

ALEXANDRE MASSAYUKI ASANO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE
GERAÇÃO DIESEL NO HORÁRIO DE PONTA**

Guaratinguetá - SP
2015

ALEXANDRE MASSAYUKI ASANO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE
GERAÇÃO DIESEL NO HORÁRIO DE PONTA**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz S. Ricciulli

Coorientador: Cesar Bastamante Soares

Guaratinguetá
2015

A798e	<p>Asano, Alexandre Massayuki Estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização de geração diesel no horário de ponta / Alexandre Massayuki Asano – Guaratinguetá, 2015. 57 f : il. Bibliografia: f. 55-57</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli Coorientador: Cesar Bastamante Soares</p> <p>1. Usinas termoeletricas 2. Energia - Fontes alternativas 3. Energia elétrica – Distribuição I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.311.23</p>
-------	---

Alexandre Massayuki Asano

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

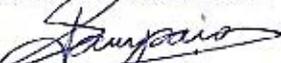
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. DANIEL JULIEN B. DA SILVA SAMPAIO
UNESP-FEG



Eng. Eletricista CESAR BASTAMANTE SOARES
Co-Orientador/Membro Externo

Dezembro de 2015

DADOS CURRICULARES

ALEXANDRE MASSAYUKI ASANO

NASCIMENTO	26.01.1988 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Edson Massakazu Asano Maria Mitio Kubota Asano
1994/2001	Ensino Fundamental Colégio Joana D'Arc
2002/2005	Ensino Médio Colégio Objetivo Pinheiros
2006/2015	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – <i>Campus</i> de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus, pela minha vida, minha família, meus amigos, pela minha fé,

aos meus pais Edson e Miti e à minha irmã Thaís, pelo apoio incondicional, por estarem ao meu lado em todos os momentos, por acreditarem e confiarem em mim, por me incentivarem a ser cada dia uma pessoa melhor,

ao meu orientador Prof. Dr. Durval Luiz S. Ricciulli, pela paciência, disponibilidade e dedicação. Sem o seu apoio, o estudo aqui apresentado não seria possível,

ao meu coorientador, chefe e amigo, Cesar Bastamante, pelos ensinamentos, confiança, paciência e companheirismo,

à República Papagatas, minha segunda família, pelos momentos de alegria, amizade e descontração, pela irmandade e por me apoiarem até o final,

aos meus companheiros do Sistema Seriado, pelo companheirismo nesta longa jornada, em especial ao Paulo Amarante e ao Júlio Santana Antunes Filho, pelo apoio e por nunca terem me deixado desistir;

à todos os meus amigos, pois sem estes, a vida teria menos graça,

à todos aqueles que contribuíram direta ou diretamente para que este sonho se concretizasse.

“Nada é impossível para aquele que persiste.”

Alexandre Magno

ASANO, A. M. **Estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização de geração diesel no horário de ponta.** 2015. 57 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Diante da atual crise energética vivida em nosso país juntamente com a falta de chuvas em algumas regiões, as concessionárias foram obrigadas a recorrer às usinas termoeletricas para complementar a sua produção de energia; encarecendo o custo da geração de energia elétrica, sendo obrigadas a repassar este valor aos clientes através das Bandeiras Tarifárias. Preocupados com um aumento substancial em sua conta de energia elétrica, alguns consumidores foram obrigados a procurar alternativas para que seus resultados não fossem afetados. A utilização de geração à diesel no horário de ponta é uma alternativa relativamente simples e barata que vem sendo amplamente utilizada por alguns consumidores industriais, comerciais e de serviços. Neste presente trabalho é realizado um Estudo de Viabilidade da utilização de geradores à diesel no horário de ponta em um hospital de médio porte, calculando o período de amortização do investimento através da economia na conta de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Geração à diesel no horário de ponta. Geração distribuída.

ASANO, A. M. **Technical and economic feasibility study of the use of diesel generation at peak hours.** 2015. 57 f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

Given the current energy crisis experienced in our country with the lack of rain in some areas, the energy distributors were forced to resort to thermal power plants to complement their energy production; raising the cost of electricity generation, they have been forced to repass this value to the customers through the Tariff Flags. Concerned about a substantial increase in their electric bill, some consumers were forced to look for alternatives so that their results are not affected. The use of diesel generation at peak hours is a relatively simple and inexpensive alternative that has been widely used for several industrial, commercial and service customers. In this present work, we conducted a feasibility study of the use of diesel generators at peak hours in a medium-sized hospital, calculating the depreciation period for the investment through savings in electricity bills.

