



Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Educação a Distância da UFSM – EAD

Universidade Aberta do Brasil – UAB

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Camargo - RS

PREMISSAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO DE UM MOTOR GERADOR A DIESEL

ZORZETTO, Ricardo¹. Eng. Eletricista.
Universidade de Santa Maria, Santa
Maria, RS.

CAUDURO, Carlos Roberto². Prof. Dr.
Orientador. Universidade de Santa Maria,
Santa Maria, RS.

Resumo

O presente trabalho consiste nas premissas de dimensionamento de um motor gerador a diesel para acionamento de cargas elétricas comerciais/industriais em horário de ponta. O estudo é baseado nas normas técnicas vigentes para operações do equipamento em questão, assim como as características técnicas e construtivas do mesmo. O foco principal do trabalho é o correto dimensionamento de

¹ Engenheiro Eletricista. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS.

² Engenheiro Mecânico. Professor Orientador. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

um grupo motor gerador para a maior eficiência energética do mesmo, aproveitando ao máximo o fator consumo (litros ou gramas de diesel) por kWh. Para isso, usa-se o catálogo do fabricante do motor diesel para extrair as especificações técnicas do mesmo, assim como analisamos as características elétricas da carga onde é alimentado pelo gerador. É feito um estudo econômico e energético para a instalação de um grupo motor gerador com métodos de cálculos para viabilidade do estudo.

Palavras-chave: dimensionamento, motor diesel, gerador, motor gerador.

Introdução

O estudo visa auxiliar na tomada de decisões para a instalação de um grupo motor gerador através da análise econômica e energética de uma instalação para operar em horário de ponta. Para isso precisa-se dimensionar o gerador adequado para a carga existente, porém este gerador deve atender a potência da carga e trabalhar em torno de 80% de sua carga total (segundo catálogo do fabricante), para que seu consumo por kWh seja o mais proveitoso.

O grande problema para este dimensionamento são os motores de indução, que correspondem a maior porcentagem de carga da indústria, onde estes têm corrente de partidas próximas a oito vezes em partidas diretas, com isso temos que aliar um gerador capaz de trabalhar em regime nominal de operação com picos elevados de corrente.

Sabendo que o custo de energia no Brasil varia devido a fatores climáticos, econômicos, de oferta e demanda, e até políticos, torna se atrativo o investimento em fontes alternativas de energia, visando resultados econômicos e eficientes para o cliente.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Deve se ter noção dos equipamentos que compõe um Motor Gerador para dimensioná-lo corretamente. Para este trabalho, cujo objetivo principal é a eficiência energética, veremos um pouco do funcionamento dos equipamentos em si.

Para dimensionarmos um grupo gerador devemos observar algumas

características do grupo motor gerador e da carga onde o mesmo será instalado:

➤ Do grupo gerador:

Devemos analisar as características da rede de energia existente para a escolha do grupo gerador, assim como parâmetros admissíveis para o funcionamento desejado:

- Queda de tensão admitida (%);
- Queda de frequência admitida (%);
- Pico de tensão admitido (%);
- Tensão de operação;
- Frequência de operação;
- Temperatura de operação do Alternador;
- Regime de operação (emergência, contínuo ou contínuo carga de base = 24 horas).

➤ Da carga:

Motores elétricos:

- Tipo de motor;
- Potência (HP, kW ou kVA);
- Requisitos de operação;
- Fator de potência;
- Rendimento;
- Ciclos de carga;
- Método de partida (Direta, estrela-triângulo, compensadora, soft start, inversor de frequência entre outros).

Iluminação:

- Tipo (fluorescente, incandescente, descarga e outros);
- Potência (kW, kVA);
- Fator de potência;
- Potência de partida;

Outras cargas:

- Equipamentos hospitalares (aparelhos de ressonância, aparelhos de raio X, tomógrafos e etc);
- Siderúrgica (maquinas de corte a laser);
- Ar condicionado;

É preciso ver o conceito básico dos itens que compõe um sistema elétrico e mecânico de um grupo motor gerador instalado. Para isto segue abaixo o detalhamento dos itens propriamente ditos:

1.1 Grupo Gerador Diesel

É denominado de grupo gerador diesel o conjunto de um motor de combustão a diesel acoplado a um gerador de corrente alternada onde há um controle de supervisão elétrica e mecânica para o seu funcionamento, onde este é usado para geração de energia elétrica a partir do consumo de óleo diesel.

Em modo geral os grupos geradores são fabricados em padrões normais, contudo, dependendo da carga e exigência do cliente pode ser feitas modificações para adequar o equipamento com a carga onde este será instalado, são geralmente usados nas áreas de telecomunicação, aparelhos de ressonância magnética e outros equipamentos onde não possa sofrer variações de frequência e tensão.

Abaixo segue a foto de um grupo gerador a diesel da marca Cummins



Figura 1.1 – grupo motor gerador a diesel

Fonte: <http://www.cumminspower.com.br/geradoresdiesel.asp>

1.2 Motor Diesel

O motor a diesel é uma máquina cujo objetivo principal é a transformação de energia química em energia mecânica. Porém é uma máquina com pouca eficiência, pois o seu funcionamento gera grande quantidade de energia térmica, sendo assim considerada uma máquina térmica. Os motores a diesel podem ser classificados em quatro tipos, conforme sua aplicação: veiculares, marítimos, industriais e estacionários.

Para o caso de geradores de energia, é usado o motor estacionário, que também são usados para bombas, máquinas de solda e outras que necessitam de rotação constante.

As diferenças entre os vários tipos de motor diesel são os sistemas construtivos para melhor desempenho conforme tipos de uso com isso são feitas mudanças nos sistemas de admissão de ar, combustível, lubrificação, arrefecimento, exaustão, escape entre outros. Assim pode-se ter um motor mais eficiente para cada caso usado.

1.2.1 Eficiência do Motor Diesel

A eficiência de um motor a diesel é baixa, por este ser uma máquina térmica, existem muitas perdas nestas máquinas devido ao calor irradiado. O rendimento fica em torno de 41,5% em máquinas de grande porte com turbocompressores, na figura abaixo, podemos ver o fluxo de perdas do motor a diesel.

