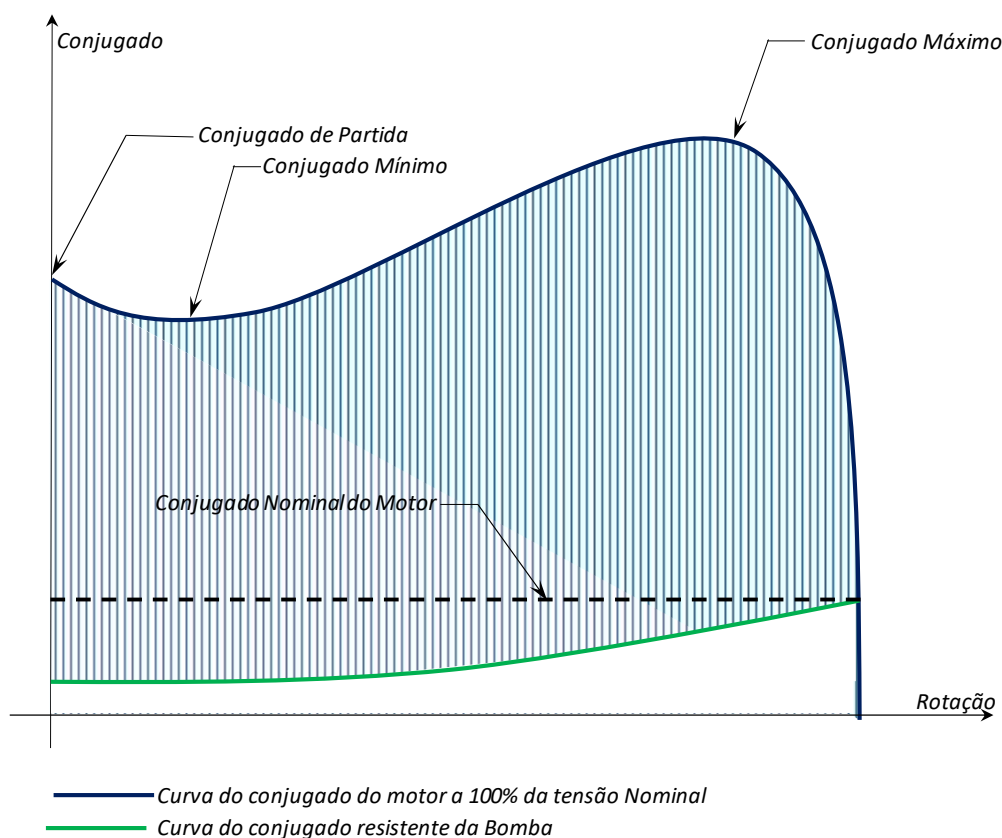
Observa-se que para certas condições de operação dos sistemas, não se podem levar em conta os limites de queda de tensão definidas pelas normas e considerá-las como obrigatórias, mas como são citadas como máximas, os limites a serem considerados devem ser os necessários ao funcionamento das instalações, ainda que em regimes precários.

A subtensão é mais crítica para equipamentos de movimentação e levantamento de cargas, pois como o conjugado dos motores é proporcional ao quadrado da tensão, pode ocorrer que, em determinado ponto da curva, o motor não seja capaz de acionar a carga. Portanto, para este tipo de cargas devem ser utilizados conversores específicos, como já é uma prática comum.