KEYWORDS: Diesel generation at peak hours. Distributed generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Triângulo de potências	19
Figura 2.2 - Geração distribuída – Metodologia operacional.....	26
Figura 2.3 - Exemplo de como a geração distribuída pode minimizar problemas de interrupções de fornecimento de energia devido a acidentes naturais	27
Figura 2.4 - Chave reversora de três posições	34
Figura 2.5 - Transferência com rampa de carga - Grupo gerador de emergência	35
Figura 2.6 - Transferência com rampa de carga - Grupo gerador no horário de ponta	36
Figura 2.7 - Distribuição da tensão induzida no enrolamento do estator de um gerador síncrono	40
Figura 2.8 - Variação no tempo das <i>fem</i> trifásicas induzidas para o gerador.....	41
Figura 3.1 - Paralelismo momentâneo rede-gerador na baixa tensão - Proteção indireta - AES <i>Eletropaulo</i>	43
Figura 3.2 - Perfil de carga - Hospital.....	44
Figura 3.3 - Fluxo de caixa descontado e Fluxo de caixa acumulado	50
Figura 3.4 - Fluxo de caixa descontado e Fluxo de caixa acumulado	51
Figura 3.5 - Esquemático unifilar - 4x Grupos Geradores 750 kVA.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Modalidade tarifária horo-sazonal - Azul.....	22
Quadro 2.2 - Modalidade tarifária horo-sazonal - Verde.....	23
Quadro 2.3 - Enquadramento tarifário - Grupo A	23
Quadro 2.4 - Bandeiras tarifárias - <i>AES Eletropaulo</i>	25
Quadro 3.1 - Tarifas aplicadas Subgrupo A4 - <i>AES Eletropaulo</i> – base 05/12/2015.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Projeção do consumo de energia elétrica na rede - SIN (GWh) – 2014 à 2018 ..	14
Tabela 1.2 – Oferta interna de Energia Elétrica	15
Tabela 2.1 – Subdivisões <i>AES Eletropaulo</i> - Grupo A	21
Tabela 2.2 – Subdivisões <i>AES Eletropaulo</i> - Grupo B	22
Tabela 3.1 - Diesel - Tabela de preços – São Paulo - últimas 4 semanas	45
Tabela 3.2 - Cálculo conta de energia elétrica – THS-Azul – sem geração na ponta.....	46
Tabela 3.3 - Cálculo conta de energia elétrica – THS-Verde - sem geração na ponta	47
Tabela 3.4 - Comparação – Opções Geração na Ponta	48
Tabela 3.5 - Resultado Financeiro	50
Tabela 3.6 - Resultado Financeiro	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
AT	Alta tensão
BT	Baixa tensão
ca	Corrente alternada
cc	Corrente contínua
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
fem	Força Eletromotriz
FP	Fator de Potência
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
ONS	Operador Nacional do Sistema
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QTA	Quadro de Transferência Automática
SIN	Sistema Interligado Nacional
SOP	Sistema de Operação em Paralelo\
TC	Transformador de corrente
THS	Tarifa horo-sazonal
TP	Transformador de potencial
USCA	Unidade de supervisão de corrente alternada
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
cal	caloria
CV	cavalo vapor
h	hora
GWh	gigawatt-hora
HP	horse power
Hz	hertz
J	Joule
kA	quilo-Ampere
kV	quilovolt
kVA	quilovolt-Ampere
kVAr	quilovolt-Ampere-reativo
kW	quilowatt
kWh	quilowatt-hora
l/h	litro por hora
m	metro
MW	megawatt
MWh	megawatt-hora
N	Newton
rpm	rotações por minuto
s	segundo
V	Volt
W	Watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2	OBJETIVO E METODOLOGIA	16
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	DEFINIÇÃO DE ENERGIA, POTÊNCIA E FATOR DE POTÊNCIA	17
2.1.1	Energia	17
2.1.2	Potência	18
2.1.3	Potência reativa	18
2.1.4	Potência aparente	19
2.1.5	Fator de potência	19
2.2	DEMANDA E CONSUMO	20
2.3	SISTEMA DE TARIFAÇÃO DE ENERGIA - <i>AES ELETROPAULO</i>	21
2.3.1	Horário de ponta, horário fora de ponta e horário de verão	23
2.3.2	Bandeiras tarifárias	24
2.4	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	25
2.4.1	Geração diesel no horário de ponta	28
2.5	CHAVES DE TRANSFERÊNCIA	33
2.5.1	Transferência aberta e transferência fechada	34
2.5.1.1	Transferência com rampa de carga	35
2.6	CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA	36
2.6.1	Máquinas elétricas	37
2.6.1.1	Máquinas síncronas	38
2.6.1.2	Geradores síncronos	39
3	ESTUDO DE CASO	42
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTABELECIMENTO ALVO DO ESTUDO DE CASO	42
3.2	EXECUÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE	45
3.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	49
4	CONCLUSÕES	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O consumo de energia elétrica no Brasil tem crescido em ritmo acelerado nos últimos anos, motivado principalmente pelo consumismo e a facilidade de crédito. Segundo pesquisa realizada em Junho/2014 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia, que pode ser visto na Tabela 1.1, apesar da desaceleração no crescimento econômico no cenário atual do país, a projeção do consumo de energia elétrica em todas as regiões para os próximos anos é de crescimento em todos os setores: residencial, industrial, comercial e outros; mas principalmente no setor comercial.