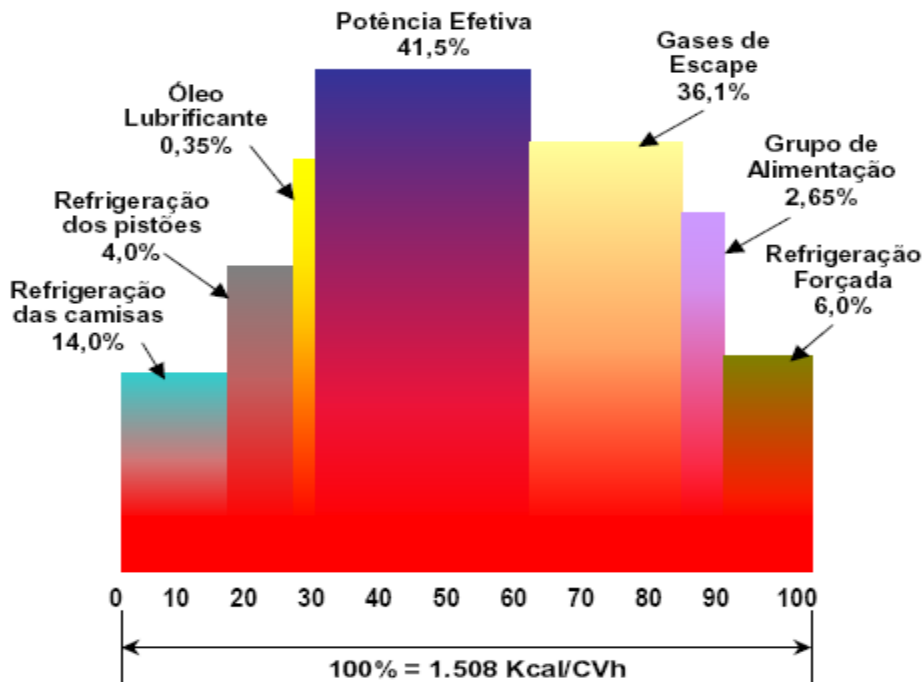


Figura 1.2 – diagrama de fluxo térmico de um motor diesel de grande cilindrada

Fonte: http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_2.html

Nota-se que o sistema de escape é responsável por uma perda de 36,1%, a refrigeração do motor responde por uma grande parte também de perda, a potência efetiva, útil corresponde com 41,5%, assim de toda potência disponível apenas 41,5% é transformada em trabalho.

A densidade do óleo diesel é em torno de 0,85 kg/L. O valor energético do óleo diesel, quando queimado, é de 35,86 MJ (mega joule) e libera cerca de 2,6 kg de CO₂. Atualmente, a partir de janeiro de 2014, há somente dois tipos de óleo diesel para comercialização, estes que agora têm baixo teor de enxofre, o S10 que deve ter no máximo 10 mg/kg e o S500 que deve ter no máximo 500mg/kg de teor de enxofre.

1.3 Gerador

O gerador elétrico é simplesmente uma máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica, dependendo das características construtivas da máquina mudam-se as características elétricas.

O gerador é uma máquina com funcionamento eletromagnético e seu funcionamento básico é a indução de energia eletromagnética através da rotação da máquina. Com isso é preciso uma rotação constante, para evitar a variação das grandezas elétricas geradas, para que estas permaneçam de acordo com as especificações técnicas do equipamento.

Existem geradores monofásicos, bifásicos e trifásicos e todos com tensões diversas conforme a necessidade do cliente. Os geradores são escolhidos conforme as características elétricas da carga do cliente. O rendimento dos geradores varia de acordo com o modelo e a potência do equipamento sendo normalmente entre 92 e 96%, com as características construtivas da máquina e dependendo de fabricante para fabricante.

Para a regulação de tensão de saída dos geradores é usado um controle de malha fechada com realimentação de tensão, implementada através de um circuito eletrônico contido em uma placa de circuito impresso com proteção contra vibrações e maresia.

1.4 Regime de trabalho do Grupo Gerador

Há três tipos de regime de trabalho dos grupos geradores, onde cada um é específico para o tipo de fornecimento de energia. Dependendo do regime de trabalho o grupo gerador fica mais restrito em sua potência e no tempo de trabalho anual, podendo diminuir a vida útil do equipamento se não for seguir o padrão de trabalho adotado conforme manual técnico do fabricante. Os tipos de regime de trabalho são os descritos abaixo:

1.4.1 Energia Standby ou Emergência

Esta classificação corresponde à situação de fornecimento de energia confiável usual que por algum motivo, há uma interrupção de energia, sendo necessária a intervenção do grupo gerador para fornecimento de energia. Este tipo de fornecimento de energia é usado para emergência para que o grupo motor gerador funcione somente quando não há outro fornecimento de energia.

O fornecimento de energia tem que ser usual e confiável com cargas

variáveis que apresentem um fator médio de consumo de carga de 80% da classificação “standby” durante um período máximo de 200 horas de operação por ano ou por um período máximo de 25 horas por ano para consumo de carga de 100% de sua classificação “standby”.

1.4.2 Energia Prime

Para aplicação desta classificação é usada para substituir o fornecimento da energia local pela energia do grupo gerador o número de horas de operação permitido por ano é “ilimitado” para aplicações com “carga variável”, porém é “limitado” para “carga constante”.

1.4.2.1 Energia Prime com Tempo Ilimitado de Funcionamento.

Esta classificação corresponde a situação de o grupo motor gerador operando como fonte de energia em tempo ilimitado de horas de operação por ano com aplicação em carga variável. As operações com carga em paralelo com a fonte usual da concessionária em carga constante limitará o tempo de operação anual. Em aplicações com carga variável o fator de carga médio não deve exceder 70% da classificação de “Energia Prime”, é possível uma sobrecarga de 10% por um período de no máximo 1 hora para cada período de 12 horas de operação, sem exceder 25 horas de sobrecarga ao ano. O tempo máximo de operação para este regime não pode exceder 500 horas ao ano.

1.4.2.2 Energia Prime com Tempo Limitado de Funcionamento.

Neste tipo de classificação há um tempo limitado de operação anual para carga constante, tais como, energia interrompível, redução de carga, corte de pico e outras aplicações que envolvem operação em paralelo com fonte usual de energia durante até 750 horas por ano em valores de potência conforme classificação de “Energia Prime”.