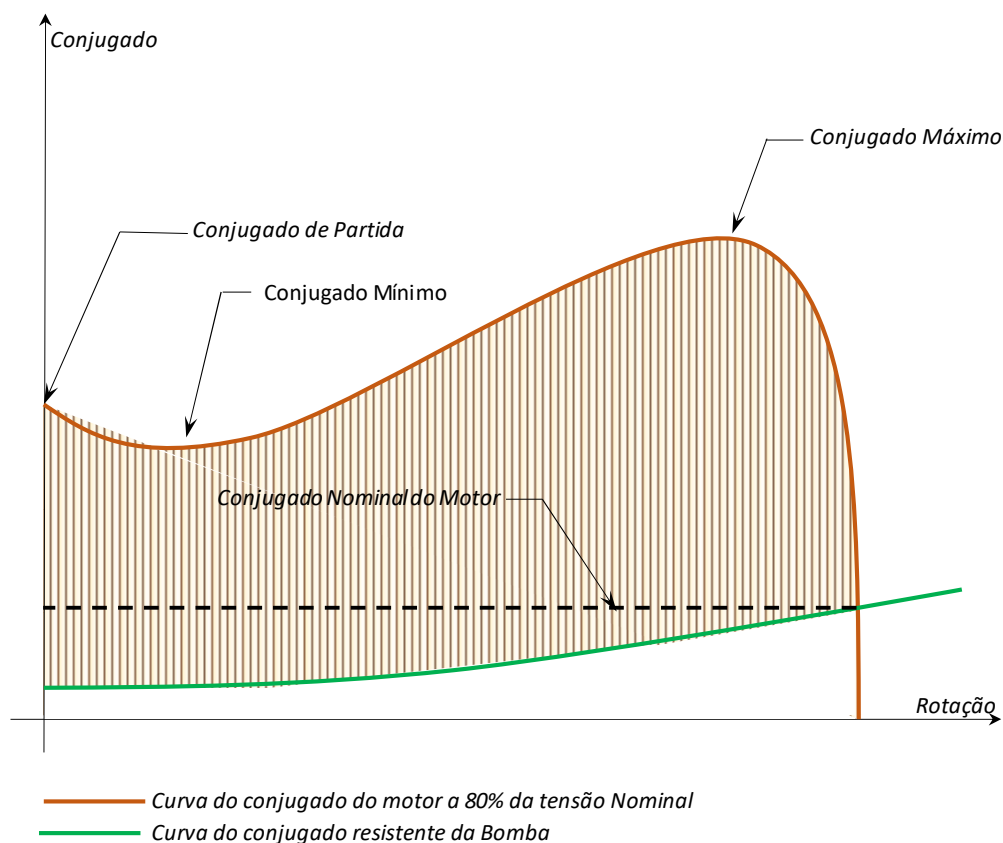
A partida de motores de bombas e compressores pode ser feita com tensões mais baixas que as definidas pelas normas, desde que o motor parta dentro de determinado tempo e a queda de tensão provocada não afete o funcionamento do seu controle e demais cargas do sistema.

Observar que a partida estrela triângulo de motores é feita com uma redução da tensão, ou seja, em vez de partir o motor com 100% da tensão nominal, se parte com 57,73% (tensão fase-neutro em vez de fase-fase), o que reduz a corrente de partida do motor e consequentemente a queda de tensão nos alimentadores e circuitos de controle, mas reduz também o conjugado do motor a 33% do conjugado nominal.

