



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ECONÔMICA PARA USO DO GRUPO GERADOR DO
HOSPITAL SANTA CASA DE MISERICÓRDIA DE SOBRAL NO HORÁRIO DE
PONTA**

SOBRAL
2016

ARTUR MELO PEIXOTO

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ECONÔMICA PARA USO DO GRUPO GERADOR DO
HOSPITAL SANTA CASA DE MISERICÓRDIA NO HORÁRIO DE PONTA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal do Ceará – Campus Sobral, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Eber de Castro Diniz.

SOBRAL

2016

Página reservada para ficha catalográfica que deve ser confeccionada após apresentação e alterações sugeridas pela banca examinadora.

Para solicitar a ficha catalográfica de seu trabalho, acesse o site: www.biblioteca.ufc.br, clique no banner Catalogação na Publicação (Solicitação de ficha catalográfica)

ARTUR MELO PEIXOTO

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ECONÔMICA PARA USO DO GRUPO GERADOR DO
HOSPITAL SANTA CASA DE MISERICÓRDIA NO HORÁRIO DE PONTA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal do Ceará – Campus Sobral, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eber de Castro Diniz (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcus Rogério de Castro
Universidade Federal do Ceará

Engenheiro Paulo Robson Melo Costa
Analista de processos setor Obras (Dínamo Engenharia)

A Deus.
A meus pais, e a meu eterno amigo e mentor
João Abdelmôumen Melo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eber de Castro Diniz, pela orientação e todo o conhecimento compartilhado.

Aos participantes da banca examinadora Dr. Marcus Rogério de Castro e Paulo Robson Melo Costa, pelo tempo, sugestões e conselhos.

Aos profissionais do Hospital Santa Casa de Misericórdia de Sobral, Franklin pelo apoio e acompanhamento técnico, e colegas do SESMT pela ajuda e amizade que se mantenha firme e duradoura sempre.

Aos amigos William, Johnantan, Robson e Matheus pelas horas de estudo e companheirismo no decorrer do curso.

A minha família, que sempre esteve presente nos momentos mais difíceis.

E a minha mãe, Luciandre, que sem seu apoio, conselhos e sacrifícios não seria possível conquistar o que temos hoje.

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento,
mais evidente fica a nossa ignorância.”
(John F. Kennedy)

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados da eficiência econômica para uso do grupo gerador do Hospital Santa Casa de Misericórdia, localizado em Sobral – Ceará, no horário de ponta. As concessionárias de energia elétrica no Brasil estipulam o valor do kWh mais caro no horário de ponta, em que, no estado do Ceará, é de 17:30 as 20:30 nos dias úteis, onde é o intervalo de tempo em que ocorre o maior uso da energia no país fazendo com que as usinas aumentem seu nível de produção, com isso algumas instituições de grande porte procuram gerar sua própria energia nesses horários para uma melhor eficiência econômica. O hospital Santa Casa de Misericórdia de Sobral possui um grupo gerador modelo GTA 311CIIIH e motor modelo SCANIA DC16 48A, com valores nominais de potência 635 kVA, tensão 380 V, frequência 60 Hz e tanque de combustível com capacidade de 250 litros, que é usado em casos de emergência na falta de energia para a permanência das atividades da instituição. Visando custos em comparação com a energia fornecida pela concessionária, o que mostrou ser bastante vantajoso, pois considerando as tarifas estipuladas pela fornecedora saiu mais barata a tarifa calculada com os custos da utilização do gerador neste horário, com média de 28 a 30% de economia, onde o último se mostrou até 45% de vantagem. Em que esses valores podem ser ainda mais lucrativos se manter uma regular vistoria e melhorias no equipamento, destacando a ausência de banco de capacitores para a regularização de potência reativa que se mostrou em níveis alarmantes.

Palavras-Chave: Geradores. Grupo de Geradores. Eficiência Econômica.

ABSTRACT

This work presents the results of the economic efficiency for the use of the generator set of Santa Casa de Misericórdia Hospital, located in Sobral - Ceará, at peak hours. The electric power concessionaires in Brazil stipulate the most expensive kWh value at peak times, in which, in the state of Ceará, it is from 5:30 p.m. to 8:30 p.m. on weekdays, where is the time interval in which the Greater use of energy in the country causing the mills to increase their level of production, so some large institutions seek to generate their own energy at these times for better economic efficiency. The Santa Casa de Misericórdia Hospital in Sobral has a GTA 311CIIIH generator set and SCANIA DC16 48A engine, with nominal power ratings of 635 kVA, voltage 380 V, frequency 60 Hz and fuel tank with a capacity of 250 liters, which is used In cases of emergency in the absence of energy for the permanence of the institution's activities. Aiming at costs compared to the energy supplied by the concessionaire, which proved to be very advantageous, considering the tariffs stipulated by the supplier, the tariff calculated with the costs of using the generator at this time was cheaper, with an average of 28 to 30% savings , Where the latter showed up to 45% advantage. In that these values can be even more profitable if we maintain a regular inspection and improvements in the equipment, highlighting the absence of capacitor bank for the regulation of reactive power that was shown at alarming levels. Keywords: Generators. Group of Generators. Economic Efficiency.

Keywords: Generators. Group of Generators. Economic Efficiency.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos consumidores	46
Tabela 2 – Consumo de energia elétrica em kWh e R\$ fornecida pela concessionária no horário de ponta	49
Tabela 3 – Análise de Gastos	50

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Motor diesel de quatro tempos.	23
Figura 2 - Controle de Velocidade: (a) Isócrono e (b) Droop.	29
Figura 3 - Esquema simplificado de um regulador mecânico	30
Figura 4 - Esquema básico de um servomecanismo hidráulico.....	31
Figura 5 - Unidade de Controle de Velocidade Isolada.....	33
Figura 6 - Malha de Controle Fechada	33
Figura 7 - Pickup magnético.....	34
Figura 8 - Sistema de controle baseado no regulador eletrônico.....	34
Figura 9 - Carga de Ponta	36
Figura 10 - Consumo Setorial de Eletricidade	38
Figura 11 - Estrutura do Setor Elétrico no Brasil	40
Figura 12 - Estrutura básica de um sistema elétrico de energia	42
Figura 13 - Bandeiras Tarifárias	44
Figura 14 - Valor da Energia elétrica	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNEE	Companhia Nacional de Energia Elétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COELCE	Companhia Elétrica do Ceará
EGR	<i>Exhaust Gas Recirculation</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GCPS	Grupo Coordenador de Planejamento do Sistema
GG	Grupo Gerador
GI	Gerador de Indução
K	Quilo
L	Litro
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PIB	Produto Interno Bruto
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
R\$	Reais
V	Volt
W	Watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	GERADORES DE ENERGIA	17
2.1	Funcionamento dos geradores	17
2.2	Motores a Diesel	18
2.2.1	<i>Componentes essenciais</i>	19
2.2.2	<i>Sistemas Auxiliares</i>	20
2.2.3	<i>Principais Definições</i>	21
2.2.4	<i>Operação</i>	22
2.2.4.1	<i>Motor de quatro tempos</i>	22
2.2.4.2	<i>Utilização do motor de quatro tempos</i>	24
2.2.5	Injeção de Combustível	25
2.2.6	Injeção de Combustível com Gerenciamento Eletrônico	25
2.3	Rotação	26
2.3.1	<i>Controle</i>	28
2.3.2	<i>Tipos de Reguladores</i>	29
2.3.2.1	<i>Reguladores mecânicos</i>	29
2.3.2.2	<i>Reguladores hidráulicos</i>	31
2.3.2.3	<i>Reguladores eletrônicos</i>	31
2.3.3	<i>O Motor Diesel</i>	32
2.3.4	<i>Sistemas de Controle de Velocidade</i>	32
2.3.5	<i>Regulação para Geradores de Indução</i>	34
3	GRUPO GERADOR E CONCESSIONÁRIA	36
3.1	Horário de Ponta	36
3.1.1	<i>Distribuição de Energia</i>	37
3.2	Transmissão de energia elétrica	41
3.3	Tarifas	43
3.3.1	<i>A classificação dos consumidores</i>	46
3.4	Fator de Carga	47

4	ESTUDO DE CASO NO HOSPITAL SANTA CASA DE MISERICÓRDIA	48
4.1	Análise de consumo energético em horário de ponta	49
4.2	Análise de gastos	50
4.2.1	<i>Combustível</i>	50
4.2.2	<i>Carga não alimentada pelo grupo gerador</i>	50
4.3	Análise Comparativa	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERENCIAS	56
	ANEXOS	58
	Anexo A - Diagramas Unifilares	58

1 INTRODUÇÃO

A crise da energia ocorrida em 2001 colaborou para o aparecimento de uma série de dificuldades no atendimento do mercado de energia elétrica e com isso surgiram iniciativas para combater o risco de falta de energia elétrica em estabelecimentos comerciais (HADDAD et al., 2001). Deste modo, a conservação da energia e a geração de modo descentralizado, com unidades pequenas e modulares juntas ao ponto de consumo, tendem a ser estimuladas, visando diminuir o risco de déficits. Neste contexto, deve ganhar atenção particular o aproveitamento de fontes que abasteçam energia em menor escala, tais como a geração de energia elétrica a partir de pequenos motores de combustão interna.

Por sua vez, os Grupos Geradores (GG) são equipamentos eletromecânicos desenhados para produção independente de energia elétrica. Oferecem como elementos principais um motor de combustão interna, freqüentemente um motor diesel, um gerador de energia e uma unidade de direção e controle. São usados em inúmeras circunstâncias: locais que não têm abastecimento elétrico; instalações onde o abastecimento elétrico não é satisfatório para a demanda de energia; prontos-socorros e muitas outras.

Habitualmente o gerador de energia é uma máquina síncrona, a qual é fonte de tensão com freqüência estável desde que a resposta energética do regulador de atividade seja capaz de manter a velocidade do rotor estável para qualquer condição de carga. Apesar disso, proporciona alto custo de instalação e operação devido a aspectos construtivos e custeamento requerido pelo seu sistema de excitação.

Ainda que a análise de fontes de eletricidade tenha se retornado para formas ainda pouco empregadas, as formas mais tradicionais são a hidrelétrica, obtida pela modificação da energia mecânica de quedas d'água, e a térmica, formada por centrais geradoras de energia sustentadas por combustíveis fósseis, vegetais ou fissão nuclear.

As possibilidades para a geração de energia elétrica em menor escala são bastante diferentes daquelas usadas para os amplos sistemas de geração. O uso de fontes que abasteçam energia nessa condição, tais como a geração de energia elétrica a partir dos ventos, de pequenas quedas d'água e de pequenos motores de combustão interna ocasiona, entre diversos aspectos, a discussão do tipo de energia primária, a forma de energia desejada e o tipo de gerador a ser empregado.

Nesse sentido o uso da eletrônica de potência compatível com o uso de máquinas elétricas habituais viabiliza formas atuais e econômicas de uso de baixas quantidades de energia, deste modo com o uso do gerador a indução a diesel, que proporciona como atrativos sua simplicidade e vigor, que proporcionam, entre diversos benefícios, mínimos custos de operação e conservação.

A energia térmica usa a combustão de combustíveis fósseis, vegetais ou fissão nuclear e pode se transformar em energia mecânica por meio de uma série de mecanismos populares. As máquinas a vapor e os motores de combustão interna tiram partido do choque de moléculas gasosas submetidas a altas temperaturas para incentivar êmbolos, pistões e cilindros; as turbinas a gás empregam uma combinação de ar comprimido e combustível para mover suas pás; os motores a reação se fundamentam na emissão violenta de gases.

Os Grupos Geradores (GG) são equipamentos eletromecânicos projetados para produção independente de energia elétrica. Proporcionam como componentes principais um motor de combustão interna, habitualmente um motor diesel (cujo combustível pode ser renovável, como um óleo vegetal ou biodiesel), um gerador de energia, normalmente um alternador (gerador síncrono) e uma unidade de supervisão e controle.

Os grupos geradores são utilizados em várias aplicações: locais que não têm abastecimento elétrico; instalações onde o abastecimento elétrico não é satisfatório para a demanda de energia; indústrias que necessitam escapar das sobretaxas em horários de pico de consumo; sistemas de alta credibilidade onde a energia necessita estar sempre disponível, como em salas de cirurgia; alimentação de elevadores em condomínios; hospitais etc.

Apresentam diversas vantagens, tais como: são sistemas bem compactos, entram em funcionamento em um tempo relativamente curto, são de manutenção rotineira e de simples operação. Os motores de combustão interna apresentam a desvantagem de serem ruidosos, poluidores, inconstantes quanto aos custos dos combustíveis e de precisarem de transporte frequente do combustível.

Diante disso, esse estudo tem por objetivo verificar a utilização do grupo gerador no horário de ponta do hospital Santa Casa de Misericórdia de Sobral- Ceará, visando custos em comparação com a energia fornecida pela concessionária.

As concessionárias de energia elétrica no Brasil estipulam o valor do kWh mais caro no horário de ponta, em que, no estado do Ceará, é de 17:30 as 20:30 nos dias úteis, onde é o intervalo de tempo em que ocorre o maior uso da energia no país fazendo com que as usinas aumentem seu nível de produção, com isso algumas instituições de grande porte procuram gerar sua própria energia nesses horários para uma melhor eficiência econômica.

O hospital Santa Casa de Misericórdia de Sobral possui um grupo gerador modelo GTA 311CIIH e motor modelo SCANIA DC16 48A, com valores nominais de potência 635 kVA, tensão 380 V, frequência 60 Hz e tanque de combustível com capacidade de 250 litros, que é usado em casos de emergência na falta de energia para a permanência das atividades da instituição.