Tabela 1.1 - Projeção do consumo de energia elétrica na rede - SIN (GWh) – 2014 à 2018

CONSUMO TOTAL	2014	2015	2016	2017	2018	Δ% 2014-18
	478.656	499.262	521.438	544.211	567.932	4,4%
<i>Projeção por classe de consumo</i>						
Residencial	131.112	138.334	144.915	151.492	158.112	4,8%
Industrial	186.480	191.872	198.887	206.418	214.896	3,6%
Comercial	88.069	92.912	98.255	103.812	109.629	5,6%
Outras classes	72.995	76.144	79.381	82.489	85.296	4,0%
<i>Projeção por subsistema interligado</i>						
Ilorte	35.739	38.970	41.664	44.691	46.606	6,9%
Ilordeste	72.187	75.249	78.415	81.981	85.987	4,5%
Sudeste/CO	286.291	297.198	310.032	322.618	336.645	4,1%
Sul	84.439	87.844	91.326	94.921	98.694	4,0%

Fonte: (EPE, 2014).

Conforme pode ser visto na Tabela 1.2, a oferta interna de energia elétrica no Brasil é em grande parte sustentada pela hidroeletricidade; porém o investimento insuficiente e as dificuldades encontradas na construção de novas usinas (inundação de áreas de floresta, impactando nas tribos indígenas, nas populações ribeirinhas, na flora e na fauna), resultam numa preocupação em como será suprido este aumento na demanda. Além disso, a atual falta de chuvas nas regiões Sudeste e Nordeste afetam não somente o abastecimento de água para a população, mas também a produção de energia hidrelétrica, visto que os rios e reservatórios estão em níveis críticos.

Tabela 1.2 – Oferta interna de Energia Elétrica

ESPECIFICAÇÃO	GWh		14/13 %
	2013	2014	
HIDRO	390.992	373.439	-4,5
BAGAÇO DE CANA	29.871	32.303	8,1
EÓLICA	6.578	12.210	85,6
SOLAR	5	16	235,5
OUTRAS RENOVÁVEIS	10.600	13.879	30,9
ÓLEO	22.090	31.668	43,4
GÁS NATURAL	69.003	81.075	17,5
CARVÃO	14.801	18.385	24,2
NUCLEAR	15.450	15.378	-0,5
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS	11.444	12.125	5,9
IMPORTAÇÃO	40.334	33.775	-16,3
TOTAL	611.169	624.254	2,1
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>478.381</i>	<i>465.623</i>	<i>-2,7</i>

Fonte: (EPE, 2014)

Diante deste cenário, o Governo Federal acionou as usinas termoeletricas e a utilização de outros combustíveis além do potencial hidrelétrico na geração de energia elétrica aumentou consideravelmente no período indicado, conforme pode ser visto na coluna de variação 14/13% da Tabela 1.2. O grande problema da utilização das usinas termoeletricas, é que estas não estavam preparadas para suprir esta demanda e estão sobrecarregadas, funcionando ininterruptamente e postergando manutenções; além do custo elevado em relação à geração hidroelétrica. Com o intuito de transferir os custos da geração térmica aos consumidores, a partir de 2015, o Governo Federal implantou o Sistema de Bandeiras Tarifárias nas contas de energia, que indicam se a energia custará mais ou menos de acordo com as condições de geração de energia do país.