1.4.3 Energia de Carga Básica ou Energia Contínua

Para esta classificação é aplicável ao fornecimento contínuo de energia para uma carga de até 100% da classificação básica, por um número ilimitado de horas. Não é especificada qualquer capacidade de sobrecarga sustentada para esta classificação (de acordo com a norma ISO8528). Nesta aplicação os grupos geradores trabalham em paralelo com a fonte usual de energia por longos períodos de tempo.

1.5 Tipo da carga

Temos que fazer uma análise da carga existente para o correto dimensionamento de um grupo gerador, pois a maioria das cargas de médio e grande porte costuma apresentar correntes altas no instante do seu acionamento, com isso precisamos entender os tipos de cargas presentes no sistema.

Podemos ver os tipos de carga um a um para facilitar o entendimento:

1.5.1 Cargas de Iluminação

Existem vários tipos de sistema de iluminação: lâmpadas incandescentes (não precisando de reatores de ignição), fluorescentes (lâmpadas de gás ionizado acionada por reator), lâmpadas de descarga elétrica de alta potência (vapor metálico, mercúrio e sódio de alta e baixa pressão) sistemas de Led (formada de diodos emissores de luz e acionadas por reatores) e outras menos usadas no mercado.

Basicamente para o sistema de iluminação é feito a soma das potências das lâmpadas com a potência dos respectivos reatores para obtenção da potência total, não esquecendo o fator de potência de alguns sistemas (atualmente a maioria dos sistemas já há alto fator de potência). Devendo também usar o fator de demanda, conforme característica da frequência de uso dos componentes deste tipo de carga, conseqüentemente para não usar 100% da iluminação para o cálculo sabendo que nunca estarão todos os sistemas de iluminação ligados simultaneamente, ou seja, usar fator de simultaneidade.

1.5.2 Cargas para Sistema de Ar-condicionado

Na América do Norte o sistema de ar-condicionado é especificado em toneladas de Ar. Para estimar a potência em kWh é necessário fazer a proporção de 2HP/ton onde uma tonelada de refrigeração equivale a 12000 BTUs, porém esta proporção é válida para equipamentos não muito eficientes, com isso é necessário fazer o levantamento dos equipamentos para realizar o cálculo mais preciso da potência usada. Para este sistema usa-se também o fator de demanda para correto dimensionamento.

1.6 Motor de indução

Há muitos tipos de motores e cargas mecânicas que podem ser conectados a estes motores. Para a indústria a grande maioria de motores existente são os motores de indução, onde estes são responsáveis por mais de 40% do consumo de energia na indústria brasileira, com isso temos que analisar estas cargas para saber o método de instalação aplicada a estes motores pelo fato de os mesmos poderem atingir níveis de corrente de partida de até oito vezes a nominal.

Os motores de indução necessitam de dispositivos que auxiliem a partida para que o pico de corrente não seja alto e o mesmo não afete a tensão, frequência e conseqüentemente a proteção da rede elétrica.

1.6.1 Tipos de partidas de motor de indução

Há vários métodos de acionamento de motores de indução, onde cada um destes métodos depende da potência do motor, inércia da carga ligada ao motor, queda de tensão admissível, tempo de partida aceitável dentre outras.

Com isso para acionamento dos motores de indução precisamos saber as características da carga para usar o método adequado de partida dos mesmos.

1.6.1.1 Partida Direta

Na partida direta o motor é acionado com a tensão e frequência nominal da rede, partindo com torque máximo de partida e chegando a rotação nominal do motor em menos tempo, de acordo com a característica elétrica da carga, o que leva a conformidade com o manual do fabricante.

Este método, porém aumenta a corrente de partida do motor em até oito vezes, com isso não podemos acionar motores muito potentes pelo fato de a corrente de partida ser muito alta e com isso causar queda de tensão na rede e prejudicar outras cargas ligadas na mesma. Na maioria das concessionárias a partida direta pode ser usada em motores de até 10cv.

1.6.1.2 Partida Estrela-triângulo

Neste método, o sistema de partida consiste em mudar a ligação das bobinas do motor para o arranque e depois de certo tempo passar para a ligação nominal da placa.

Para este método o motor tem que ser compatível com a rede de alimentação para que no primeiro estágio a bobina do motor não receba uma sobretensão e com isso a queima do mesmo.

É um método mais usado em motores de pequeno e médio porte pois o torque é relativamente alto mas a corrente de partida é alta também, por isso não é usado em motores mais potentes.

1.6.1.3 Partida Compensadora

Sistema de partida muito usado na indústria para motores de médio porte, tem baixo custo para estes motores e geralmente tem três estágios de partida, o sistema consiste em colocar um autotransformador para mudar a tensão de acionamento do motor conforme os taps do autotransformador usado, geralmente é usado três taps 65%, 80% e 100%, assim o motor recebe as tensões proporcionais ao tap usado.

Este método tem um torque médio assim como a corrente de partida, tem um tempo maior de acionamento até atingir a rotação nominal.

1.6.1.4 Partida com Soft Starter

Este dispositivo (soft starter) consiste em reduzir a tensão de entrada do motor e aumentando a mesma com sistema de rampa até atingir a nominal. Pode-se configurar o tempo de partida (tempo da rampa) e a tensão inicial de partida.

Neste método a corrente de partida pode ficar relativamente baixa chegando a três vezes a corrente nominal, porém como a tensão de partida será baixa e conseqüentemente o torque também será baixo, com isso tem que ajustar a tensão de partida de acordo às necessidades da carga.

Como é um dispositivo de chaveamento de transistores pode haver algumas complicações com a frequência da rede e surgimento de harmônicas, por isso temos que ter cuidado no momento que o grupo gerador estiver ligado. Há no mercado dispositivos que já vêm com filtros para minimizar estes efeitos.

1.6.1.5 Partida com Inversor de frequência

O inversor de frequência é muito usado e é o melhor método de partida para motores de indução, pois, o método de funcionamento dele consiste em variar a frequência de alimentação do motor variando assim a rotação do mesmo. O tempo de partida é maior, porém a corrente é baixa e o torque é mais alto do que o soft starter. É um sistema de chaveamento e requer cuidados como já dito para o soft starter. A parametrização é feita pelo usuário e de acordo com a carga sendo possível acompanhar o funcionamento através de um computador conectado via cabo de rede. Há inversores escalares e vetoriais, onde os escalares o usuário parametriza e ele aciona conforme o ajuste definido, já os vetoriais mudam a parametrização conforme o motor é acionado e permanece ligado mudando os parâmetros para melhorar o rendimento e eficiência do mesmo.