2 GERADORES DE ENERGIA

Esse capítulo apresenta os geradores de energia e suas particularidades.

2.1 Funcionamento dos geradores

São motores térmicos, ou seja, que usam como fonte de energia o calor liberado por reações químicas. Operam pela transformação em energia mecânica da energia calorífica resultante da queima ou da explosão de uma mistura ar-combustível feita no interior de um dos elementos da máquina: o cilindro. Diferem, portanto, de alguns motores térmicos em que a combustão se faz fora do ciclo da máquina motriz, como é o caso da turbina a vapor, em que o vapor de alta pressão se produz numa caldeira que não faz parte da estrutura do motor (VARELLA e SANTOS, 2010).

Os motores de combustão interna fundamentam-se no princípio segundo o qual os gases se desenvolvem quando esquentados. Quando controlada, essa pressão pode ser aproveitada para mobilizar certocomponente da máquina. Tem-se, dessejeito, a modificação da energia calorífica do combustível em energia mecânica. No entanto, a mudança da energia calorífica em trabalho num motor térmico jamais é completa, pois parte dela se perde no contato com outros elementos do motor que se encontra em temperatura baixa. Esses motores podem trabalhar com combustíveis líquidos voláteis tais como gasolina, querosene, álcool, diesel e óleos vegetais, ou com gases tais como butano e propano (VARELLA e SANTOS, 2010).

Conforme estudos termodinâmicos, as modificações que um fluido experimenta para recuar ao seu estado inicial formam um ciclo. Graficamente representados em diagramas cartesianos nomeados de Clapeyron, tendo como variáveis a pressão e o volume, alguns desses ciclos, constituídos em função do comportamento de um gás ideal, compõem o fundamento teórico a partir da qual se projetaram os principais tipos de motores. O aspecto funcional dos ciclos teóricos ideais, constituído pelo físico francês Sadi Carnot, não é decisivo para o comportamento de um tipo exclusivo de motor, mas serve de apoio para diversos deles. Conforme esse ciclo, o alto rendimento da máquina térmica, ininterruptamente em termos ideais, obedece a uma modificação cíclica reversível que suporta uma expansão isotérmica (sem variação de temperatura), uma subsequente expansão adiabática (sem variação de pressão), uma compressão isotérmica e outra compressão adiabática final. A partir

do ciclo ideal descrito por Carnot, derivam-se outros ciclos teóricos para os motores (VARELLA e SANTOS, 2010).

Dependendo do tipo de combustível que empregam, os motores de combustão interna são considerados em motores do ciclo Otto (ignição por centelha) e motores do ciclo Diesel (ignição por compressão). Segundo Varella e Santos (2010, p. 56):

Motores do ciclo Otto ou de explosão são aqueles que absorvem à mistura ar-combustível preparada antes de ser contida no interior dos cilindros. A combustão da mistura é gerada por centelha produzida numa vela de ignição. É o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás, ou metanol. O corpo do motor faz parte de um cilindro em cujo interior se arrasta, em sentido perpendicular, o pistão ou êmbolo. Na parte superior do motor fica a câmara de explosão, na qual se estabelece a vela ou amplificador gerador da centelha que acende a ignição, e duas válvulas, uma de admissão e outra de escape ou descarga.

Motores do ciclo Diesel ou de injeção são aqueles que absorvem ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, aufere o combustível sob pressão elevada àquela em que o ar se depara. A combustão acontece por auto-ignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. Na maioria dos motores do ciclo Diesel, o combustível injetado ao final da compressão do ar é o óleo diesel comercial, apesarde que outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais possam ser aproveitados em motores construídos especificamente para o uso destes combustíveis. O método Diesel não se limita a combustíveis líquidos. Além disso, é aceitável a utilização de gás nos motores conhecidos como de combustível misto ou conversíveis (VARELLA e SANTOS, 2010).

2.2 Motores a Diesel

O motor diesel deve seu nome ao inventor e engenheiro alemão Rudolf Christian Karl Diesel. Diesel dedicou-se ao estudo de um motor de combustão interno que se aproximasse ao máximo do produto teórico proposto por Carnot. Em 1890 arquitetou a idéia que mais tarde implicaria no motor diesel, cuja patente obteve em 1892. Posteriormente publicou uma descrição teórica e prática de seu mecanismo no livro *Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors* (Teoria e Construção de um Motor Térmico Racional). O motor teve êxito imediato, sendo largamente aproveitados em navios, veículos automotores e dirigíveis (HADDAD, MARTINS e MARQUES, 2001).

O motor Diesel é a máquina de combustão interna de maior eficácia. É importante observar que o tecnicamente possível Ciclo Diesel não difere substancialmente do ciclo termodinamicamente ideal. A eficiência atinge a marca de 50% para motores de 2 tempos,

enquanto que para amplos motores de 4 tempos já são encontrados valores de 48%. Aindapequenos motores Dieséis, 4 tempos, com injeção direta e “turbo” podem obtereficácias de quase 40%. Além do próprio óleo diesel, pode-se usar qualquer tipo apropriado de óleo combustível, como o biodiesel, que pode ser feito de várias matérias-primas simplesmente encontráveis em todas as regiões do país como soja, algodão e óleo de cozinha, mesmo o reciclado. O biodiesel é um éster obtido a partir de um óleo vegetal por uma transformação conhecida como transesterificação. Trata-se da reação do óleo vegetal com álcool metílico ou etílico (HADDAD, MARTINS e MARQUES, 2001).

Os motores a diesel diferem de diferentesmodos dos motores a ignição por vela. As afinidades de compressão são mais altas (16 até 22:1 contra 6 até 8:1), a carga que ingressa nas câmaras de combustão durante o ciclo de admissão consiste só de ar - sem combustível misturado. Os injetores recebem da bomba o combustível a baixa pressão, o qual é injetado e pulverizado dentro das câmaras de combustão, no tempo devido e em quantidades semelhantes para todos os cilindros - pronto para ser queimado. A ignição do combustível pulverizado é provocada pela alta temperatura do ar (500 a 600°C dentro do cilindro) conseguida durante o ciclo de compressão (HADDAD, MARTINS e MARQUES, 2001).

O motor diesel tem algumas vantagens sobre os motores de ignição (gasolina e álcool) como: maior vida útil; maior rendimento, com redução no consumo de combustível (devida à taxa de compressão mais elevada, que resulta em maior conversão de energia calorífica em mecânica); menores custos de manutenção (HADDAD, MARTINS e MARQUES, 2001).

2.2.1 Componentes essenciais

O motor diesel é composto de um mecanismo capaz de transformar os movimentos alternativos dos pistões em movimento rotativo da árvore de manivelas, através da qual se transmite energia mecânica aos equipamentos acionados, como, por exemplo, um gerador de corrente alternada. Um motor diesel compõe-se dos seguintes componentes principais (DOMSCHKE e GARCIA, 1968):

a) - Bloco de cilindros

Simula o motor propriamente dito. É onde se alojam os conjuntos de cilindros, compostos pelos pistões com anéis de segmento, camisas, bielas, árvores de manivelas (virabrequim) e de comando de válvulas, com seus mancais e buchas. Na grande maioria dos motores é construído em ferro fundido e usinado para receber a montagem dos componentes;

alguns motores de pequeno porte são construídos com blocos de liga de alumínio. Define-se a seguir alguns termos referentes a peças componentes do bloco:

O cilindro é a parte fixa de formato cilíndrico, usinada no bloco ou em camisas removíveis, onde o pistão se desloca. O pistão recebe diretamente o impulso da combustão e o transmite à biela. A biela é a peça móvel que transmite o movimento alternativo dos pistões ao virabrequim. O virabrequim transforma o movimento alternativo nos pistões em movimento de rotação contínua, que é transmitido ao volante. O volante tem a função de armazenar energia durante os tempos de trabalho, para “ajudar” o motor a vencer a inércia nos tempos não motores (admissão, compressão e escape). Quanto maior for o número de cilindros do motor, menor a influência e contribuição do volante.

b) - Cabeçote

É a peça superior do motor. Funciona, essencialmente, como um “tampão” para os cilindros e acomoda os mecanismos das válvulas de admissão e escape, bicos injetores e canais de circulação do líquido de arrefecimento.

Dependendo do tipo de construção do motor, os cabeçotes podem ser individuais, quando existe um para cada cilindro, ou múltiplos, quando um mesmo cabeçote cobre mais de um cilindro. São fabricados em alumínio, pelo alumínio apresentar vantagens como leveza e elevado coeficiente de transmissão de calor.

c) - Cárter

É o reservatório do óleo lubrificante utilizado pelo sistema de lubrificação.

d) - Seção dianteira

É a parte dianteira do grupo onde se alojam as engrenagens de distribuição de movimentos para os acessórios externos, tais como bomba d’água, ventilador, alternador de carga das baterias, e para sincronismo da bomba de combustível e da árvore de comando de válvulas.

As válvulas servem para controlar o fluxo da mistura ar/combustível ou do ar para dentro e para fora do cilindro.

e) - Seção traseira.

Seção onde se encontra o volante e respectiva carcaça, para montagem do equipamento acionado.

2.2.2 Sistemas Auxiliares

O motor é constituído também por uma série de sistemas auxiliares (PEREIRA, POMILIO e FERREIRA, 2002):

a) - Sistema de alimentação

É o responsável pela formação da mistura ar/combustível que alimenta os cilindros, sendo composto pelo tanque de combustível, canalizações, bomba injetora, filtros e bicos injetores.

b) - Sistema de arrefecimento

Tem como fluido de trabalho a água. Em raríssimos casos, encontram-se motores diesel refrigerados a ar.

c) - Sistema de lubrificação

Consiste na inserção de uma película de óleo lubrificante através da bomba de óleo entre as partes móveis em contato para reduzir o atrito.

d) - Sistema de exaustão ou escapamento de gases

A cor e densidade do escapamento são um indicador seguro das condições do motor e de seu rendimento. Excesso de fumaça no escapamento pode indicar o uso de combustível inadequado, filtro de ar sujo ou entupido, excesso de combustível nos injetores, ou ainda, más condições mecânicas do motor, seja na área de válvulas, seja na área dos cilindros. Se o motor expelir excesso de fumaça, uma ação corretiva deve ser tomada.

O fundamental poluente dos motores diesel é o dióxido de nitrogênio (NO_x). Não existe ainda um limite oficial para esse poluente no Brasil, mas nos países tecnologicamente mais avançados, é o que causa maiores dificuldades para o atendimento dos limites estabelecidos em lei (DOMSCHKE e GARCIA, 1968). Para instalações estacionárias a melhor maneira de reduzir o NO_x é o tratamento catalítico seletivo, aplicado aos gases de escapamento, após o motor. Envolve o uso de catalisadores, ditos seletivos, (sigla SCR do inglês “*Selective Catalitic Reduction*”) que promovem a reação de NH_3 com NO_x .

Somando-se aos anteriores tem-se também o sistema de partida do motor. Todos os cuidados de manutenção preventiva se concentram sobre os sistemas do motor. O mecanismo principal só recebe manutenção direta por ocasião das revisões gerais de recondicionamento ou reforma, quando é totalmente desmontado, ou se, eventualmente, necessitar de intervenção para manutenção corretiva, em decorrência de defeito ou acidente.

2.2.3 Principais Definições

- Ponto morto inferior (PMI): é o ponto menor que o pistão atinge no seu curso descendente.
- Ponto morto superior (PMS): é o ponto maior que o pistão atinge no seu curso ascendente.
- Cilindrada: é o volume deslocado pelo êmbolo (pistão) do PMS até o PMI, multiplicado pelo número de cilindros do motor. Corresponde ao volume máximo de ar admissível no cilindro. Calcula-se pela fórmula: V_h , em que r = raio interno do cilindro; h = curso do pistão do PMS até o PMI e n = n° de cilindros do motor.
- Taxa de compressão: denominada de razão de compressão, é a relação entre o volume total do cilindro, ao iniciar-se a compressão, e o volume no fim da compressão, e constitui uma relação significativa para os diversos ciclos dos motores de combustão interna.

2.2.4 Operação

Os ciclos de operação podem ser de quatro tempos - um ciclo de trabalho estende-se por duas rotações da árvore de manivelas, ou seja, quatro cursos do pistão - ou de dois tempos - o ciclo motor abrange apenas uma rotação da árvore de manivelas, ou seja, dois cursos do pistão (MARTINS e GARCIA, 2010).

Os motores diesel a dois tempos são utilizados em instalações diesel-elétricas de grande porte, enquanto que os do tipo a quatro tempos são utilizados em instalações para potências pequenas, objeto deste estudo, e portanto, aos quais será dada maior ênfase (MARTINS e GARCIA, 2010).

2.2.4.1 Motor de quatro tempos

A Fig. 1 (FARRET, 1999) demonstra como opera um motor diesel a quatro tempos. No primeiro tempo, ou tempo de admissão, o pistão está em seu movimento descendente e as válvulas de escape estão fechadas. A descida do pistão permite a entrada de ar no cilindro até preencher completamente o cilindro (giro de 180° na manivela). Nos motores turboalimentados (turbo-compressão), o ar em vez de ser sugado pelo pistão é fornecido aos cilindros sob pressão, conseguindo-se desta forma, uma maior quantidade de ar para a mesma capacidade do cilindro.