Os consumidores brasileiros foram obrigados a se conscientizar e buscar soluções rápidas para contornar a crise energética do país, buscando novos hábitos a fim de reduzir o seu consumo e garantir que a sua conta de energia elétrica não sofra um aumento substancial.

Contudo, pela natureza de suas atividades, alguns consumidores industriais, comerciais e de serviços não podem simplesmente diminuir o consumo de energia, pois afetariam de forma expressiva seus resultados. Para garantir que não terão aumento substancial na conta de energia elétrica por conta das tarifas diferenciadas neste período, uma opção que vem sendo muito utilizada é a utilização de geradores à diesel no horário de ponta que, além de poder ser utilizado como uma fonte alternativa, é parte do sistema de emergência e fornece uma fonte de energia caso haja alguma falta na rede da concessionária.

1.2 Objetivo e metodologia

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar os principais conceitos da utilização de grupos geradores diesel em horário de ponta e verificar a viabilidade técnica e econômica, especificamente em uma instituição hospitalar de médio porte, considerando sua demanda e consumo na ponta e fora da ponta.

A abordagem metodológica do presente trabalho será exposta em forma de Estudo de Caso e segue a seguinte estrutura:

- Revisão da literatura sob aspectos conceituais;
- Reunir dados e aplicar os conceitos em um consumidor hipotético;
- Justificar tecnicamente e economicamente a solução.

1.3 Estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho é apresentada em 4 capítulos, sendo este o primeiro no qual apresentam-se as considerações iniciais para a utilização de geradores a diesel no horário de ponta.

No Capítulo 2, é posto um referencial teórico fornecendo uma base literária para a presente pesquisa, listando os principais tópicos que serão abordados no andamento deste trabalho.

Dando sequência, o Capítulo 3 apresenta o trabalho em sua forma e etapas de realização, utilizando informações coletadas de um empreendimento hipotético para realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica com o intuito de calcular o período de amortização do investimento num sistema de geração à diesel no horário de ponta.

O capítulo 4 finaliza com os resultados e conclusões da presente pesquisa, apresentando as vantagens obtidas na solução proposta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir é apresentado o referencial bibliográfico dos tópicos mais importantes para a execução deste trabalho.

2.1 Definição de energia, potência e fator de potência

2.1.1 Energia

Energia define-se por capacidade dos corpos para produzir um trabalho ou desenvolver uma força. Os físicos definem energia como a quantidade de trabalho que um sistema pode fornecer. Em suma, energia é tudo que produz ou pode produzir ação, podendo tomar as mais variadas formas: energia mecânica, térmica, elétrica, gravitacional, química, magnética, nuclear etc.

A energia existe em grande quantidade no universo e não pode ser criada, consumida ou destruída, não aumenta ou diminui; ela se transforma ou é transmitida de diferentes formas. Por exemplo, a energia cinética do movimento das moléculas de ar pode ser convertida em energia cinética de rotação pelo rotor de uma turbina eólica, que por sua vez, pode ser transformada em energia elétrica através de um gerador acoplado ao rotor da turbina. Quando uma pedra rola montanha abaixo, sua energia potencial se transforma em energia cinética capaz de exercer força e movimentar outros corpos (ELETROBRÁS, 2015).

Em cada processo de conversão de energia, uma parcela da energia da fonte é dissipada na forma de calor (energia térmica), causada em função do atrito das engrenagens, moléculas de ar ou esforços mecânicos de alguma máquina conversora. A relação entre a energia da fonte que entra no sistema e a energia que sai deste é chamada de rendimento.

A unidade de energia no sistema internacional de unidades é o Joule (J); mas é utilizado comumente a unidade quilowatt x hora (kWh) para medir o consumo de energia elétrica. O watt-hora corresponde à energia requerida quando um dispositivo cuja potência seja de 1W opera durante um intervalo de 1 hora.

Unidades de energia:

$$1 \text{ J [Joule]} = 1 \text{ W.s [watt segundo]}$$

1 cal [caloria]	= 4,1869 J [Joule]
1 kWh [quilowatt x hora]	= 3.600.00 J [Joule]

2.1.2 Potência

Potência ativa (P) é a quantidade de energia transferida por unidade de tempo, é a potência que realiza trabalho útil efetivamente. A potência pode ser medida em qualquer instante de tempo; já a energia precisa ser medida em um intervalo de tempo definido, conforme pode ser visto na equação (1). Ao receber a energia elétrica, os equipamentos transformam-na em outra forma de energia; o chuveiro, por exemplo, converte a energia elétrica em térmica. Quanto maior a quantidade de energia transformada em um curto intervalo de tempo, maior é a potência do aparelho. Portanto, essa grandeza aponta a velocidade com que a energia elétrica é transformada em outro tipo de energia.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde:

$\Delta E/\Delta t$: variação da energia no tempo

No sistema internacional, a unidade adotada é o Watt (W), que corresponde Joule por segundo (J/s), também comumente utilizado a unidade quilowatt (kW).