Este dispositivo é eficiente e faz com que o motor trabalhe em regimes já definidos pelo usuário e fazendo com que diminua o desgaste mecânico das polias ou correias e até diminuindo o consumo de eletricidade em algumas situações, usado também onde requer variação de velocidade e precisão nos movimentos.

Existem outros métodos de acionamento de motores de indução, porém os

listados acima são os mais usados na indústria. Estes métodos têm que serem vistos quando o grupo gerador for acionado, pois o mesmo é mais sensível do que a rede da concessionária, com isso muitas vezes temos que mudar os acionamentos para que não implique em problemas para o grupo gerador e nem para a carga acionada.

1.7 Tarifação de energia

Conhecer ou entender como a conta de energia é faturada é muito importante para quem quer fazer economia monetária e pra quem se preocupa com o uso eficiente de energia.

A tarifa de energia é dividida em grupos e subgrupos, residenciais, comerciais, industriais e rurais. As tarifas residenciais são cobradas conforme o consumo em R\$/kWh, em qualquer momento do dia este é o valor cobrado.

Tendo início no mês de janeiro deste ano os consumidores residenciais têm uma novidade na conta de energia, é o surgimento das bandeiras tarifárias, que compreendem um acréscimo ou diminuição no valor da tarifa que depende das condições de geração de energia. São três bandeiras a verde, onde as condições de geração são favoráveis, deixando a tarifa sem sofrer acréscimos, a bandeira amarela, que mostra que a geração de energia atual esta menos favorável, ocasionando um acréscimo de R\$2,50 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumidos, tem ainda a bandeira vermelha, onde há condições mais custosas de geração de energia, oferecendo um acréscimo de R\$ 5,50 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumidos.

Há planos da aneel (agência nacional de energia elétrica) de aplicar a tarifa de energia elétrica Branca, que consiste em aplicar o horário de ponta em tarifas residenciais, deixando a energia mais cara em um período do dia, com a intenção de diminuir o consumo no período proposto.

As tarifas de energia são classificadas conforme o nível de tensão no ponto de entrega da concessionária as residenciais, prediais, rurais ou comerciais com classe de tensão de até 380 volts, ou seja, baixa tensão que é classificada como grupo B e têm seus subgrupos conforme a atividade.

Os consumidores atendidos em alta tensão, acima de 2300 volts, são

classificados como sendo do grupo A, onde o mesmo é subdividido em subgrupos conforme tabela abaixo:

| Subgrupos | Tensão de Fornecimento |
|------------------|-------------------------------|
| A1 | ≥ 230 kV |
| A2 | 88 kV a 138 kV |
| A3 | 69 kV |
| A3a | 30 kV a 44 kV |
| A4 | 2,3 kV a 25 kV |
| AS | Subterrâneo |

Figura 1.6 – subgrupos tarifários do grupo A

Fonte: manual de tarifação - eletrobrás

1.7.1 Modalidades tarifárias

As modalidades tarifárias correspondem aos subgrupos mostrados na figura 1.6. As modalidades podem ser escolhidas de acordo com os subgrupos e com a demanda de potência contratada. A demanda de potência contratada é a demanda máxima que o consumidor vai usar em algum momento do dia, que a concessionária deixa a disposição para o cliente, quando o consumidor excede em consumo a demanda contratada em 5% ele paga uma multa de ultrapassagem, por consumir mais do que o previsto, a unidade de demanda contratada é kw. As modalidades tarifárias atuais são:

- Tarifação convencional

Esta modalidade é pactuada entre a concessionária e o consumidor onde é feito um contrato, normalmente de um ano, onde há um único valor de demanda contratada independente da hora do dia e do período do ano.

Para ser enquadrado nesta modalidade é necessário que o consumidor seja do subgrupo A3a, A4 ou AS e que a demanda contratada não exceda 300kW.

A cobrança total é feita pela soma do consumo de energia total, da

demanda contratada e da ultrapassagem da demanda, quando houver, isso com os respectivos valores. Sendo um valor para cada kWh de consumo, outro valor para a demanda contratada e um valor de multa para cada kW de demanda ultrapassada.

- Tarifação horo-sazonal verde

Esta modalidade se aplica aos subgrupos A3a, A4 e AS onde a mesma é opcional. O consumidor deve fazer contrato com a concessionária, geralmente de duração de um ano, onde deve ser solicitada a demanda contratada, independente do horário do dia que será consumida. Podem ser contratados dois valores de demanda um para cada período do ano, um para o período seco, que compreende os meses de maio a novembro, e um para o período úmido, que compreendem os meses de dezembro a abril. A conta desta parcela na tarifa de energia é feita com a demanda contratada ou registrada se ultrapassar multiplicada pela tarifa de energia do período do ano em que ocorre a leitura.

A parcela da ultrapassagem de demanda é feita através da multiplicação da tarifa de ultrapassagem pela diferença entre a demanda medida e a demanda contratada.

A grande diferença entre esta modalidade e a modalidade convencional é que o cálculo de cobrança do consumo de energia é feita em duas parcelas sendo uma referente ao horário de ponta, período de três horas diárias escolhidas pela concessionária e excluindo feriados nacionais e fins de semana, e outra fora do horário de ponta, que são as vinte e uma horas restantes. O consumo de cada período é multiplicado pelo valor referente a tarifa do mesmo, lembrando que a tarifa de consumo no horário de ponta pode chegar a cinco vezes o valor da tarifa de consumo fora do horário de ponta.

O custo total da tarifa para esta modalidade engloba a soma do custo da demanda, da ultrapassagem da demanda e do consumo na ponta e fora de ponta.

- Tarifação horo-sazonal azul

Os clientes que se enquadram nesta modalidade são do grupo A e subgrupos A1, A2 ou A3.

Como foi visto nas modalidades anteriores, é necessário um contrato com a concessionária para pactuar com os valores definidos pela mesma, esta modalidade não é diferente, é exigido este contrato.