No segundo tempo, ocorre a compressão. No final do tempo de admissão, as válvulas de admissão se fecham e os pistões iniciam seu movimento ascendente. Como as válvulas de escape permanecem fechadas, o ar admitido no cilindro começa a ser comprimido pelo pistão que sobe. No final do tempo de compressão, o ar nas câmaras é obrigado a ocupar um espaço

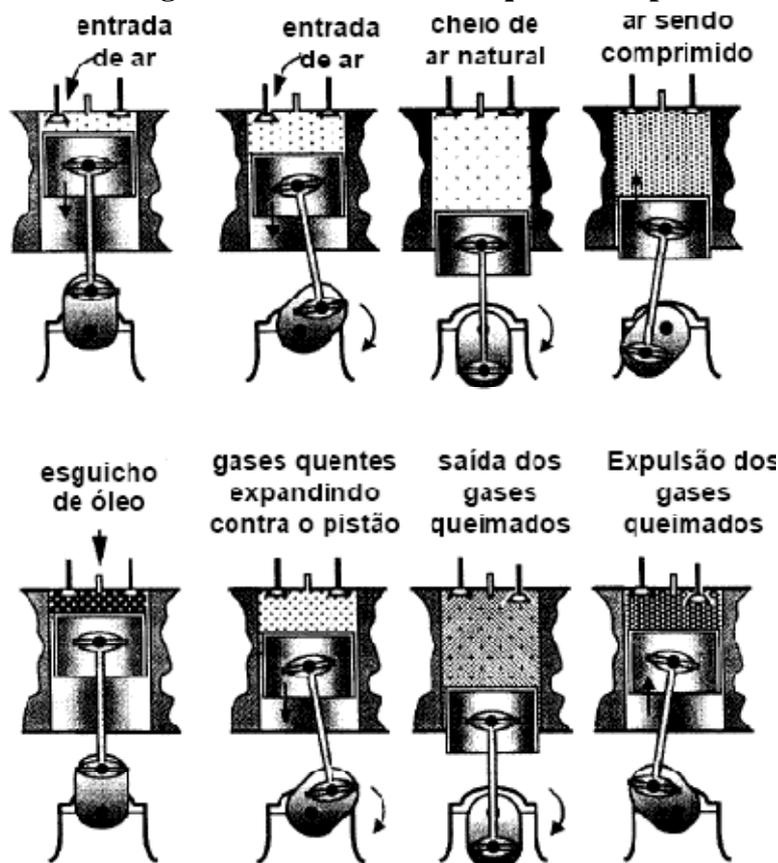
bem menor (dependendo do motor, de 1/14 a 1/16 do volume original) e conseqüentemente é aquecido até uns 500 ou 600°C, temperatura suficiente para provocar a auto-ignição do combustível pulverizado, que é injetado na câmara de combustão, no fim do ciclo de compressão e início do ciclo de combustão (FARRET, 1999).

No terceiro tempo, ou de tempo de combustão, a queima do combustível com ar provoca enorme volume de gases, elevando a pressão dentro das câmaras, pressão esta que força o pistão para baixo, tendo assim início o tempo de combustão, expansão ou tempo motor. Durante este tempo, tanto as válvulas de admissão quanto as válvulas de escape permanecem fechadas. A injeção do combustível ocorre de uma forma controlada, provocando uma combustão controlada (FARRET, 1999).

No quarto tempo, ou tempo de escape, quando o pistão chega quase ao fim de seu curso descendente, no fim do tempo motor, as válvulas de escape se abrem, libertando a maior parte dos gases queimados. O pistão em movimento ascendente empurra os gases remanescentes para a atmosfera, tendo fim o tempo de escape quando o pistão chega novamente ao seu PMS (FARRET, 1999).

Durante os quatro tempos – ou duas rotações – transmitiu-se trabalho ao pistão só uma vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e escapamento funcionem corretamente, abrindo e fechando as passagens nos momentos exatos, a árvore de comando de válvulas (ou eixo de cames) gira a meia rotação do motor, completando uma volta a cada ciclo de quatro tempos. O bom funcionamento do motor depende basicamente de dois fatores, a saber: 1) Boa compressão para assegurar queima rápida e total do combustível e 2) uma dosagem correta de combustível nos cilindros no momento certo (FARRET, 1999).

Figura 1 - Motor diesel de quatro tempos.



Fonte: Farret (1999)

2.2.4.2 Utilização do motor de quatro tempos

Os modelos a quatro tempos são construídos desde pequenas potências até modelos com 4.000 cv. Seu baixo consumo de combustível faz com que sejam empregados em aplicações em que a utilização diária é elevada (DOMSCHKE e NEGRI, 2001). O uso de modelos de alta rotação é predominante, pois permite uma importante redução no peso e no custo para uma determinada potência. Em termos da aplicação visada por esta tese, a rotação elevada aproxima-se mais do valor adequado para geração de energia elétrica.

Em instalações modulares de geração, onde unidades são adicionadas em função do crescimento da demanda, a curva de carga não apresenta decréscimo sensível da eficiência, já que a curva de consumo específico (litros/kWh) é praticamente plana acima de 25 % (DOMSCHKE e NEGRI, 2001). Em instalações isoladas deve-se evitar que o motor opere

com carga abaixo de 50 % da nominal por longos períodos para prevenir baixo rendimento e combustão incompleta (poluição) (CLÁUDIO, 2007).

2.2.5 Injeção de Combustível

A injeção do combustível diesel é controlada por uma bomba de pistões responsável pela pressão e distribuição do combustível para cada cilindro nos momentos corretos. Pode-se trabalhar com dois sistemas de injeção diferentes: a bomba em linha e a bomba rotativa. Ambas são construídas para o mesmo fim, ou seja, dosar a quantidade de combustível, ajustando-o à carga, de acordo com as ordens de um regulador (PEREIRA, POMILIO e FERREIRA, 2002).

Na maioria dos motores diesel utiliza-se uma bomba em linha dotada de um pistão para cada cilindro e acionada por uma árvore de cames que impulsiona o combustível quando o êmbolo motor (pistão) atinge o ponto de início de injeção, no final do tempo de compressão. Alguns motores utilizam bombas individuais para cada cilindro e há outros que utilizam uma bomba de pressão e vazão variáveis, fazendo a injeção diretamente pelo bico injetor acionado pela árvore de comando de válvulas. Dividindo a bomba em linha em duas partes, tem-se na parte inferior o óleo lubrificante e na parte superior o óleo diesel, que atua sobre os elementos de bombeamento. O óleo diesel é o encarregado de lubrificar as peças de bombeamento (PEREIRA, POMILIO e FERREIRA, 2002).

A bomba rotativa é constituída de um tambor e um eixo com furos, que distribuem o combustível para os cilindros num processo semelhante ao do distribuidor de corrente para as velas utilizadas nos motores de automóveis. Na bomba rotativa a lubrificação não é feita com óleo lubrificante, e sim pelo próprio óleo diesel que também lubrifica suas peças rodantes. O óleo percorre um caminho dentro da bomba que propicia a combustão do motor e a lubrificação simultaneamente (PEREIRA, POMILIO e FERREIRA, 2002).

Para que funcionem as bombas injetoras, rotativas ou em linha, são instaladas no motor sincronizadas com os movimentos da árvore de manivelas.

2.2.6 Injeção de Combustível com Gerenciamento Eletrônico

O que aconteceu com os carros de passeio no início da década passada (anos 90) com a injeção eletrônica está se repetindo com os motores diesel. Nos carros praticamente desapareceu o carburador, e a tendência agora é reduzir significativamente o uso da bomba

injetora convencional. O novo motor com gerenciamento eletrônico satisfaz os parâmetros atuais de emissão de poluentes. Consiste da substituição da bomba injetora por unidades injetoras independentes, gerenciadas por comandos eletrônicos (PEREIRA, POMILIO e FERREIRA, 2002).

Um desses comandos tem a função de reconhecer parâmetros e funções de proteção, como verificar o engrenamento na hora da partida ou limitar a velocidade máxima. O outro é instalado no motor, contendo os dados específicos daquele veículo. Entre outras funções, promove a regulação entre as unidades injetoras. Esses comandos trabalham a partir de informações enviadas por sensores diversos: de pressão e de temperatura do ar de sobrealimentação; de pressão atmosférica local; de temperatura de combustível; de posição do acelerador; de temperatura do líquido de arrefecimento, e de rotação do motor e posição do pistão (PEREIRA, POMILIO e FERREIRA, 2002).

Assim, o sistema decide eletronicamente, a cada instante, qual o tempo necessário de injeção e a quantidade exata de combustível para cada um dos cilindros, obtendo o máximo de desempenho com o mínimo de consumo e emissão de poluentes. Permite, ainda, a ativação de funções de proteção e o uso do sistema de diagnóstico eletrônico. Uma grande vantagem dos motores eletrônicos sobre os convencionais é o maior torque com curva de torque plana (PEREIRA, POMILIO e FERREIRA, 2002).

2.3 Rotação

Tem poucos anos que a regulação de velocidade de motores de combustão interna tem sido colocada em uma base mais científica pela aplicação da teoria de controle, mas na prática há ainda uma carência de modelos para algumas das aplicações mais complexas. O problema aumenta porque um motor está longe de ser um dispositivo linear. Apresenta muitos atrasos, não-linearidades e limitações em suas características (CARVALHO, 2000).

Um regulador é um sistema ou dispositivo empregado para manter alguma variável de interesse (por exemplo, a velocidade do motor) constante. Um sistema de regulação freqüentemente utiliza-se de um servomecanismo que fornece a resposta e a potência necessárias para se obter o desempenho desejado da regulação. Este é o caso dos mais modernos reguladores (governadores) de rotação de motor (CARVALHO, 2000).

Um regulador de rotação é necessário por duas razões básicas (CARVALHO, 2000):

(a) proporciona controle de velocidade preciso;

(b) protege o motor contra condições perigosas de operação.

Um pequeno motor, tal como um motor de carro, não tem, e nem necessita, de um regulador. O motor está sob o controle direto do motorista, que estabelece e controla as condições de operação desejadas. A velocidade do motor é auto-regulada através da ação de estrangulamento do carburador ou do sistema de injeção eletrônica (CARVALHO, 2000).

O combustível e o ar supridos para um motor diesel aumentam com a velocidade e assim o motor tende muito facilmente a girar sem parar e em circunstâncias extremas se auto destruirá. Aplicações empregando grandes motores diesel normalmente requerem grande precisão no controle da velocidade do motor, carga, etc. junto com uma proteção interna contra condições de operação adversas que não podem ser controladas diretamente pelo usuário (CARVALHO, 2000).

Em pequenos motores diesel, os dispositivos empregados são simples reguladores mecânicos e/ou hidráulicos, que podem atuar em toda a faixa de velocidade ou serem dispositivos do tipo máximo-mínimo. Um regulador do tipo máximo-mínimo é inoperante sobre a faixa normal de velocidade e somente entra em operação quando a solicitação de velocidade é muito alta ou muito baixa. Por exemplo, a taxa de injeção de combustível do motor de um caminhão, com regulador desse tipo, estará sob controle direto do motorista até o momento que este tente exceder o limite superior de velocidade permitido ou remova seu pé do acelerador quando parado. Nesses casos o regulador limita a velocidade no máximo ou mantém a velocidade de marcha-lenta, como apropriado (MARTINS e GARCIA, 2010).

Um sistema de regulação apropriadamente projetado proporcionará todas as funções necessárias e o projeto do motor incluirá um limite de sobrevelocidade independente para resguardar o motor se o regulador de rotação falhar (MARTINS e GARCIA, 2010).

A rotação de trabalho do motor diesel depende da quantidade de combustível injetada e da carga aplicada à árvore de manivelas (potência fornecida à máquina acionada). Também é necessário limitar a rotação máxima de trabalho do motor, em função da velocidade média do pistão, que não deve induzir esforços que superem os limites de resistência dos materiais, bem como da velocidade de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escapamento, que a partir de determinados valores de rotação do motor, começam a produzir efeitos indesejáveis. Nas altas velocidades, começa haver dificuldade no enchimento dos cilindros, devido ao aumento das perdas de carga e a inércia da massa de ar, fazendo cair o rendimento volumétrico (MARTINS e GARCIA, 2010).

Como a quantidade de combustível injetada é dosada pela bomba injetora, por meio da variação de deflúvio controlada pelo mecanismo de aceleração, limita-se a quantidade máxima de combustível que pode ser injetada. Dependendo do tipo de motor, essa limitação é feita por um batente do acelerador, que não permite acelerar o motor além daquele ponto. O mecanismo de aceleração, por si só, não é capaz de controlar a rotação do motor quando esta tende a cair com o aumento da carga ou a aumentar com a redução da mesma carga. É necessário então outro dispositivo que assegure controle da dosagem de combustível em função das solicitações da carga (MARTINS e GARCIA, 2010).

Na maioria dos motores, este dispositivo é constituído por um conjunto de contrapesos girantes que por ação da força centrífuga atua no mecanismo de aceleração de modo a permitir o suprimento de combustível sem variações bruscas, respondendo de forma suave às solicitações da carga. Conhecidos como reguladores ou governadores de rotações, são utilizados em todos os motores diesel e, dependendo da aplicação, têm características distintas. No caso específico dos motores para grupos diesel-geradores, a regulação da velocidade é um item particularmente crítico, uma vez que a frequência da tensão gerada no alternador, supondo um gerador síncrono, necessita ser mantida constante, ou seja, o motor diesel deve operar em rotação constante, independente das solicitações da carga. Isto significa que a cada aparelho elétrico que se liga ou desliga, o regulador deve corrigir a quantidade de combustível injetada, sem permitir variações de rotação, o que é impossível dado o tempo necessário para que as correções se efetivem (OGATA, 2000).

2.3.1 Controle

Um controle de velocidade isócrona mantém o motor em uma velocidade constante qualquer que seja a carga aplicada. A máquina primária irá girar na mesma velocidade tanto em vazio como à plena carga. A Fig 2a ilustra a operação isócrona através de uma curva carga x velocidade (MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE, 2013).