Unidades de potência:

1 W [watt]	= 1 J/s [Joule por segundo]
1 CV [cavalo vapor]	= 735 W [watt]
1 HP [horse power]	= 746 W [watt]

2.1.3 Potência reativa

A potência reativa (Q) é aquela que não produz trabalho útil, é usada basicamente para carga nos capacitores e para produção de campo magnético nas bobinas dos motores e

transformadores. Apesar de não realizar trabalho, exige uma corrente adicional da fonte e do sistema de distribuição.

A ocorrência de energia reativa num sistema elétrico sobrecarrega as instalações, pois ocupa uma capacidade de condução de corrente que poderia estar sendo utilizada para realizar trabalho útil, isto pode ser considerado tanto para a concessionária quanto para o consumidor.

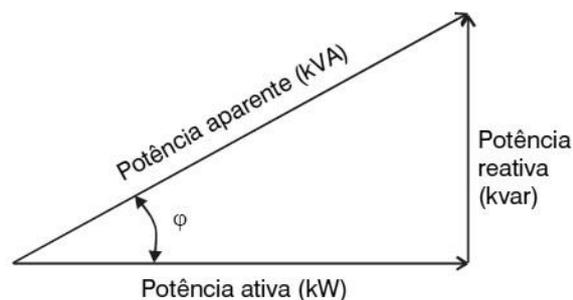
A unidade comumente utilizada pra medir a potência reativa é o Volt-Ampere reativo (VAr), ou o quilovolt-Ampere-reativo (kVAr).

2.1.4 Potência aparente

A soma vetorial das potências ativa e reativa é a potência aparente (S); ou seja, a potência total fornecida pela fonte. É com base neste valor que é feito o dimensionamento dos cabos e proteções do sistema.

Comumente, o triângulo de potências é utilizado para representar esta soma vetorial, conforme pode ser vista na Figura 2.1.

Figura 2.1 - Triângulo de potências



Fonte: (Engelétrica, 2014)

A unidade comumente utilizada para medir a potência aparente é o Volt-Ampere (VA), ou quilovolt-Ampere (kVA).

2.1.5 Fator de potência

O fator de potência é a relação entre a potência ativa e a potência aparente para cada unidade consumidora; ou seja, indica a porcentagem de energia total fornecida que é

efetivamente aproveitada. Em outras palavras, o fator de potência é o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Esta relação pode ser vista na equação (2).

$$FP = \frac{P(kW)}{S(kVA)} = \cos\varphi = \cos\left(\arctg \frac{Q(kVAr)}{P(kW)}\right) \quad (2)$$

Um baixo fator de potência indica baixa eficiência energética, ou seja, há uma alta ocorrência de potência reativa e o sistema está sendo subutilizado. Para proteger-se contra a ocorrência de reativos elevados, as concessionárias impõem aos consumidores um fator de potência global de no mínimo 0,92 (de acordo com a legislação atual - ANEEL), e o próprio consumidor é responsável pelo controle dentro dos níveis permitidos. Quando o consumidor apresenta um fator de potência inferior à este valor, uma multa é cobrada pela concessionária pelo excesso de reativo a título de ajuste, além das perturbações técnicas típicas deste não cumprimento.

A utilização de banco de capacitores automático é uma solução comumente adotada para a correção do fator de potência de uma instalação. A manutenção do fator de potência além de melhorar a eficiência dos circuitos de distribuição de um sistema elétrico, o que reduz as perdas por Efeito Joule e aumenta a vida útil das instalações e equipamentos; evita a cobrança de multas impedindo que o mesmo esteja abaixo do mínimo regulamentado.

2.2 Demanda e consumo

O sistema elétrico é composto por uma malha de distribuição formada pelas redes e subestações da concessionária; tal sistema é responsável por alimentar toda a diversidade de cargas dos consumidores, tais como transformadores, motores, inversores, equipamentos elétricos, iluminação etc.