A tarifa horo-sazonal azul é semelhante a modalidade da horo-sazonal verde, tendo a diferença de que esta atenda outros grupos de consumidores e que há uma demanda contratada na ponta e outra fora do horário de ponta, sendo esta de ponta muito mais cara do que a tarifa de fora da ponta, podendo ter cobrança de ultrapassagem na ponta também.

Deve-se analisar a conta de energia do cliente antes de fazer qualquer estudo econômico, pois os custos de energia são de maior valor no horário de ponta, com isso é bem provável que o uso de um grupo motor gerador seja mais viável se o cliente estiver enquadrado na tarifação de energia horo-sazonal verde ou na horo-sazonal azul, por estas haverem cobrança no horário de ponta.

Objetivos

2 Objetivo geral

Descrever o funcionamento de um motor gerador a diesel e com isso auxiliar na tomada de decisões para a instalação de um grupo motor gerador através da análise econômica de uma instalação para operar em horário de ponta. Isso tudo visando a maior eficiência do equipamento.

3 Objetivo específico

Descrever os passos necessários para o correto dimensionamento do grupo gerador para que a perda seja minimizada a fim de não haver consumo indevido de combustível e assim ter o poder de escolha correto para o grupo gerador apropriado para a carga a ser instalado.

Comparar os custos econômicos de economia de energia com a aquisição de um grupo motor gerador para funcionamento em horário de ponta.

Comparar o consumo e custos energéticos dos grupos geradores a diesel

4 METODOLOGIA

4.1 Dimensionamento de um Grupo Motor gerador

Há muitos fatores a ser levado em conta antes da aquisição do equipamento adequado. A grande maioria dos fabricantes já tem equipamentos padronizados para não haver muitos projetos especiais e torna-los de certo modo artesanais, tornando-o mais caro e com isso fora do mercado. Há projetos especiais onde são necessários equipamentos mais confiáveis e com características diferentes das nominais.

Os fatores a serem observados antes da aquisição do equipamento são os seguintes:

- Local de instalação

Devemos avaliar o local da instalação, onde o equipamento permanecerá, pois, há várias situações que podem ser em regiões litorâneas, onde a ação da maresia pode danificar o equipamento, em ambientes com atmosfera explosiva, que requer uma proteção maior de isolamento, e em locais especiais ou conforme normas internas da empresa a ser instalado o equipamento.

- Características do local

As características do local de instalação tem que ser avaliado devido ao funcionamento do equipamento não ficar comprometido. A altitude deve ser levado em consideração, pois, a vida útil do equipamento diminui com a altitude dependendo se for muito elevada ou muito abaixo do nível do mar. A temperatura ambiente tem que ser observado para não deixar o equipamento com superaquecimento e torna-lo inoperante. A qualidade do ar deve ser observada em locais onde pode haver contaminação por partículas sólidas.

- Riscos de o equipamento não funcionar em uma interrupção de energia

É importante saber a consequência de uma possível falha no equipamento para não acarretar problemas como desconforto, perda de material em alguns processos de fabricação e até causar danos a saúde em locais como hospitais ou clínicas.

➤ O regime de operação

Este fator é muito importante pelo fato de impactar diretamente na potência do equipamento, pois, um mesmo grupo motor gerador pode trabalhar em outros regimes de operação, porém, conforme o regime adotado a potência de trabalho e o tempo de sobrecarga admissível variam. Com isso, quando for elaborado o projeto e o regime de trabalho do grupo motor gerador teremos a potência necessária do mesmo para o regime escolhido.

No futuro se for trocar o regime de operação, seja qual for o motivo, devemos prestar atenção na potência deste mesmo equipamento para o novo regime de trabalho, para que esta permaneça na faixa recomendada pelo fabricante.

➤ Tipo de carga

É preciso fazer o levantamento de carga do cliente para definir os tipos de cargas instaladas e com que frequência as mesmas são acionadas. Devem-se relacionar as cargas conforme o tipo, seja iluminação, motores de indução, computadores, sistemas de ar condicionado e etc. para cada tipo de carga precisa-se do fator de simultaneidade, onde estabelece quanto da carga estará acionada simultaneamente. Quando não é possível fazer o levantamento ou até o cliente não sabe informar a simultaneidade da carga pode-se usar de fator de simultaneidade por atividade da empresa.

➤ Acionamento de motores de indução

O motor de indução pode consumir uma corrente de partida de até oito vezes a sua corrente nominal de trabalho, sendo esta em partida direta, com isso é

preciso saber os tipos de acionamentos para que este não resulte na escolha do grupo motor gerador inadequado.

Muitas vezes é preciso sugerir para o cliente uma automação para partida de motores para que estes não deixem o gerador sobrecarregado no momento de partidas destas cargas repentinas, podendo ocasionar subtensão ou subfrequência na alimentação das cargas.

➤ Equipamentos especiais

Alguns equipamentos são pouco problemáticos na presença de um grupo motor gerador, pois a energia instantânea de acionamento é muito alta e muito rápida, assim o gerador procura atender a solicitação da carga, porém a mesma desliga deixando o grupo instável pelo fato da resposta do motor diesel ser mais lenta do que a carga. Nestes casos é preciso sobredimensionar o grupo gerador para absorver estes transientes. Os equipamentos com estas características podem ser máquinas de corte a laser, aparelhos de ressonância magnética, raio-x e equipamentos de telecomunicação que não variam muito a carga mas são mais sensíveis a variações do grupo motor gerador.

➤ Manutenção preventiva

Fator muito importante para estudo de viabilidade econômica e que deve ser seguido com atenção conforme manual do fabricante, tendo as vezes que antecipar a manutenção devido ao combustível estar com partículas sólidas e podendo obstruir os filtros de combustível ou em ambientes agressivos onde tem que ter cuidados especiais. Os produtos e peças de reposição tem que ser genuínas ou recomendadas pelo fabricante do equipamento.

Geralmente, quase na maioria das vezes, os técnicos ou o cliente, dimensionam o grupo motor gerador através da demanda registrada da fatura de energia elétrica. Este método pode dar certo as vezes mas não é o recomendado, tem que ter outros meios para confirmar os dados antes da aquisição do equipamento.