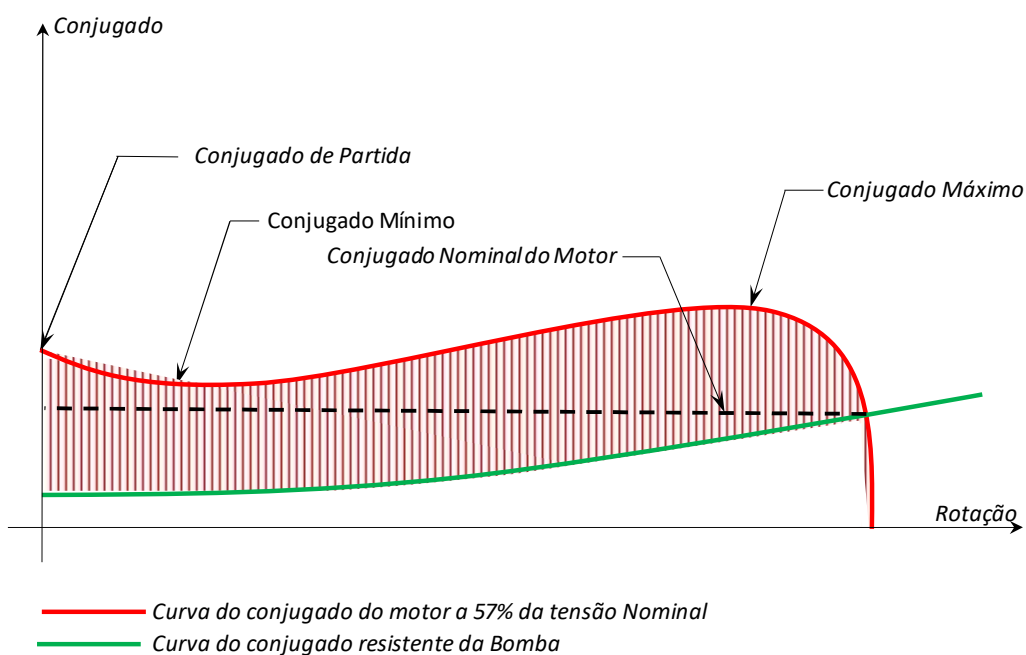
A seguir são mostradas as curvas típicas de motores (conjugado x rotação) acionando bombas.



Na figura acima são mostradas a curva do motor com 100% da tensão nominal e a curva do conjugado resistente da bomba. A área hachurada representa o conjugado de aceleração que define o tempo de partida do conjunto.



Na figura acima são mostradas as curvas do motor com 80% da tensão nominal e a curva do conjugado resistente da bomba. A área hachurada representa o conjugado de aceleração que define o tempo de partida do conjunto. Observar que a área que corresponde ao conjugado de aceleração é menor que o da figura anterior e, portanto, o tempo de partida será maior.



Na figura acima são mostradas as curvas do motor com 57% da tensão nominal e a curva do conjugado resistente da bomba. Esta condição corresponde à partida estrela-triângulo.

A área hachurada representa o conjugado de aceleração do conjunto. No caso de partida estrela-triângulo, quando a rotação atinge aproximadamente 90% da rotação nominal, é feita a comutação da ligação estrela para triângulo, pois a corrente de partida está bastante reduzida. Observar que o motor até poderia apearar com tensão reduzida (ligação em estrela), mas a corrente de operação, com a tensão de 57% da tensão nominal, seria 175% da corrente nominal e o motor sofreria um aquecimento excessivo.

4 - SITUAÇÕES MAIS FREQUENTES

As situações que normalmente aparecem, com relação às tensões nominais e as variações de tensão, são a de uma instalação existente ou um projeto novo.

4.1 - Instalação Existente

Em uma instalação existente os equipamentos e componentes estão definidos e o trabalho consiste em fazer as adequações necessárias na instalação, com um mínimo de modificações possíveis.

4.2 - Projeto Novo

Em um projeto novo se definem as características dos sistemas (configurações, tensões nominais dos sistemas e componentes, limites admissíveis de utilização, tipos de materiais etc.) e, com base em informações estimadas nas memórias de cálculo e especificações dos equipamentos das instalações, se definem os equipamentos e componentes.

O projeto novo também tem uma fase de característica de instalação existente, pois sempre se faz o dimensionamento dos equipamentos e componentes com dados preliminares e, posteriormente, é necessário verificar, com os dados reais, se as premissas que foram adotadas na concepção inicial do projeto continuam sendo respeitadas.

5 - CONCLUSÃO

A definição das tensões nominais dos sistemas e dos equipamentos pode ser feita com certa facilidade, mas os limites de operação, em regime permanente e transitório, das instalações e componentes, devem ser objeto de estudo cuidadoso para evitar e minimizar problemas que normalmente são encontrados durante o desenvolvimento dos trabalhos.