Para um correto planejamento da expansão deste sistema e conservação da capacidade de atendimento, é necessário conhecer o limite máximo de utilização que lhe será solicitado, através da somatória da potência de todos os equipamentos ligados em um dado momento em uma unidade consumidora.

Este somatório das cargas instaladas operando simultaneamente expresso em quilowatts (kW), é denominado DEMANDA e representa a capacidade máxima que é exigida do sistema elétrico num determinado momento.

A DEMANDA CONTRATADA corresponde à demanda de potência ativa que a concessionária deve disponibilizar no ponto de entrega ao cliente, conforme as condições de contrato de fornecimento e deve ser paga integralmente, sendo utilizada ou não.

Já o CONSUMO, medido em quilowatt x hora (kWh), é a energia consumida num intervalo de tempo, ou seja, a soma das potências de todos os equipamentos ligados vezes o período de tempo que permaneceram ligados.

2.3 Sistema de tarifação de energia - AES Eletropaulo

Para o presente trabalho, será utilizado como referência as informações disponibilizadas pela *AES Eletropaulo*, distribuidora de energia elétrica responsável por atender 24 municípios da região metropolitana de São Paulo incluindo a capital paulista, a qual pode ser considerada um dos principais centros econômico-financeiros do Brasil e também do mundo.

A concessionária disponibiliza em seu site algumas instruções gerais nas quais estão expostos todos os dispositivos regulamentares e normas técnicas, estabelecendo as condições mínimas exigidas para o fornecimento de energia elétrica em tensão primária e secundária de distribuição, através de redes aéreas ou subterrâneas às instalações consumidoras localizadas no seu perímetro de concessão. Caso algum questionamento técnico não seja tratado em nenhuma destas instruções gerais, deve ser seguido as recomendações prescritas na ABNT NBR-5410 para instalações elétricas de baixa tensão e na ABNT NBR-14039 para instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV.

Segundo informações do site da concessionária, os consumidores podem ser divididos em dois grupos de acordo com os níveis de tensão de fornecimento: o Grupo A (alta e média tensão, acima de 2300 V) e Grupo B (baixa tensão, inferior a 2300 V).

As subdivisões destes grupos podem ser vistas nas tabelas Tabela 2.1 e Tabela 2.2, e cada subgrupo tem seu próprio valor definido de tarifa:

Tabela 2.1 – Subdivisões *AES Eletropaulo* - Grupo A

Grupo A		
Alta Tensão - 88 kV ou mais	A1	230 kV ou mais
	A2	88 kV a 138 kV
Média Tensão - 2,3 kV até 69 kV	A3	69 kV
	A3a	30 kV a 44 kV
	A4	2,3 kV a 25 kV
	AS	Baixa Tensão (enquadramento tarifário)

Fonte: (*AES Eletropaulo*, 2015)

Tabela 2.2 – Subdivisões *AES Eletropaulo* - Grupo B

Grupo B		
Baixa Tensão - inferior a 2,3 kV	B1	Residencial
	B2	Rural
	B3	Demais Classes
	B4	Iluminação Pública

Fonte: (*AES Eletropaulo*, 2015)

Para o Grupo A, o faturamento é feito de diferentes formas para os subgrupos, sendo baseado na aplicação de uma tarifa binômia, a qual leva em consideração duas grandezas: consumo (kWh) e demanda (kW); existindo dois modelos de tarifação: Convencional e Horosazonal.

Na modalidade convencional, o faturamento é calculado em cima do consumo verificado em um período aproximado de 30 dias e a demanda é aplicada ao maior valor entre os seguintes valores: demanda contratada (conforme já demonstrado no item 2.2; para a *AES Eletropaulo*, corresponde à carga máxima solicitada pelo sistema, no intervalo de 15 minutos) ou demanda registrada (carga máxima a ser solicitada, no intervalo de 15 minutos consecutivos, verificado no período de faturamento).

Para a modalidade tarifária horosazonal Azul, o faturamento é calculado utilizando como base a tabela verificada no Quadro 2.1; levando em consideração consumo e demanda distintos no horário de ponta, no horário fora de ponta.