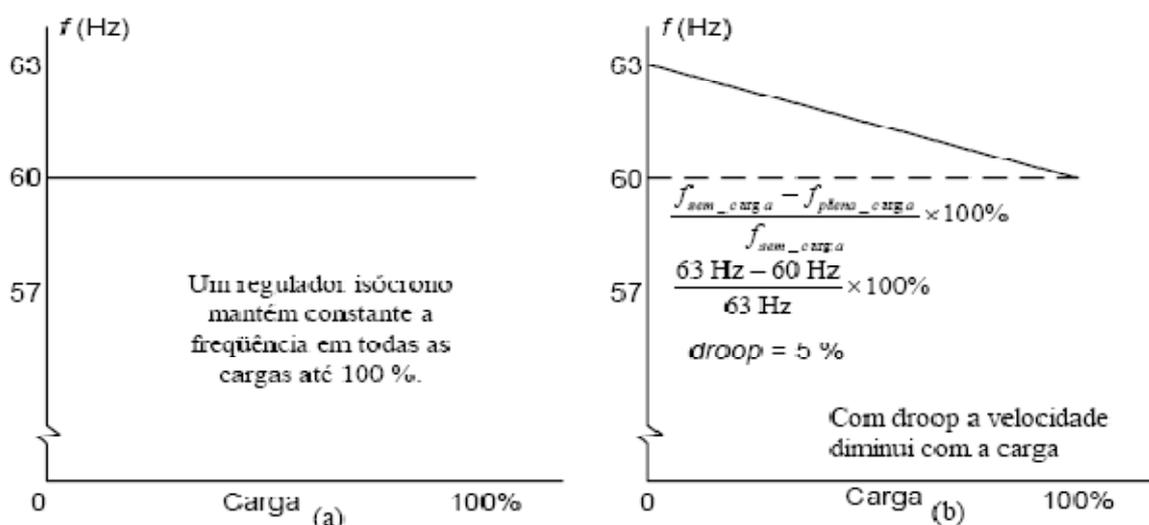
Por mais rápidos que possam ser, os reguladores isócronos não podem corrigir instantaneamente as variações de rotação do motor devido à inércia natural do sistema. É necessário, primeiro, constatar que houve uma variação de rotação para, em seguida, efetuar a correção. O tempo de resposta é ajustado até um limite mínimo, a partir do qual o funcionamento do motor se torna instável, por excesso de sensibilidade. Além da sensibilidade é necessário ajustar o valor máximo que se pode permitir de queda ou de aumento de velocidade (que nem sempre pode ser zero). Esta variação é conhecida como

“droop” (regulação de velocidade) e é necessária especialmente para grupos geradores que operam em paralelo (mais de um grupo Diesel-gerador alimentando a mesma carga) (MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE, 2013).

Já no Controle de Velocidade “Droop” a velocidade diminui quando a carga aumenta. O droop é usualmente representado como um percentual da velocidade nominal. Como ilustração, considere-se um sistema gerador de 60 Hz em paralelo com um barramento infinito (sistema elétrico considerado infinito). Se, sem carga, a máquina primária está girando na velocidade nominal e, em plena carga, a velocidade da máquina é 5% abaixo da nominal, o sistema é dito ter 5% de droop (Fig. 2b)(MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE, 2013).

Droop pode ser usado por muitas razões diferentes: para permitir partilha de carga ou para adicionar estabilidade em sistemas isolados em que a velocidade constante não é crítica. No paralelismo, o droop é usado em reguladores em que a interconexão de todos os controladores não é possível, como no paralelismo com um barramento infinito (MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE, 2013).

Figura 2 - Controle de Velocidade: (a) Isócrono e (b) Droop.



Fonte: MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE (2013)

2.3.2 Tipos de Reguladores

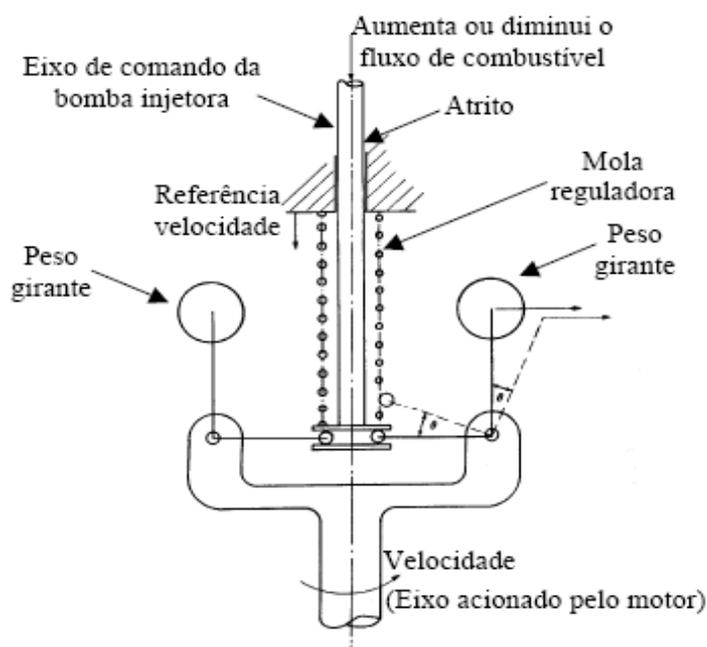
Para regular a rotação de um motor diesel, existem três tipos básicos de reguladores (governadores) isócronos, que são:

2.3.2.1 Reguladores mecânicos

São dispositivos constituídos por um sistema de contrapesos, molas e articulações, como mostrado no esquema da Fig. 3. Atuam no mecanismo de aceleração aumentando ou diminuindo o deflúvio de combustível sempre que a rotação se afasta do valor regulado (em geral, 1800 rpm para geração com máquina síncrona). Qualquer mudança na velocidade de rotação altera a posição de equilíbrio do mecanismo. O movimento é transmitido por intermédio de um sistema articulado para a válvula de combustível do motor, desta maneira efetivando o controle da velocidade de rotação (MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE, 2013).

A força para operar a válvula de combustível é suprida diretamente pelos contrapesos. Portanto, os contrapesos devem ser bastante grandes, o que, devido a sua inércia, limita a resposta do regulador. Perdas como o atrito limitam a sua precisão. Em consequência, os reguladores mecânicos apresentam tempo de resposta considerado longo e permitem oscilações em torno do valor regulado. Se a carga for aplicada bruscamente, permitem quedas acentuadas da rotação e, na recuperação, permitem ultrapassar o valor regulado para, em seguida, efetuar nova correção de menor grau. São mais baratos e utilizados em grupos geradores que alimentam equipamentos pouco sensíveis às variações de frequência. Têm precisão de regulação em torno de 3%, podendo chegar até 1,5% (MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE, 2013).

Figura 3 - Esquema simplificado de um regulador mecânico



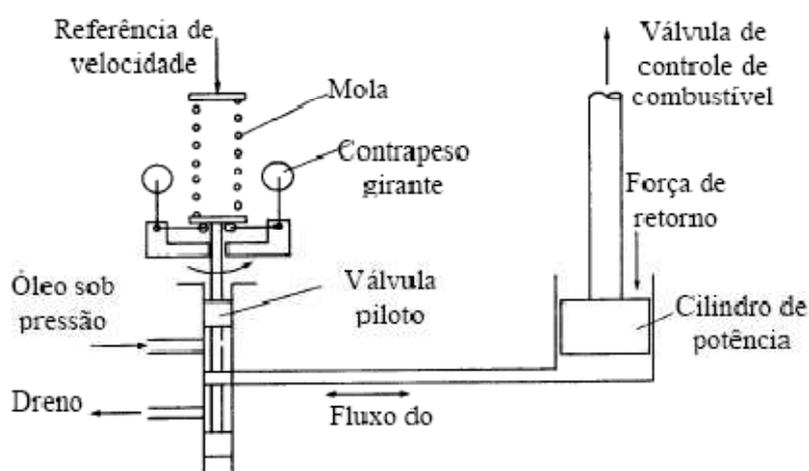
Fonte: Marques, Sambaqui e Duarte (2013)

2.3.2.2 Reguladores hidráulicos

De maior precisão que os reguladores mecânicos, podem ser acionados pelo motor Diesel independentemente da bomba injetora e atuam sobre a alavanca de aceleração da bomba, exercendo a função que seria do pedal do acelerador do veículo. São constituídos por um sistema de contrapesos girantes, que fazem o papel de sensor de rotação e uma pequena bomba hidráulica que atua como um amplificador, produzindo a pressão de óleo necessária ao acionamento, conforme ilustrado no esquema da Fig. 4 (MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE, 2013).

O regulador é ajustado de forma tal que, na velocidade nominal, inexistam ação do óleo sob pressão no cilindro de potência. Quando a velocidade real cai abaixo do valor desejado em virtude de algum distúrbio, o decréscimo na força centrífuga atua sobre o regulador e acarreta o movimento da válvula para baixo, fornecendo mais combustível ao motor e, como consequência, produzindo um aumento na velocidade do motor até que o valor desejado seja obtido. Por outro lado, quando a velocidade do motor aumenta acima do valor desejado, o aumento na força centrífuga faz com que a válvula se desloque para cima. Isto reduz o suprimento de combustível e a velocidade do motor é reduzida até ser alcançado o valor nominal.

Figura 4 - Esquema básico de um servomecanismo hidráulico.



Fonte: Marques, Sambaqui e Duarte (2013)

2.3.2.3 Reguladores eletrônicos

Atualmente estão sendo utilizados em maior escala devido ao seu custo decrescente nos últimos anos e características como precisão, versatilidade e altas taxas de resposta. Oferecem a melhor precisão de regulação que se pode conseguir e são constituídos por três elementos básicos: 1) um dispositivo sensor de velocidade 2) um regulador eletrônico propriamente dito (ou unidade de controle), que gera uma velocidade de referência, compara-a com a velocidade real e fornece como saída um sinal proporcional ao erro de velocidade, e 3) um atuador para posicionar o mecanismo de dosagem de combustível do motor primário. Adicionalmente, todos os elementos necessitam de uma fonte de potência elétrica e também usualmente devem dispor de filtros para remover ruídos do sinal de velocidade. A construção pode variar conforme o fabricante, mas todos funcionam segundo os mesmos princípios. Há atuadores que trabalham ligados à haste de aceleração da bomba injetora, como nos reguladores hidráulicos e outros que são instalados no interior da bomba e atuam diretamente sobre o fluxo de combustível (MARQUES, SAMBAQUI e DUARTE, 2013).

2.3.3 O Motor Diesel

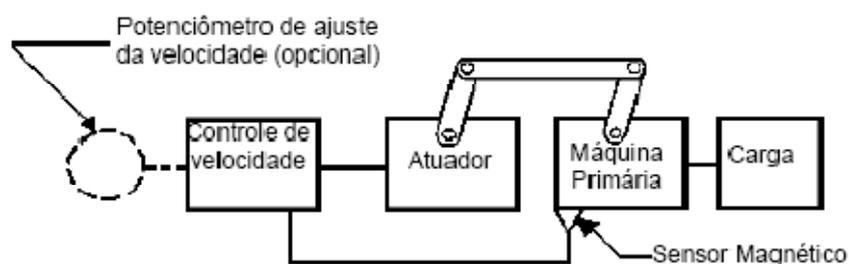
O principal objetivo do recente desenvolvimento do controle eletrônico do motor diesel é proporcionar o conjugado requerido com consumo mínimo de combustível e atendendo as restrições impostas pelas leis de emissão de gases e de ruídos. Isso requer uma “ótima” coordenação entre a injeção e o sistema de EGR (Recirculação de gases da exaustão) (GUZZELLA e AMSTUTZ, 1998).

Felizmente, um modelo matemático realmente detalhado não é necessário para o entendimento básico da ação do regulador, e a estabilidade do sistema pode ser assegurada usando um modelo de “pequenos sinais” tal como o que será descrito no próximo capítulo. Modelos complexos podem ser necessários para grandes análises transitórias (tais como mudanças de velocidade devido a grandes mudanças de carga) em que características da turbo-alimentação predominam e muitas outras não-linearidades têm efeito significativo (GUZZELLA e AMSTUTZ, 1998).

2.3.4 Sistemas de Controle de Velocidade

A Fig. 5 mostra os componentes básicos de um regulador eletrônico de velocidade.

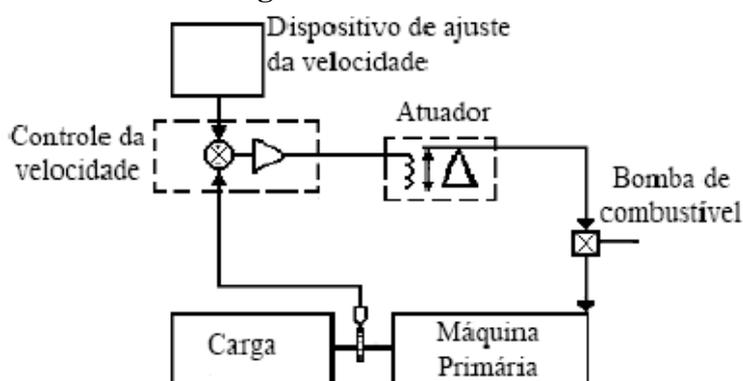
Figura 5 - Unidade de Controle de Velocidade Isolada



Fonte: Carvalho (2000)

É importante observar que os componentes do regulador eletrônico compõem um sistema em malha fechada como mostrado na Fig 6.