Se o cliente pretende usar o equipamento para economia de energia,

gerando energia própria no horário de ponta, neste caso o cliente se enquadra ou na tarifação horo-sazonal verde ou na tarifação horo-sazonal azul, únicas que possuem cobrança de horário de ponta, para este cliente tem que ter cuidado, pois aqueles que estão enquadrados na tarifação horo-sazonal verde não há registro de demanda na ponta, não sabendo qual é realmente a potência máxima necessária para este horário.

Além de ver a demanda, analisar as cargas instaladas e o fator de simultaneidade das mesmas, é recomendado instalar um registrador de grandezas elétricas, pois este pode medir potências (ativa, reativa e aparente), fator de potência, tensão, corrente, harmônicas entre outras, há no mercado equipamentos que podem registrar as grandezas elétricas e armazenar as mesmas em memória com intervalos da ordem dos milissegundos, tornando a medida mais convincente e podendo analisar com maior precisão algum transiente na carga do cliente.

Para esclarecer melhor a ideia do dimensionamento do grupo motor gerador é possível mostrar, através de um exemplo didático, como é feita a análise econômica antes da aquisição do equipamento.

Supondo que a demanda registrada do cliente seja de 350 kW, para funcionar no horário de ponta da empresa, como o equipamento trabalha no mínimo três horas por dia, é preciso dimensionar um equipamento que atenda esta potência na configuração prime, pois, este em standby tem capacidade de maior potência. De acordo com a potência é possível usar o equipamento da marca Cummins de modelo C400D6, onde, este tem capacidade de potência de 500kVA/400kW em regime standby e 456kVA/365 kW na configuração prime. Abaixo tem se a tabela de consumo de combustível para este equipamento.

| Potência Nominal | Standby | | | | Prime | | | |
|-------------------------|---------|-----|--------|-----|---------|-----|--------|-----|
| | 500 kVA | | 400 kW | | 456 kVA | | 365 kW | |
| Carga Aplicada | Full | 3/4 | 1/2 | 1/4 | Full | 3/4 | 1/2 | 1/4 |
| Consumo (Litros / Hora) | 110 | 84 | 60 | 36 | 99 | 78 | 58 | 40 |

Figura 4.1 – tabela de consumo de combustível do equipamento C400D6

Fonte: http://www.cumminspower.com.br/pdf/spec-sheets/NH/PT/60Hz/C400D6_PT_REV09.pdf

O equipamento estaria com quase 100% de carga se pensar pela demanda registrada, mas a demanda registrada pela concessionária é uma média da potencia

consumida em intervalos de 15 minutos. Com isso, a instalação de um registrador de grandezas elétricas é importante para registrar, por alguns dias, o comportamento da carga. Para uma carga com potência sempre próximas da demanda, é preciso pensar em outro equipamento, pois, o equipamento citado ficará trabalhando muito próximo do limite de potência, perto dos 100%, isso pode diminuir a vida útil e até gerar falhas por sobrecarga, caso entre alguma carga a mais no sistema.

Assim, para o mesmo fabricante pode se optar pelo equipamento C450D6, onde o mesmo suporta uma potência de 563kVA/450kW em standby e 513kVA/410kW na configuração prime. Abaixo vemos a tabela de consumo deste equipamento.

| Potência Nominal | Standby | | | | Prime | | | |
|-------------------------|---------|-----|--------|-----|---------|-----|--------|-----|
| | 563 kVA | | 450 kW | | 513 kVA | | 410 kW | |
| Carga Aplicada | Full | 3/4 | 1/2 | 1/4 | Full | 3/4 | 1/2 | 1/4 |
| Consumo (Litros / Hora) | 114 | 89 | 66 | 41 | 105 | 83 | 61 | 39 |

Figura 4.2 – tabela de consumo de combustível do equipamento C450D6

Fonte: http://www.cumminspower.com.br/pdf/spec-sheets/QSX15/PT/60Hz/C450D6_PT_Rev03.pdf

Nota-se que para a mesma potência da demanda registrada, sendo o regime de horário de ponta, onde usa-se a configuração prime, este equipamento trabalha com aproximadamente 85% da potência total do equipamento, conforme recomendação do fabricante e maior eficiência.

Comparando as tabelas das figuras 4.1 e 4.2 percebe se também que para o segundo caso haverá maior economia no consumo de combustível para a mesma potência gerada.

Há a necessidades de avaliar os dados do registrador de grandezas elétricas para saber se há algumas cargas com altas correntes de partida e se este equipamento suportará a estas variações repentinas da carga, se existir estes picos de corrente haverá duas formas de sanar o problema, substituindo o equipamento por outro mais potente, ou tentar suavizar estas correntes problemáticas.

O recomendado é identificar onde há cargas desta característica e tentar ao máximo suavizar estas correntes altas, ou mudando o acionamento da carga, ou em caso de haver várias cargas acionadas simultaneamente, fazer um cascadeamento destas. Caso não seja capaz desta ação deve-se adquirir um equipamento mais

potente.

Porém se adquirir um equipamento mais potente, este trabalhará abaixo da potência ideal, reduzindo vida útil do equipamento.

Para os casos listados acima nota-se que o primeiro gastaria em média 97 litros de óleo diesel por hora, (média aritmética) pensando em três horas em funcionamento diária tem-se um consumo de 291 litros de óleo diesel diário, caso for adquirido o outro equipamento o consumo deste ficaria em torno de 92 litros por hora, (média aritmética) consumindo 276 litros de óleo diesel diários, gerando uma economia de 15 litros diários. Então a economia energética, sabendo que há uma energia de 35,86MJ (mega joule) por litro, é possível deixar de consumir 537,9 MJ por dia, e se a cada litro de óleo diesel queimado surgem 2,6 kg de CO₂, haverá um menor índice de emissão de CO₂ para atmosfera, cerca de 39kg diários.

Para analisar a economia mensal com a instalação do grupo motor gerador é feito o cálculo do custo do consumo de combustível mensal e somar a manutenção preventiva do equipamento, e assim calcular a tarifa de energia na ponta para comparar os valores.