Quadro 2.1 - Modalidade tarifária horosazonal - Azul

Horários Do dia	Faturamento de Maio a Novembro(Período Seco)	Faturamento de Dezembro a Abril(Período Úmido)
Ponta - 3 horas (17h30 às 20h30)	consumo - ponta seca demanda - ponta seca	consumo - ponta úmida demanda - ponta úmida
Fora de ponta (21h restantes)	consumo fora de ponta seca demanda fora de ponta seca	consumo fora de ponta úmida demanda fora de ponta úmida

Fonte: (*AES Eletropaulo*, 2015)

Para a modalidade tarifária horosazonal verde, o faturamento considera uma demanda única, diferenciando apenas o consumo no horário de ponta, no horário fora de ponta, conforme pode ser visto no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Modalidade tarifária horo-sazonal - Verde

Horários Do dia	Faturamento de Maio a Novembro(Período Seco)	Faturamento de Dezembro a Abril(Período Úmido)
Ponta - 3 horas(17h30 às 20h30)	consumo ponta seca	consumo ponta úmida
Fora de ponta(21h restantes)	consumo fora de ponta seca	consumo fora de ponta úmida
todo o dia(24 horas)	demanda única	

Fonte: (AES Eletropaulo, 2015)

O enquadramento tarifário é feito de acordo com a legislação, carga instalada, tensão de fornecimento, classe de consumo da unidade e da região em que o consumidor está localizado. De acordo com o subgrupo, os consumidores do Grupo A podem fazer a opção tarifária, conforme pode ser visto no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Enquadramento tarifário - Grupo A

Subgrupo Tarifário	MODALIDADE TARIFÁRIA		
	Convencional	THS - Azul	THS - Verde
A1	IMPEDIDO	compulsório para	IMPEDIDO
A2		qualquer valor de	
A3		demanda contratada	
A3a	disponível para	disponível para	disponível para
A4	contratos	contratos	contratos
AS (subterrâneo)	inferiores a 300 kW	a partir de 30 kW	a partir de 30 kW

Fonte: (AES Eletropaulo, 2015)

Para o Grupo B, o faturamento é feito considerando apenas o consumo (kWh); ou seja, a energia consumida num intervalo de tempo.

2.3.1 Horário de ponta, horário fora de ponta e horário de verão

O horário de ponta corresponde a um período de 3 horas consecutivas durante o dia no qual o consumo de energia tende a ser maior; neste período muitas cargas estão funcionando ao mesmo tempo, como: fábricas, iluminação pública, iluminação residencial, eletrodomésticos e muitos chuveiros. Durante este intervalo de horas, em algumas regiões do Brasil, as concessionárias de energia são autorizadas a cobrar tarifas mais altas, visando incentivar a diminuição no consumo e garantir o equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia.

Para a *AES Eletropaulo*, o horário de ponta adotado é das 17h30 às 20h30, incluindo feriados, com exceção aos sábados e domingos.

O horário fora de ponta corresponde as 21 horas diárias complementares ao horário de ponta, incluindo os sábados e domingos. Devido à diferença de tipo de carga reativa mais comum nesses horários, o horário fora de ponta se divide em dois períodos, capacitivo e indutivo. Para a *AES Eletropaulo*, o período capacitivo está compreendido entre 23h30 às 6h30; e o período indutivo entre 6h30 às 0h30.

Durante o período úmido (de dezembro de um ano até abril do ano seguinte), é determinado por decretos governamentais o horário de verão, em que os relógios são adiantados em uma hora. Por conta das dificuldades envolvidas na alteração de equipamentos de medição e controle operacional automático em clientes (bancos de capacitores, controles de geradores, equipamentos de controle de demanda em geral), sempre que o horário de verão é instituído, o horário de ponta é alterado e passa a ser das 18h30 às 21h30, o que altera temporariamente o Contrato de Fornecimento de Energia Elétrica. Assim como o horário de ponta é alterado, também é alterado o horário fora de ponta e, por consequência, os períodos capacitivo e indutivo.

Sendo assim, o horário de verão além auxiliar a reduzir o consumo de energia, também auxilia os clientes que se enquadram nas tarifas horo-sazonais, onde a demanda e consumo têm custos mais elevados neste período.

2.3.2 Bandeiras tarifárias

Diante da crise energética vivenciada no Brasil nos últimos meses causada principalmente pela falta de chuvas, as concessionárias foram obrigadas a recorrer às usinas termoelétricas para suprir o fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Contudo, conforme já citado, este tipo de geração de energia tem o custo mais elevado; portanto, para repassar esses custos ao consumidor, as concessionárias foram autorizadas pela ANEEL a utilizar o sistema de bandeiras tarifárias a partir de janeiro de 2015.