Figura 6 - Malha de Controle Fechada

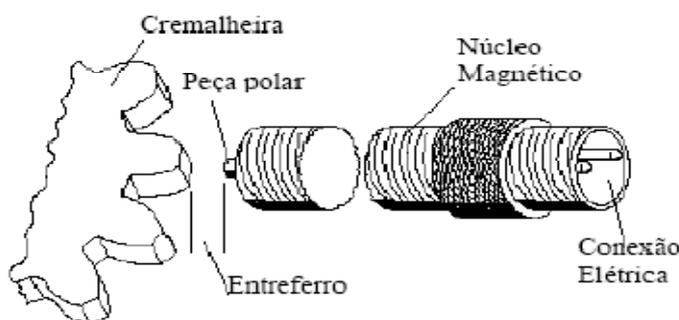


Fonte: Carvalho (2000)

A velocidade da máquina primária pode ser obtida por um *pickup* magnético. O sensor transdutor de velocidade é normalmente uma bobina enrolada sobre um núcleo ferromagnético e instalado na carcaça do volante, com a proximidade adequada dos dentes da cremalheira (Fig. 7). Com o motor em funcionamento, cada dente da cremalheira, ao passar próximo ao sensor magnético, induz um pulso de corrente elétrica que é captado pelo detector. Outro método é medir a frequência de um gerador (o primário ou um auxiliar) acionado pelo motor primário (CARVALHO, 2000).

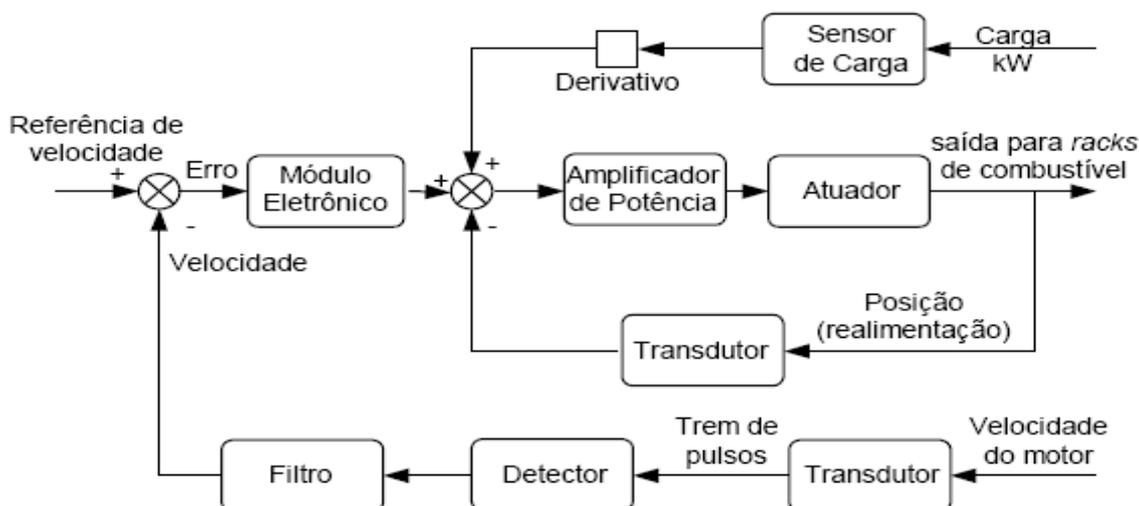
O sinal de velocidade obtido é então convertido no circuito detector para um nível de tensão proporcional à velocidade do motor. Essa tensão é comparada com a velocidade (tensão) de referência. Se uma diferença existe, a saída do amplificador (Fig. 8) comanda um movimento do atuador que minimize o erro. A compensação é tipicamente proporcional + integral (PI) ou atraso/avanço, como no regulador mecânico. Normalmente a ação derivativa não é incluída no caminho direto, pois poderia amplificar o conteúdo de alta frequência (CARVALHO, 2000).

Figura 7 - Pickup magnético.



Fonte: Carvalho (2000)

Figura 8 - Sistema de controle baseado no regulador eletrônico



Fonte: Carvalho (2000)

2.3.5 Regulação para Geradores de Indução.

Os geradores de indução não são auto-excitados. O campo magnético do rotor é criado (induzido) quando o rotor “escorrega” em relação à velocidade síncrona. Se a máquina

de indução gira abaixo da velocidade síncrona atuará como um motor de indução; se gira mais rápido que a velocidade síncrona, atuará como um gerador de indução (GI). Quanto mais negativo for o escorregamento maior será a energia gerada. Tipicamente, o escorregamento do GI 4 pólos está numa faixa entre 10 a 50 rotações por minuto (rpm) (CLÁUDIO, 2007).

Para o sistema baseado no GI, a velocidade do rotor tem que de ser ajustada para atender às necessidades de potência do GI, ao contrário dos sistemas com gerador síncrono em que a velocidade do rotor tem de ser mantida constante. Conseqüentemente, o valor de referência para o regulador de velocidade é variável. A referência de velocidade é variável e a velocidade do rotor depende da potência da carga (CLÁUDIO, 2007).

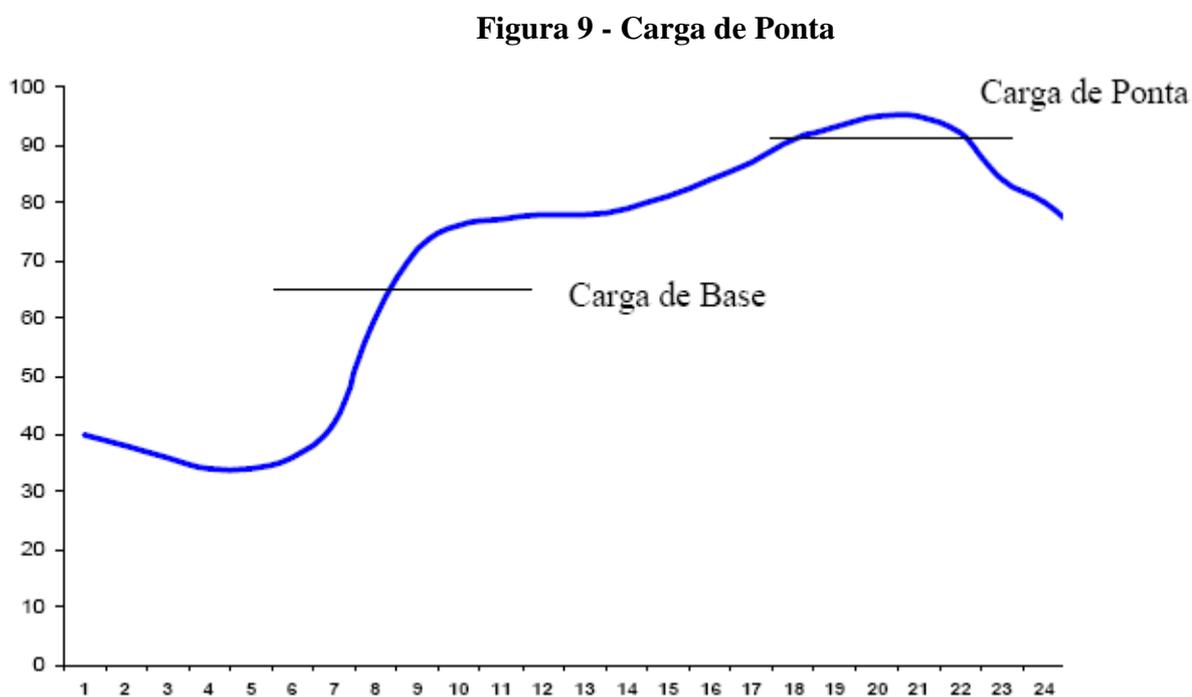
3GRUPO GERADOR E CONCESSIONÁRIA

Este capítulo apresenta uma análise do grupo gerador e a concessionária, será analisado o horário de Ponta e a questão das tarifas.

3.1 Horário de Ponta

Ao decorrer do dia, o consumo de energia se torna variável, alcançando valores mais caros, normalmente o horário de ponta corresponde ao intervalo das 17 às 22h. Segundo Claudio (2007) é por conta do perfil da carga da concessionária de energia que são escolhidas essas três horas, em dias úteis, caracterizando-se assim o horário de ponta.

A figura 9 a seguir apresenta uma ilustração da carga de ponta.



Fonte: Cláudio (2007)

Por conta do horário de ponta a concessionária deve ter capacidade de cumprir essa demanda, demanda essa que permanecerá ociosa nos demais horários fora da hora de “pico”. A carga de base de distribuição energética corresponde aos horários fora do horário de ponta, ou seja, trata-se de uma carga média (CLAÚDIO, 2007).

Diante disso, para se alcançar um equilíbrio dentro do sistema de geração, emprega-se durante o dia, a energia gerada pelas usinas hidrelétricas, sustentando o suprimento da carga de base. Entretanto, na medida em que o consumo aumenta, adiciona-se ao sistema a energia gerada pelas usinas termelétricas que possui um custo maior e conseqüentemente, nesses horários paga-se mais pelo consumo (CLAÚDIO, 2007).

Ponderando que a energia produzida para suprir as demandas do horário de ponta tem custo maior, resultante do consumo de combustível e do investimento em instalações, torna-se justificável buscar mover a concentração de consumo deste para outros horários, o que resultaria em melhor aproveitamento da capacidade instalada ou ainda empregar o uso de geradores de energia, em locais que não é possível efetuar o manejo do consumo.

3.1.1 Distribuição de Energia

Um dos campos de estudos mais antigos dentro da engenharia elétrica é o estudo dos sistemas de energia que abrange as questões do fornecimento de energia elétrica, tais como, geração, transmissão, distribuição e comercialização. Do ponto de vista de suas características físicas, as fontes e formas de energia são bastante diversas, podem se apresentar com propriedades físicas que a colocam em um universo bem particular, e específico, como a eletricidade.

Em sua classificação, existem formas fundamentais de energia: a força gravitacional, a força elétrica e a força nuclear. Elas são as principais responsáveis por quase todo trabalho humano possível, seja ele artificial ou natural. Conseqüentemente, estas formas, são responsáveis por quase todos os fenômenos físicos conhecidos.

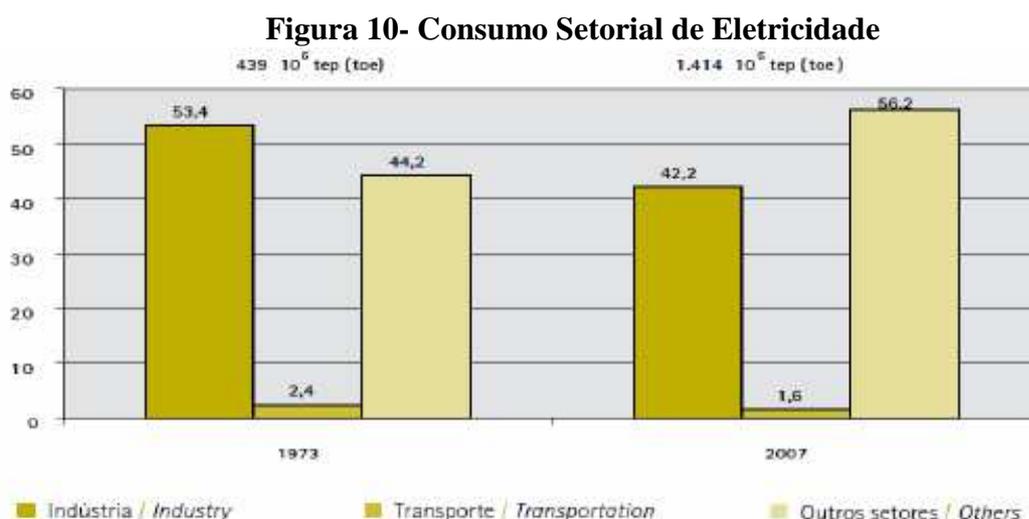
O sistema de transmissão de energia elétrica busca fazer com que a potência gerada chegue aos consumidores finais, bem como prover a interligação entre áreas de maneira eficiente. Por sua vez, o planejamento do sistema de transmissão iniciar-se-ia com o estabelecimento dos panoramas de crescimento do consumo de energia demandada pela sociedade, de acordo com previsões ao longo do tempo (TOLMASQUIM, GUERREIRO e GORINI, 2007).

Hoje em dia, há diversos casos em que a análise planejada de recursos energéticos, na qual são discutidas as questões estratégicas, econômicas e relativas a impactos ambientais, estabelece soluções que melhor viabilizam o sistema de transmissão de energia a serem empregadas, essas análises são relevantes em longas distâncias das linhas, atingindo-se mais de 1.000km.

O Brasil detém significativo recurso de geração de energia com baixo custo, o qual ainda é pouco aproveitado, pois esse potencial inativo é capaz de triplicar a geração hidroelétrica atual. A solução mais viável, em médio prazo, para suprir a demanda brasileira dos próximos anos, seria fundamentar esse crescimento com a geração hidroelétrica, que apresenta custo/benefício favorável. Deve-se considerar, entretanto, o uso complementar e moderado de outras fontes de energia.

No período compreendido entre 1990 e 2010, a intensidade energética da economia brasileira mostrou comportamento levemente ascendente, resultando em elasticidade-renda da demanda aproximadamente igual a 1,0 (um) nas últimas duas décadas. Neste período, o PIB (em valores constantes de 2000) evoluiu de R\$ 922,4 bilhões em 1990 para R\$ 1.682,2 bilhões em 2010 (aumento de 82,4% em 20 anos) (BRASIL, 2014).

A figura 10 mostra a evolução da composição setorial do consumo de eletricidade, entre os anos de 1973 e 2007, ele caracteriza uma diminuição, em termos relativos, do consumo de eletricidade da indústria, comparativamente com outros setores.