O fabricante detalha em seu manual técnico de operação que a manutenção preventiva do equipamento deve ser feita a cada 250 horas de funcionamento, ou a cada seis meses caso este não tenha atingido as horas trabalhadas mencionadas. Para o equipamento em análise do modelo C450D6, em pesquisa no mercado, foi obtido um valor médio de R\$1200,00 (um mil e duzentos reais) para manutenção preventiva do equipamento. Se o equipamento funcionará três horas por dia, tem-se que se precisa de 83 dias de trabalho para cada manutenção em questão, o que equivale a aproximadamente três meses e meio de funcionamento, já que sempre pode haver queda de energia e o equipamento trabalhar na falta da mesma. Com isso o custo de manutenção mensal será de aproximadamente R\$ 343,00 (trezentos e quarenta e três reais), valor obtido pela equação 1.

Equação 1

$$\text{Custo de manutenção mensal (R\$)} = \frac{\text{Custo total de manutenção}}{\text{Meses equivalentes de funcionamento (3,5)}}$$

Pensando no consumo de combustível mensal, este dependerá da potência, que varia a todo tempo, pensando em potência constante da demanda do cliente (350kw), o consumo será de aproximadamente 92 litros por hora, funcionando 3 horas diárias durante todos os dias, de segunda-feira a sexta-feira, o equipamento consumirá cerca de 6.072 litros de combustível de acordo com equação 2. Em pesquisa no mercado encontra-se óleo diesel custando em torno R\$ 2,50 (dois reais e cinquenta centavos), assim tem se o custo mensal de combustível de aproximadamente R\$ 15.180,00 (quinze mil e cento e oitenta reais), calculados conforme equação 3.

Equação 2

Consumo de combustível mensal (litros mensais)

= Consumo horário de combustível x Horas de funcionamento diário x Dias úteis mensal

Equação 3

Custo mensal de combustível (R\$)

= Consumo de combustível mensal (litros) x Custo do combustível (R\$/litro)

Então o custo mensal do equipamento, funcionando no horário de ponta da empresa, é a soma do custo mensal de combustível mais o custo mensal da manutenção preventiva, ficando em torno de R\$ 15.523,00 (quinze mil quinhentos e vinte e três reais), calculado com a equação 4.

Equação 4

Custo total mensal do equipamento (R\$)

= custo mensal de combustível + Custo de manutenção mensal

Para fazer o calculo econômico, dependerá da região, pois, o custo da tarifa de energia é diferente, conforme a região e concessionária. Caso o cliente esteja enquadrado na tarifação adequada para instalação do grupo motor gerador, é possível usar os valores do histórico de consumo da conta de energia elétrica, isso se não haverá aumento de carga do cliente. Caso seja necessário o cálculo, o

mesmo é feito com valores disponibilizados pela concessionária local. Para exemplo, tomou se como base o custo da energia para clientes da concessionária CEEE (companhia estadual de energia elétrica), como cliente industrial do subgrupo A4, conforme figura abaixo:

| | | | | |
|----|--------------|--------------------|-----|---------|
| A4 | AZUL | Demanda Ponta | kW | 22,02 |
| | | Demanda Fora Ponta | kW | 9,13 |
| | | Energia Ponta | kWh | 0,37350 |
| | | Energia Fora Ponta | kWh | 0,23348 |
| | VERDE | Demanda | kW | 9,13 |
| | | Energia Ponta | kWh | 0,90945 |
| | | Energia Fora Ponta | kWh | 0,23348 |
| | CONVENCIONAL | Demanda | kW | 24,98 |
| | | Energia | kWh | 0,24515 |

Figura 4.3 – valores tarifas de energia CEEE, valores em reais.

Fonte:<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Tabela%20Grupo%20A%20dezembro%202014.pdf>

Como o consumo no horário de ponta será de 350kwh, e que um mês tem aproximadamente 22 dias úteis, o consumo total será de 23.100 kWh (vinte e três mil e cem), calculado pela equação 5, devido ao horário de ponta ser de três horas diárias. Usando o valor da tabela, a energia ponta, para a tarifação verde, nota-se o custo do kWh em R\$ 0,90945 (cerca de noventa centavos), multiplicando o custo da energia pelo consumo total obtém-se o custo de energia na ponta sem o uso do grupo motor gerador que fica em torno de R\$ 21.008,00 (vinte e um mil e oito reais), obtido pela equação 6.

Equação 5

$$\begin{aligned} & \text{Consumo total mensal de energia ponta } \left(\frac{kWh}{mês} \right) \\ & = \text{consumo de energia por hora } \times \text{horas de funcionamento diário (3 horas)} \\ & \quad \times \text{dias úteis mensais (22 dias em média)} \end{aligned}$$

Equação 6

Custo mensal de energia na ponta (R\$)

= Consumo total mensal de energia ponta x custo do kWh na ponta

Fazendo a diferença dos valores do custo de energia sem o grupo motor gerador e com o grupo motor gerador em funcionamento chega-se ao valor de R\$ 5.485,00 (cinco mil quatrocentos e oitenta e cinco reais), calculado a partir da equação 7, valor este de economia mensal, porém é preciso saber que o equipamento pode danificar algumas peças ao longo do tempo, o equipamento vai ter depreciação, porém o custo da energia elétrica mencionado foi sem impostos (ICMS para a indústria é de 17% para o Rio Grande do Sul), ou seja, aumentará o custo com adição dos mesmos.

Equação 7

$$\text{Economia mensal (R\$)} = \frac{\text{Custo mensal de energia na ponta}}{\text{Custo total mensal do equipamento}}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O correto dimensionamento do grupo motor gerador ocasiona uma série de benefícios para o cliente que adquirir o produto, onde estes podem ser econômicos, ambientais ou até de necessidade do momento. Podemos listar abaixo os benefícios mencionados:

➤ **Maior eficiência do equipamento**

Este item é um dos benefícios mais importante, pois é nele que é feito o esclarecimento ao cliente que pretende adquirir o equipamento e torna-lo viável economicamente com menor consumo de combustível possível.

Devemos nos preocupar com o consumo excessivo de combustível, para que este não torne o projeto inviável e pouco atraente para o cliente, além disso

podemos pensar na diminuição de emissões de gases na atmosfera melhorando a relação de consumo de combustível por kWh gerado, tornando-o mais eficiente.

De acordo com o manual dos fabricantes, a relação de consumo por kWh varia conforme o percentual de potência instantânea gerada, sendo que os grupos motor gerador á diesel são mais eficientes entre 75 e 100% de carga dos mesmos. Por isso a insistência em trabalhar nas faixas citadas pelos fabricantes, onde os mesmos são mais eficientes.