Fonte: Brasil (2014)

Objeto de grandes transformações na última década, a organização institucional do setor energético brasileiro era, até 1990, menos complexa. Num contexto de uma economia fechada, prevalecia a presença do estado empreendedor, que formulava e executava suas

políticas através de grandes empresas estatais, as quais por sua vez, se autorregulavam, produziam e comercializavam os bens e serviços públicos do setor.

No Brasil, com a reforma do Estado ocorrida, mais radicalmente, a partir da segunda metade da década de noventa, esboça-se uma série de transformações. As principais mudanças aconteceram na estrutura institucional cujo arcabouço se voltava para defesa dos mercados competitivos. Uma sucessão ações no sentido da desregulamentação que caminhavam para as privatizações do setor de distribuição e concessões de linhas no setor elétrico, da abertura à iniciativa privada do setor de petróleo e gás, e das criações das agências reguladoras, a ANP (1997) e a ANEEL (1996).

Nesse cenário, o setor passa a contar com um mercado, que se propõe mais dinâmico, onde os negócios de energia ganham mais importância e maior interdependência com outros setores conexos da economia. Além da presença do setor privado, surgem novas instituições para formulação de política, regulação, certificação, e as estatais incorporam novo padrão de governança (PIRES, FERNÁNDEZ e BUENO, 2006).

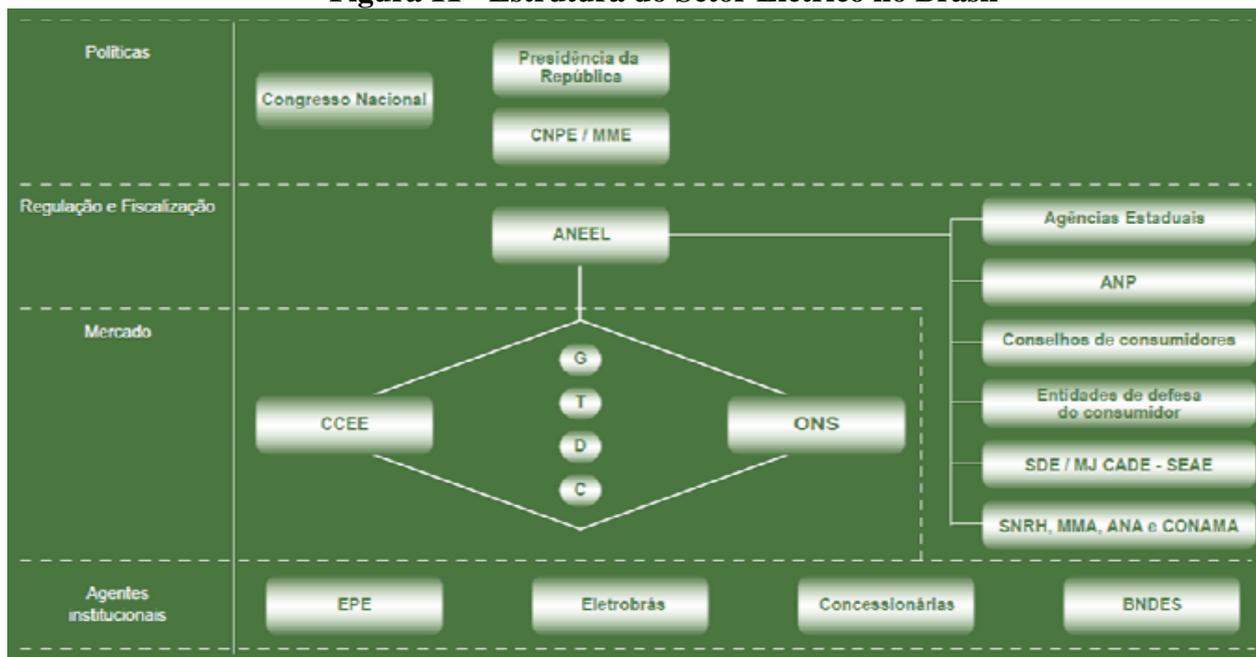
No caso brasileiro, outro fator que interferiu de sobremaneira no processo de organização do setor energético foi o fortalecimento dos instrumentos e das práticas de proteção ambiental. Isso se deu em função das alterações no aparato legal, o qual passou a cobrar estudos de impacto ambiental com o acompanhamento mais ostensivo do Ministério Público, do Poder Judiciário, dos órgãos públicos e das organizações da sociedade civil.

Os desdobramentos da crise energética em 2001 e a instalação de novo governo federal em 2003 consolidaram todas as transformações. A partir de então, o Ministério das Minas e Energia ganha uma nova arquitetura, com os desafios de articular rede de agentes para garantir o abastecimento nacional, fornecer diretrizes para a regulação do setor, definir políticas estratégicas para as estatais, interagir com as políticas de governo no que se refere à proteção ambiental, defesa do consumidor, desenvolvimento industrial, científico e tecnológico, integração sul-americana, além de defender os interesses nacionais e da sociedade contra as possíveis falhas de mercado.

A partir de 2003, o processo de privatizações foi suspenso e o papel das agências reguladoras, desde então, tem sido rediscutido. Em contraposição ao movimento anterior, houve um fortalecimento e expansão da atuação do estado no setor. Isso aconteceu no campo da geração de energia elétrica, mas principalmente no setor de petróleo e gás, onde a Petrobrás tem cumprido um papel estratégico, conquistando a autossuficiência de produção em 2006 e expandindo os seus investimentos em exploração e produção.

No caso do setor elétrico, em 2004 foi implantado o Novo Modelo do Setor Elétrico. Através das leis 10.847/2004 e 10.848/2004, o Governo Federal manteve a formulação de política energética para o setor como atribuição do poder executivo federal, através do Ministério da Minas e Energia e com o assessoramento do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e do Congresso Nacional.

Figura 11 - Estrutura do Setor Elétrico no Brasil



Fonte: ANEEL (2016)

Nesse processo, em 2004 foram criadas a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e a Câmara de Negociação de Energia Elétrica (CNEE). Preservaram-se as atribuições da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Também foi criado o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), ligado ao MME, com a função de avaliar a continuidade e a segurança do suprimento eletro energético no território nacional.

Para Leite (2007), nesse segundo momento, predominou as convicções da possibilidade de assegurar, por via institucional, modicidade nos preços das tarifas e da confiança na eficiência estatal representada pela ação das empresas públicas. Por outro lado, a desconfiança das empresas privadas e os seus objetivos incondicionais de lucro. Mas principalmente, da necessidade de planejamento estratégico de longo prazo sob a responsabilidade do governo. Missão que ficou dividida entre a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) como órgão de apoio.

Em seu artigo publicado recentemente em parceria com Sérgio M. Rezende, no Jornal Valor, Nelson Hubner, ex-ministro interino do MME frisou a importância da criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, na elaboração do Plano Nacional de Energia 2030.

Para Rezende e Hubner (2007) a EPE vem substituir de forma mais ampla, na elaboração das políticas de longo prazo, o Grupo Coordenador de Planejamento do Sistema – GCPS, da Eletrobrás, extinto na década de noventa.

Rezende e Hubner (2007, p.2) reforçam que, àquela época quando o "governo decidiu reestruturar o setor tendo como metas principais declaradas trazer investimentos privados, reduzir as tarifas e melhorar os serviços". Conseguiu, no entanto, atrair recursos apenas pela privatização com vendas de ativos, o que na, opinião dos autores, foi uma das causas da crise energética de 2001.

Entre as previsões de realizações, anunciadas pelo ex-ministro, e a realidade, têm existido um lapso que é necessário ser medido e qualificado. Dentre os motivos que emperram os novos investimentos estão, principalmente, os entraves do ponto de vista ambiental.

De fato, segundo Mendes, Novaes e Teixeira (2007), o quadro problema que fundamenta a demanda pela racionalização do planejamento ambiental tem os seguintes aspectos estratégicos: ausência de abordagem da dimensão estratégica da variável ambiental nas instâncias de formulação de políticas públicas e de planejamento, em outras palavras, o planejamento setorial ignora, a priori, os aspectos ambientais; inadequação do processo de licenciamento ambiental às demandas atuais de desenvolvimento; e por fim, a falta de eficácia e eficiência do arcabouço jurídico-institucional que ilustra a complexidade da governança ambiental, ou seja, a confusão e a sobreposição de competências entre os órgãos de proteção ao meio ambiente.

3.2 Transmissão de energia elétrica

As unidades geradoras de energia elétrica normalmente estão situadas distantes dos centros consumidores, ou seja, cidades e indústrias. Desta forma, toda a energia produzida deve viajar longas distâncias através de um sistema de transmissão. Este sistema é composto basicamente, por cabos aéreos revestidos por um material isolante, ligados à grandes torres metálicas por estruturas isolantes de vidro ou porcelana. Todo este conjunto é chamado de rede de transmissão (SANTOS, 2004).

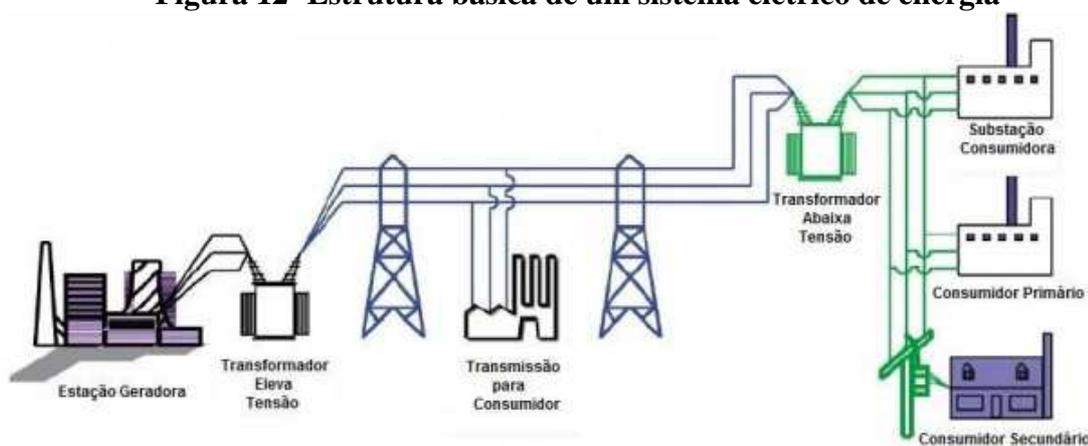
A rede de transmissão transporta uma grande quantidade de energia elétrica por longas distâncias, mas antes de chegar aos centros de consumo, esta passa por uma subestação

abaixadora, que tem a função de abaixar o nível de tensão, para que esta esteja em um nível adequado para o abastecimento de pequenas cidades ou consumidores de grande porte. A rede de subtransmissão, faz a realocação entre a energia proveniente da rede de transmissão e a energia que será distribuída para pequenos consumidores (ELETROBRÁS, 2016).

Todos os sistemas elétricos de energia existentes no mundo possuem uma estrutura básica com elementos comuns a todos eles. Por mais que sejam diferentes em capacidade de potência, todos eles podem ser divididos em três níveis básicos: 1.Nível de transmissão 2.Nível de subtransmissão 3.Nível de distribuição A Figura 1.1 ilustra a estrutura básica com estes três elementos. Para cada nível apresentado acima, tem-se tensões padronizadas e publicadas pela ANEEL através da Nota Técnica nº 0075/2011-SRD e estas são apresentadas a seguir: Transmissão e Subtransmissão: 750; 500; 230; 138; 69; 34,5; 13,8 kV Distribuição primária em redes públicas: 34,5 e 13,8 Kv (ELETROBRÁS, 2016).

Distribuição secundária em redes públicas: 380/220 e 220/127 volts, em redes trifásicas; 440/220 e 254/127 volts, em redes monofásicas (ELETROBRÁS, 2016).

Figura 12- Estrutura básica de um sistema elétrico de energia



Fonte: Eletrobrás (2016)

O nível de transmissão difere dos demais níveis (subtransmissão e distribuição), tanto quanto ao funcionamento quanto às características. Enquanto os níveis de subtransmissão e distribuição simplesmente tiram energia de uma dada fonte e a transmitem para cargas individuais, um sistema de transmissão tem a função interligando estações geradoras remotas e pontos de carga do sistema. A energia pode escoar bidirecionalmente, dependendo da necessidade técnica e atendendo também aos critérios econômicos requisitados. Outra

diferença básica entre os sistemas de transmissão, é a sua topologia. Neste último, é evidente que enquanto as outras duas se organizam em estrutura radial no sistema (SATO, 2013).

O sistema de transmissão conduz grandes quantidades de energia, sendo assim, seus componentes básicos (transformadores, linhas e dispositivos de manobra), são os mais importantes do sistema elétrico. Deve-se salientar que o desenvolvimento de um sistema de transmissão acompanha o ritmo de crescimento de determinada região. Sendo assim, o projeto de novas redes, bem como a expansão das já existentes, deve tomar como base o crescimento populacional e industrial de determinada área. Depois de tomadas as decisões de natureza econômica e grande parte das vezes política sobre determinado empreendimento, cabe ao engenheiro analisar o projeto de uma linha de transmissão à luz de três parâmetros básicos: 1.Ambiental 2.Econômico 3.Técnico (SATO, 2013).

Numa rede convencional de energia, as fontes geradoras devem trabalhar exatamente na mesma frequência de operação. Cada gerador controla a magnitude da tensão em seus terminais, bem como seus ângulos de fase através do torque desenvolvido pelas turbinas. Os geradores são projetados para produzirem tensões relativamente baixas, então, a energia produzida sofre diversas transformações até serem entregues em seus centros de consumo. Estas transformações são efetuadas pelos transformadores de potência, elemento responsável pela preferência da corrente alternada frente a contínua desde o início do século XX. A rede convencional de energia é dividida em três diferentes partes. A geração, a transmissão e a distribuição de energia, todas elas funcionando em sincronismo (SATO, 2013).

Os transformadores, os geradores e as linhas de transmissão possuem um caráter predominantemente indutivo, além disso, as cargas ligadas ao sistema também possuem certo caráter indutivo. A indutância atrasa a resposta da corrente em relação à tensão (SATO, 2013).

3.3 Tarifas

As tarifas de consumo de energia elétrica são cobradas de acordo com o que foi estabelecido pela Lei nº 8.631-1993 e o Decreto nº 774, que a regulamentou. Atualmente, as tarifas são binômias, ou seja, são formadas por duas distintas parcelas que estabelece dois valores: um para a potência e outro para a energia. Além desses valores, o sistema tarifário acrescenta o segmento horo-sazonal, que determina tarifas para os horários de ponta e fora de ponta e ainda fixa valores distintos para os períodos do ano compreendidos entre maio e

novembro, definido como período seco e entre dezembro e abril como período úmido (CLAÚDIO, 2007).

No ano de 2015, os custos variáveis da energia do mercado regulado passaram a ser cobertos pelos adicionais do que foi chamado de Bandeiras Tarifárias¹, que têm como fim indicar aos consumidores os custos reais da geração de energia elétrica. A explicação do que seria bandeiras tarifárias é apresentada na figura a seguir (ANEEL, 2016).

Figura 13 – Bandeiras Tarifárias

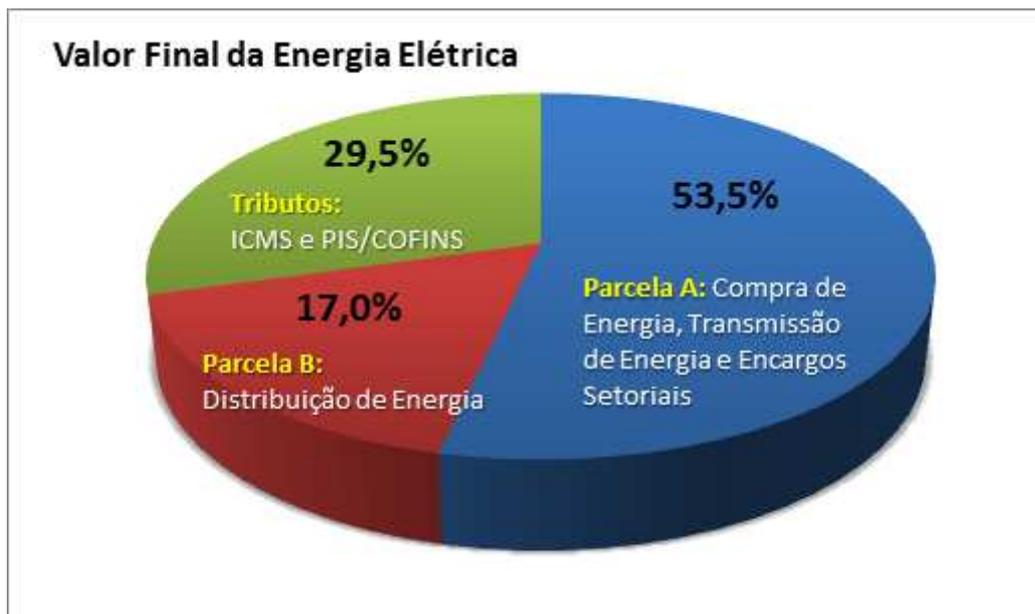
¹ Nesse sentido, o Decreto nº 8.401, de 5 fevereiro de 2015, criou a Conta Centralizadora dos Recursos de Bandeiras Tarifárias, sob a gestão da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, com o objetivo de administrar os recursos decorrentes da aplicação das bandeiras tarifárias.



Fonte: Aneel (2016)

Ademais, importante acrescentar que o valor final da energia elétrica é composto por custos com a distribuição de energia (17%); custos com a compra de energia, transmissão e encargos setoriais (53,5%) e tributos (29,5%), conforme apresentado na figura 14.

Figura 14 – Valor da Energia elétrica



Fonte: Aneel (2016)

Outro ponto importante são as classificações de consumidores, ou seja, cada tipo de consumidor é incluído em uma categoria. Na primeira categoria, chamada de tarifa convencional, compõe o grupo de consumidores residenciais e as pequenas instalações industriais e comerciais, tais clientes das concessionárias são atendidos em tensão secundária de distribuição (CLÁUDIO, 2007).

Nesse sentido Cláudio (2007) acrescenta:

Para as instalações consumidoras com potência instalada acima de 112,5 KVA (dependendo da concessionária, pode ser 75 ou 225 kva) o suprimento de energia é feito em média ou alta tensão (tensão primária de distribuição ou tensão de transmissão) e é obrigatória a contratação de potência e energia (demanda e consumo), podendo o consumidor optar por uma das duas possíveis faixas do segmento horo-sazonal. no segmento horo-sazonal, o consumidor pode optar por uma das duas possíveis formas de fornecimento de energia: horo-sazonal azul ou horo-sazonal verde. algumas concessionárias não disponibilizam o suprimento de energia em média ou alta tensão na tarifa convencional.

3.3.1 A classificação dos consumidores

Na tabela 1 é apresentado as categorias de consumidores. Na coluna demanda (R\$/kW), as classes de consumidores assinalados com N são tarifados apenas em consumo. As demais são obrigadas ao regime de tarifa binômica, mesmo quando há a opção de tarifa convencional, fora do regime horo-sazonal (CLÁUDIO, 2007).

Tabela 1 – Classificação dos consumidores

SUBGRUPO	DEMANDA (R\$/kW)	CONSUMO (R\$/MWh)
A2 (88 a 138 kV)		
A3 (69 kV)		
A3a (30 kV a 44 kV)		
A4 (2,3 a 25 kV)		
AS (Subterrâneo)		
B1 - RESIDENCIAL	N	
B1 - RESIDENCIAL BAIXA RENDA:	-	-
Consumo mensal até 30 kWh	N	
Consumo mensal de 31 a 100 kWh	N	
Consumo mensal de 101 a 140 kWh	N	
B2 - RURAL	N	
B2 - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	N	
B2 - SERVIÇO DE IRRIGAÇÃO	N	
B3 - DEMAIS CLASSES	N	
B4 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA:	-	-
B4a - Rede de Distribuição	N	
B4b - Bulbo da Lâmpada	N	

Fonte: Cláudio (2007)

3.4 Fator de Carga

Segundo Cláudio (2007) o fator carga é a relação em percentagem do cálculo entre a potência (demanda) média usada e a máxima registrada no período. Tem influência relevante na fatura de energia da unidade consumidora, na medida em que reduz o custo médio do kWh na proporção em que se aproxima de 1 (ou 100%).

A fórmula para seu cálculo é:

$$C = a \cdot kW + b \cdot kW.h \quad (3.1)$$

Onde a = tarifa do kW, b = tarifa do kW.h e C = custo total da fatura (sem os tributos).

Por sua vez, considera-se como fator de carga:

$$Fc = Dmed / Dmax \quad (3.2)$$

$$D_{med} = \text{kW.h (faturados)} / \text{Número de horas do período} \quad (3.3)$$

De acordo com Cláudio (2007) em um mês com 30 dias, em que não há feriados além dos finais de semana, tem-se 22 dias úteis, que resultam num total de $22 \times 3 = 66$ horas de horário de ponta e $30 \times 24 - 66 = 654$ horas de operação no horário fora de ponta. Sendo assim:

$$\text{Na ponta: Fora da Ponta: } D_{med} = \text{kW.h (f. ponta)} / 654$$

Como $D_{max} = \text{kW}$, (demanda faturada) $F_c = (\text{kW.h}/66)/\text{kW}$ para o horário de ponta e $F_c = (\text{kW.h}/654)/\text{kW}$ para o horário fora de ponta.

Considera-se $u =$ custo unitário do kW.h, como sendo o Custo Total ($a.\text{kW} + b.\text{kW.h}$) dividido pelo total de kW.h aproveitados. Pode-se calcular u para o horário de ponta e, novamente, para o horário fora de ponta.

$$u = \frac{a.\text{kW}}{\text{kW.h}} + \frac{b.\text{kW.h}}{\text{kW.h}} \Leftrightarrow u = a \cdot \frac{\text{kW}}{\text{kW.h}} + b \quad (3.4)$$

O termo kW / kW.h na fórmula acima pode ser substituído por $1 / 66.F_c$ para o horário de ponta ou $1 / 654.F_c$ para o horário fora de ponta, resultando:

$$u = \frac{a}{66.F_c} + b \quad (3.5)$$

Assim sendo, pode-se dizer que o custo unitário de energia é inversamente proporcional ao fator de carga.

Até esse capítulo verificou-se que o valor da fatura de energia se compõe pelos custos de potência e de energia, nos horários de ponta e fora de ponta justificando assim a importância de empregar grupo de geradores visando reduzir o custo de energia. Segundo Araújo (2007):

A possibilidade de eliminação das parcelas correspondentes ao horário de ponta se torna particularmente atraente para as instalações onde não é possível reduzir o consumo. A alternativa de melhores resultados é não contratar demanda e não consumir energia da concessionária no horário de ponta. Entretanto, para manter a sua atividade normal, deverá gerar a energia de que necessitará.

O hospital Santa Casa de Misericórdia de Sobral é um cliente horosazonal verde e possui um grupo gerador modelo GTA 311CIIIH e motor modelo SCANIA DC16 48A, com valores nominais de potência 635 kVA, tensão 380 V, frequência 60 Hz e tanque de combustível com capacidade de 250 litros, que é usado em casos de emergência na falta de energia para a permanência das atividades da instituição.

Sendo assim, passa-se agora a apresentar a análise do estudo aplicado no hospital Santa Casa de Misericórdia.

4.1 Análise de consumo energético em horário de ponta

A tabela 2 mostra o consumo de energia elétrica no horário de ponta, em kWh e R\$, no hospital durante o período de junho de 2014 a junho de 2015 utilizando apenas a fornecida pela concessionária:

Tabela 2 - Consumo de energia elétrica em kWh e R\$ fornecida pela concessionária no horário de ponta

Mês\Ano	Consumo (kWh)	Consumo (R\$)	Tarifa (R\$/kWh)
06\14	26194	26411,14	1,00829
07\14	27884	26399,45	0,94676
08\14	28558	26334,47	0,92214
09\14	29294	27428,26	0,93631
10\14	32720	35415,47	1,08238
11\14	31894	31384,01	0,98401
12\14	31370	29380,20	0,93657
01\15	26996	25200,76	0,93350
02\15	29270	29434,49	1,00562
03\15	23442	24798,82	1,05788
04\15	25948	30304,92	1,14791
05\15	24137	33303,50	1,37977
06\15	28185	43735,50	1,55184

Foi colocado o gerador em funcionamento durante o horário de ponta, 17:30h às 20:30h, estipulado pela concessionária fornecedora, Coelce, foram anotadas todas as medições necessárias de hora em hora, ou seja, observou-se as grandezas de potências, consumo e porcentagem de torque, como mostrado na tabela 3:

Tabela 3 – Análise de Gastos

Horário (h)	Potência Consumida (kW)	Potência Reativa (kVAr)	Consumo Diesel (L/h)	Porcentagem de Torque
17:30	356	104	94	63
18:30	343	120	83	57
19:30	334	122	92	61
20:30	321	125	94	54

4.2 Análise de gastos

4.2.1 Combustível

A partir desses valores a média observada em consumo de combustível foi de aproximadamente 94 L/h mostrado na USCA quando ligado à rede, segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP) o valor médio do litro do diesel no ano de 2015 no estado do Ceará foide R\$2,84, com isso tem-se o valor gasto de diesel por dia multiplicando o consumo pelo número de horas ligados, três, para a quantidade de litros por dia e multiplicando esta pelo valor do diesel em reais como mostrado na equação:

$$Gastoemdielelpordia = 3 \times 94 \times 2,84 = R\$ 800,88 \quad (4.1)$$

A partir do gasto diário podemos descobrir o gasto mensal, sendo um mês possuindo 22 dias uteis e sem feriados nacionais:

$$Gastoemdielelpormês = 22 \times 800,88 = R\$ 17619,36 \quad (4.2)$$

4.2.2 Carga não alimentada pelo grupo gerador

Para o consumo energético em kWh mensal do grupo gerador leva-se em consideração que o mesmo não é ligado em todos os circuitos do hospital, foi necessário descobrir a carga que será alimentada pela concessionária na qual o gerador não cobre, para isso considera-se os valores de consumo energético observado na USCA: 1050 kWh. Analisando o último valor

visto na medição da concessionária no horário de ponta foi de 1232 kWh, subtraindo com o valor do consumido no gerador temos:

$$Cargan\tilde{a}oalimentada\text{ pelo }GG = 1232 - 1050 = 182 \text{ kWh} \quad (4.3)$$

Sabendo disso, temos que diariamente 182 kWh não são alimentados pelo gerador, o que faz mensalmente ser:

$$Cargan\tilde{a}oalimentada\text{ pelo }GG\text{ mensal} = 22 \times 182 = 4004 \text{ kWh} \quad (4.4)$$

Através desse valor, e utilizando uma tarifa média retirada a partir dos valores da tabela 1, foi calculado o valor que seria pago mensalmente à concessionária caso a instituição venha a aderir esse objetivo:

$$Tarifa\text{ média} = \frac{\Sigma\text{tarifas}}{13} = R\$ 1,07 \quad (4.5)$$

$$Gasto\text{ mensal por carga não alimentada} = 1,07 \times 4004 = R\$ 4284,28 \quad (4.6)$$

4.3 Análise Comparativa

A partir dos gastos mensais mostrados foi feita uma análise econômica comparativa entre o uso do gerador no horário de ponta e o da concessionária, a melhor forma de basear perda ou ganho é através de valores tarifários. Para isso é calculado a tarifa do grupo gerador, que é a razão entre o gasto mensal em diesel somado com o gasto mensal pela carga não alimentada e a quantidade de consumo energético no gerador, em que este último é calculado pela expressão abaixo:

$$Consumo\text{ do gerador} = 22 \times 1050 = 23100 \text{ kWh} \quad (4.7)$$

Logo a tarifa do diesel é:

$$Tarifa\text{ do diesel} = \frac{17619,36 + 4284,28}{23100} = 0,9481 \text{ R\$ kWh} \quad (4.8)$$

Pode-se observar que essa tarifa ultrapassa apenas 5 das 13 dos meses mostrados na tabela 2, no caso do mês 07/14 a diferença é menor que um centavo e nos outros pouco mais que isso, concluindo que já há uma redução anual.