➤ Valor de aquisição do equipamento

Quando se pensa em adquirir um equipamento, seja ele qual for, a primeira questão que vem em mente do comprador responsável é o custo do equipamento, tempo de retorno do investimento e só depois a função que o mesmo exercerá. Por isso, ao adquirir o equipamento adequado o mesmo deverá operar nas faixas recomendadas pelo fabricante evitando desperdícios de consumo e manutenção. Se o equipamento trabalhar subdimensionado aumentará a relação consumo/potência do grupo motor gerador, além disso, não é o recomendado pelo fabricante. Caso o equipamento trabalhe sobredimensionado, o custo de aquisição do equipamento será maior, pois foi adquirido um equipamento com mais potência do que é necessária, resultando no aumento de consumo em relação ao kWh gerado, ficando assim mais ineficiente e fora da faixa ideal de trabalho do equipamento.

➤ Maior vida útil do equipamento

Todo equipamento é projetado para funcionar em uma faixa de trabalho, onde são extraídas as características do mesmo para que ele opere durante um certo período que seja o maior possível. Portanto o funcionamento contínuo do equipamento fora da faixa ideal de trabalho diminuirá a vida útil do equipamento.

Para a apresentação da justificativa econômica do produto a ser adquirido, leva-se em consideração a vida útil do equipamento para saber se é vantajosa a aquisição do mesmo, se diminuir a vida útil do mesmo por má dimensionamento surgirá gastos improváveis e repentinos.

➤ Baixo risco de falha ou dano no equipamento

Todo o equipamento mecânico ou elétrico, dinâmico ou estático, pode sofrer falha ou dano em algum momento, independente do regime de trabalho ou condições de funcionamento. Porém, devemos diminuir os riscos, para que o equipamento não fique ocioso e sem credibilidade do cliente.

➤ Maior confiabilidade

A confiabilidade é um benefício muito esperado do cliente, o mesmo está investindo em um equipamento e precisa que este funcione quando for esperado. A confiança também faz com que seja marcadas interrupções de energia da rede para algum tipo de manutenção em subestações ou algo do gênero, isso sem deixar de produzir.

Algumas atividades como em hospitais, indústrias de produção em massa, telecomunicação, necessitam de equipamentos confiáveis para diminuir os imprevistos de ultima hora, podendo ocasionar altos prejuízos econômicos e até de saúde, para o caso de hospitais.

➤ Menor dano ambiental

Com o equipamento correto o consumo de combustível será menor para a mesma potência gerada, diminuindo o desperdício de energia, reduzindo as emissões de gases e poluindo menos o meio ambiente.

Muitas empresas ou até órgãos públicos necessitam de licenças ambientais para a instalação do grupo motor gerador, com isso é necessária a elaboração de um plano ambiental para cumprir com as exigências regionais, fazendo um controle das emissões de gases e até de descarte correto dos resíduos sólidos e líquidos.

6 OBSERVAÇÕES FINAIS

Embora o tema do artigo seja complexo e amplo, é possível ter uma clara noção de quais os passos necessários para o dimensionamento de um grupo motor

gerador a diesel, também ficam explícitos os cuidados que devem ser tomados antes da aquisição do equipamento.

Com isso, pode-se dimensionar corretamente um grupo motor gerador, para que o mesmo seja mais eficiente energeticamente, confiável e que atenda as especificações da carga.

Usuários, técnicos ou até empresários podem usar as informações e conclusões do artigo para questionar o vendedor do equipamento, para que seja feita a escolha correta do equipamento apropriado para a instalação, podendo acompanhar o funcionamento e expectativas criadas na hora da compra.

Ao longo do trabalho, percebe-se que é atrativa a compra de um equipamento para instalação de empresas ou indústrias, pois, a economia mensal é significativa. Porém, se nota que a empresa tem que estar na tarifação horo-sazonal verde ou azul, para funcionar em horário de ponta. Se o cliente estiver enquadrado em outra tarifação, à aquisição se torna inviável, podendo então servir somente para emergência na falta de energia da concessionária.

Ao longo do trabalho percebe se uma economia mensal atraente para o exemplo dado. Dependendo do valor do equipamento e depreciação do mesmo é possível fazer a análise econômica para aquisição do mesmo. Na mesma análise percebe se também que há economia energética na escolha do equipamento.

Portanto, vale a pena fazer uma análise técnica e econômica para o uso de um grupo motor gerador para funcionar em horário de ponta, principalmente devido à instabilidade econômica na comercialização das fontes energéticas, das inseguras condições naturais globais associadas às fontes de energia e a fatores políticos atrelados diretamente nas decisões do órgão que rege o setor. Atualmente houve um aumento preço do óleo diesel comercial, porém há expectativas que a energia elétrica possa ter um aumento superior a 50% este ano, segundo a ONS (operadora nacional do sistema), isso devido a compra de energia de fora do país (Argentina), e pelo acionamento das termelétricas, onde o custo de geração é maior que a maioria da geração de energia do nosso sistema, que é as hidrelétricas. Isso tudo ocasionado por razões climáticas, econômicas e políticas.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 06396 P-MB-749**: motores alternativos de combustão interna, não veiculares. 1976.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14664**: Grupos geradores, requisitos gerais para telecomunicações. Rio de Janeiro, 2001. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 8528**: Grupos geradores de corrente alternada, acionados por motores alternativos de combustão interna, Parte 1. 2014.

WEG, DT-5 características e especificações de geradores. Extraído na página da web: www.weg.net em 25 de novembro de 2014.

CUMMINS, Engenharia de Aplicação. Manual de aplicações para grupos geradores arrefecidos à água. Extraído na página da web: www.cummins.com.br em 15 de setembro de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. www.aneel.gov.br, acesso em 05 de fevereiro de 2015.

TABELA DE TARIFAS DO GRUPO A – CEEE, www.ceee.com.br, acesso em 21 janeiro de 2015.

UMANS, STEPHEN D. – MÁQUINAS ELÉTRICAS: de Fitzgerald e Kingsley. Porto Alegre, AMGH EDITORA LTDA, 7ª edição. 707p.

CHAPMAN, STEPHEN J. – FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS. Editora Mc Graw Hill, 5ª edição. 684p.