Seguindo o mesmo princípio da equação acima é calculado o rendimento em kWh/L do grupo gerador tirando a razão entre consumo energético e de combustível por mês, em que a quantidade de litros consumidas por mês é dado pela equação:

$$\text{Litros por Mês} = 3 \times 94 \times 22 = 6204 \text{ L} \quad (4.9)$$

Com isso o rendimento é dado por:

$$\text{Rendimento} = \frac{23100}{6204} = 3,723 \text{ kWh/L} \quad (4.10)$$

Para uma melhor análise comparativa entre concessionária e gerador foram escolhidos os três últimos meses analisados das contas de energia que seriam abril, maio e junho de 2015 e feita a comparação de cada com o que foi gasto com a concessionária e o quanto poderia ser com o uso contínuo do gerador.

A) Abril:

Foi gasto no mês em questão, apenas no horário de ponta, R\$30304,92, com tarifa de 1,14791 R\$/kWh e consumo de 25,948 kWh. Caso fosse usado o gerador a tarifa seria de:

$$\text{Gasto por carga não alimentada} = 1,14791 \times 4004 = \text{R\$ } 4596,23 \quad (4.11)$$

$$T = \frac{17619,36 + 4596,23}{25948} = 0,8561 \text{ R$/kWh} \quad (4.12)$$

Uma redução de 25% do valor da concessionária.

B) Maio:

Foi gasto no mês em questão, apenas no horário de ponta, R\$ 33303,50, com tarifa de 1,37977 R\$/kWh e consumo de 24,137 kWh. Caso fosse usado o gerador a tarifa seria de:

$$\text{Gasto por carga não alimentada} = 1,37977 \times 4004 = \text{R\$ } 5524,6 \quad (4.13)$$

$$T = \frac{17619,36 + 5524,6}{24137} = 0,9588 \text{ R$/kWh} \quad (4.14)$$

Uma redução de 30% do valor da concessionária.

C) Junho:

Foi gasto no mês em questão, apenas no horário de ponta, R\$ 43735,50, com tarifa de 1,55184 R\$/kWh e consumo de 28,185 kWh. Caso fosse usado o gerador a tarifa seria de:

$$\text{Gastoporcargan\~{a}alimentada} = 1,55184 \times 4004 = \text{R\$ } 6213,57 \quad (4.15)$$

$$T = \frac{17619,36 + 6213,57}{28185} = 0,8456 \text{ R\$} \backslash \text{kWh} \quad (4.16)$$

Uma redução de 45% do valor da concessionária.

A análise acima foi feita em relação ao ano de 2015, segue a seguir a simulação em relação ao ano de 2016 onde o preço médio do óleo diesel segundo a ANP é de R\$ 3,182, assim temos a seguinte relação:

$$\text{Gastoemdielelpordia} = 3 \times 94 \times 3,182 = \text{R\$ } 897,32 \quad (4.17)$$

$$\text{Gastoemdieleporm\~{e}s} = 22 \times 897,32 = \text{R\$ } 19741,04 \quad (4.18)$$

Considerando que não houve nenhum aumento de carga nesse ano e que também não foi feita nenhuma medida para aumentar a carga alimentada pelo grupo gerador, essa carga continua sendo a mesma, feito isso a média dos valores de tarifa do ano de 2016 foi de R\$ 1,11 tendo o gasto por carga não alimentada pelo grupo gerador de:

$$\text{Gasto mensal por carga n\~{a}o alimentada} = 1,11 \times 4004 = \text{R\$ } 4.444,44 \quad (4.19)$$

Como o consumo do grupo gerador se manteve o mesmo, a nova tarifa do diesel é de:

$$\text{Tarifa do diesel} = \frac{19741,04 + 4444,44}{23100} = 1,05 \text{ R\$} \backslash \text{kWh} \quad (4.20)$$

Para uma melhor análise comparativa entre concessionária e gerador foram escolhidos os mesmos meses analisados do ano de 2015 e feita a comparação de cada um com o que foi gasto com a concessionária e o quanto poderia ser com o uso contínuo do gerador. Vale destacar que foi o resultado simulado utilizando os mesmos consumos do ano de 2015 mas com tarifas diferentes.

A) Abril:

Foi gasto no mês em questão, apenas no horário de ponta, R\$ 43.770,12, com tarifa de 1,68684 R\$/kWh e consumo de 25,948 kWh. Caso fosse usado o gerador a tarifa seria de:

$$\text{Gasto por carga não alimentada} = 1,68684 \times 4004 = \text{R\$ } 6754,11 \quad (4.21)$$

$$T = \frac{19741,04 + 6754,11}{25948} = 1,02109 \text{ R}\$/\text{kWh} \quad (4.22)$$

Uma redução de 39,47% do valor da concessionária.

B) Maio:

Foi gasto no mês em questão, apenas no horário de ponta, R\$ 40.378,55, com tarifa de 1,67289 R\$/kWh e consumo de 24,137 kWh. Caso fosse usado o gerador a tarifa seria de:

$$\text{Gasto por carga não alimentada} = 1,67289 \times 4004 = \text{R\$ } 6698,25 \quad (4.23)$$

$$T = \frac{19741,04 + 6698,55}{24137} = 1,0953 \text{ R}\$/\text{kWh} \quad (4.24)$$

Uma redução de 34,52% do valor da concessionária.

C) Junho:

Foi gasto no mês em questão, apenas no horário de ponta, R\$ 47614,33, com tarifa de 1,68935 R\$/kWh e consumo de 28,185 kWh. Caso fosse usado o gerador a tarifa seria de:

$$\text{Gasto por carga não alimentada} = 1,68935 \times 4004 = \text{R\$ } 6764,16 \quad (4.25)$$

$$T = \frac{19741,04 + 6764,16}{28185} = 0,9404 \text{ R}\$/\text{kWh} \quad (4.26)$$

Uma redução de 44,33% do valor da concessionária.

Com estes resultados fica claro a economia em utilizar o grupo gerador nos horários de ponta, porém não foi possível acrescentar neste trabalho um estudo aprofundado na questão de troca de equipamentos e material para o grupo gerador, o que se levar em questão o que foi economizado essa observação ainda pode ser trazer lucros.

Vale destacar também o alto índice de potência reativa no equipamento, mostrado na tabela 3, o que acaba por consumir muito do mesmo fazendo com que o gerador não tenha uma maior eficiência. Esse problema se deve à ausência de um banco de capacitores para regularização desse tipo de perda.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foram abordados conceitos relevantes referentes ao motor diesel e aos dispositivos responsáveis pela sua regulação de velocidade. Essas informações são importantes para o leitor entender os modelos e resultados apresentados na seqüência do texto.

Verificou-se que tem sido marcante a evolução alcançada pelos Motores de Combustão Interna do tipo Diesel na busca de melhores eficiências e no uso de combustíveis alternativos mais econômicos. O uso destas máquinas em aplicações estacionárias de geração elétrica em instalações industriais, comerciais e até mesmo residenciais (condomínios) têm apresentado competitividade em relação ao nível de tarifas praticado em cada segmento.

Neste estudo foi feito o estudo para verificar a utilização do grupo gerador no horário de ponta do hospital Santa Casa de Misericórdia de Sobral, visando custos em comparação com a energia fornecida pela concessionária, o que mostrou ser bastante vantajoso, pois considerando as tarifas estipuladas pela fornecedora saiu mais barata a tarifa calculada com os custos da utilização do gerador neste horário, com média de 28 a 30% de economia, onde o ultimo se mostrou até 45% de vantagem. Em que esses valores podem ser ainda mais lucrativos se manter uma regular vistoria e melhorias no equipamento, destacando a ausência de banco de capacitores para a regularização de potência reativa que se mostrou em níveis alarmantes.

O Hospital Santa Casa de Misericórdia é uma instituição filantrópica que deve reduzir seus gastos sempre que possível e através do que foi mostrado o uso do grupo gerador deve ser levado em conta, porem há um descaso com o mesmo pois mesmo em momentos de extrema precisão, falta de energia, o equipamento não entra na rede automaticamente e em certos momentos sobreaquece devido ao nível e extensão da carga.

REFERENCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifas**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em nov. de 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Consumo de Energia no Brasil**. Análises Setoriais. Rio de Janeiro, julho de 2014. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2010-14%20Consumo%20de%20Energia%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso em set. de 2016.

CARVALHO, J. L. **Sistemas de Controle Automático**, LTC Editora, Rio de Janeiro, 2000.

CLÁUDIO, José. **Motores, geradores e dinamômetros**. Página de 2007. Disponível em <<http://www.joseclaudio.eng.br/>>. Acesso em out. e nov. de 2016.

DOMSCHKE, A. G. e GARCIA, O. **Motores de Combustão Interna**. São Paulo: Dep. De Eng. Mecânica, Escola Politécnica da USP, 1968.

DOMSCHKE, A. G., NEGRI, J. C. e BARILLARI, S. N. **Geração Termoeétrica a Partir de Motores de Combustão Interna**. XIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia elétrica (XVI SNPTEE). Campinas – SP. 21 a 26 de Outubro de 2001.

ELETROBRAS. **Como a Energia Elétrica é Transmitida no Brasil**. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/natrilhadaenergia/energiaeletrica/main.asp?View=%7B05778C21-A140-415D-A91F-1757B393FF92%7D>>.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999.

GUZZELLA, L., AMSTUTZ, A. **Control of Diesel Engines**. IEEE Control Systems Magazine, v.18, n.5, pp. 53-71, 1998.

HADDAD, J., MARTINS, A. R. S. E MARQUES, M. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos**. – Itajubá, MG: FUPAI, 2001.

LEITE, Antônio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2007.

MARQUES, Luiz Sérgio B; SAMBAQUI, Ana Barbosa K. DUARTE, Janderson. **Apostila de máquinas elétricas**. Instituto Federal de Santa Catarina-Campus Joinville, Julho 2013. Disponível em <<http://joinville.ifsc.edu.br/~camila.bastos/MQE/ApostilaMaq.pdf>>. Acesso em nov. de 2016.

MARTINS, Vitor Alexandre Carlesse e GARCIA, Ezio Castejon. **Estudos Sobre Motores Diesel**. Anais do XVI Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XVI ENCITA / 2010 Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil, 20

de outubro de 2010. Disponível em <<http://www.bibl.ita.br/xviencia/iem-4.pdf>>. Acesso em out. de 2016.

MENDES, Carlos Henrique Abreu, NOVAES, Eduardo & TEIXEIRA, Izabela. **Meio Ambiente: Diagnóstico e Propostas**. In: Política Energética para o Brasil: Propostas para o crescimento sustentável. Nota Técnica. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 2006. pp.134-146.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 3. Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.

PEREIRA, V. M., POMILIO, J. A. E FERREIRA, P. A. V. **Determinação e Implementação de Filtros para Casamento de Modelos de Motores CC e Diesel**, Anais do XIV Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2002. Natal (RN), Brasil, pp. 3217 – 3222, 2002.

PIRES, Adriano; FERNÂNDEZ, Eloi Fernández Y & BUENO, Julio. **Política Energética para o Brasil: Propostas para o crescimento sustentável**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. PIREs, Adriano. **Energia Elétrica: Diagnóstico e Propostas**. In: Política Energética para o Brasil: Propostas para o crescimento sustentável. Nota Técnica. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 2006. pp.295-308.

REZENDE, Sérgio M. & HUBNER, Nelson. **Energia elétrica: diversificar as fontes para não faltar**. Jornal Valor. Agosto, 2007.

SANTOS JR., A. C. F. **Análise da Viabilidade Econômica da Produção de Hidrogênio em Usinas Hidrelétricas: Estudo de Caso em Itaipu**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SANTOS, G.F.B.; SOUZA, R.C.; SANTOS, V.C.L. **Solução para a transmissão de energia elétrica em longas distâncias, utilizando linhas de transmissão**. Disponível em <http://semanaacademica.com.br/system/files/artigos/solucao_para_a_transmissao_de_energia_eletrica_em_longas_distancias_utilizando_linhas_de_transmissao_em_cc.pdf> . Acesso em out. de 2016.

SATO, André Kiyoshi Coutinho. **Transmissão de potência em corrente contínua e em corrente alternada: Estudo comparativo**. André Kiyoshi Coutinho Sato – Guaratinguetá : [s.n], 2013.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar and GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. Novos estud. - CEBRAP[online]. 2007, n.79, pp.47-69.

VARELLA, Carlos Alberto Alves e SANTOS, Gilmar de Souza Santos. **Noções básicas de motores diesel**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Seropédica – RJ, julho, 2010. Disponível em <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/No%20E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf>. Acesso em nov. de 2016.

ANEXOS

Anexo A - Diagramas Unifilares