O sistema de bandeiras tarifárias é baseado na utilização de bandeiras verde, amarela ou vermelha, as quais indicam se a energia custará mais ou menos de acordo com informações prestadas pelo ONS - Operador Nacional do Sistema, conforme as condições de geração de energia elétrica do país. O Quadro 2.4 ilustra o sistema de bandeiras tarifárias com as tarifas adicionais cobradas.

Quadro 2.4 - Bandeiras tarifárias - AES Eletropaulo

BANDEIRA VERDE	BANDEIRA AMARELA	BANDEIRA VERMELHA
Sem acréscimo na tarifa	Acréscimo de R\$0,025 a cada 1 kw/h consumido	Acréscimo de R\$0,045 a cada 1 kw/h consumido

Fonte: (AES Eletropaulo, 2015)

Desde que o sistema foi implantado no início do ano, o sistema está na cor vermelha; todavia, segundo reportagem do *O Globo* do dia 06/12/15, a previsão é que com a melhora da situação dos reservatórios, em 2016 o governo retire o nível vermelho das bandeiras tarifárias.

Como esta previsão ainda não foi divulgada oficialmente até a data de elaboração deste trabalho, consideraremos a Bandeira Vermelha para o Estudo de Caso.

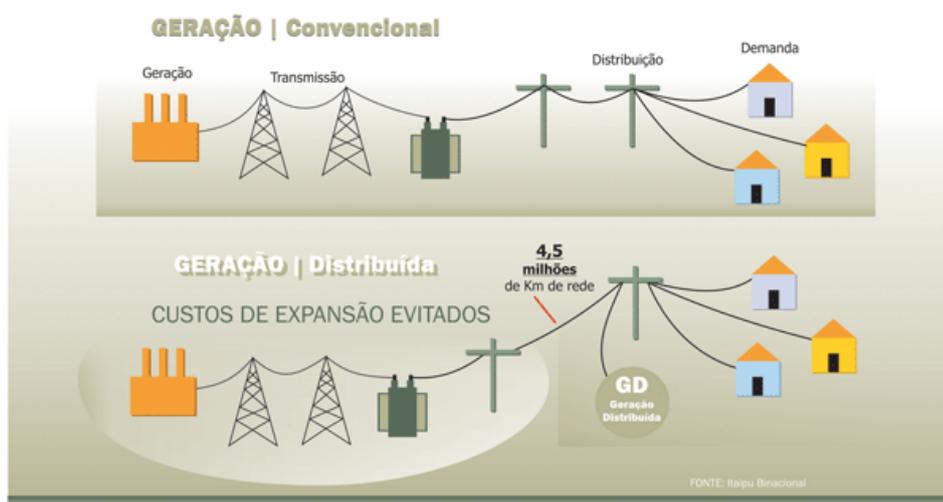
2.4 Geração distribuída

Geração de energia elétrica nada mais é do que a transformação de algum tipo de energia em energia elétrica. Este processo envolve duas etapas: na primeira, uma máquina primária transforma algum tipo de energia, normalmente hidráulica ou térmica, em energia cinética de rotação; na segunda etapa, um gerador elétrico acoplado à máquina primária transforma a energia cinética de rotação em energia elétrica. Este processo pode ser observado em uma usina hidrelétrica, onde uma turbina hidráulica transforma a energia potencial da queda de água em energia cinética de rotação, a qual é transferida para o eixo acoplado a um gerador.

Já o conceito de geração distribuída caracteriza-se como a produção de eletricidade descentralizada, próxima ao consumidor, sem a necessidade da construção de subestações, grandes usinas geradoras, longas linhas de transmissão e nem de complexos sistemas de distribuição; reduzindo as perdas elétricas, melhorando a estabilidade e a qualidade do fornecimento.

Na Figura 2.2 a seguir é possível verificar um exemplo de metodologia operacional de geração distribuída, ilustrando o modelo de geração convencional, no qual o sistema é dependente de longas linhas de transmissão e distribuição; e também o modelo considerando a geração distribuída, onde alguns custos de expansão das linhas de transmissão podem ser evitados por haver um foco de geração de energia mais próximo do consumidor final.

Figura 2.2 - Geração distribuída – Metodologia operacional



Fonte: (Itaipu Binacional, 2014)

A geração distribuída era amplamente utilizada no início do século, até a década de 40; quando a geração centralizada se mostrou mais barata através da construção de usinas de grande porte. No Brasil, desde 17 de abril de 2012 quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, é possível que o consumidor gere a sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, podendo até fornecer o excedente para a rede de distribuição a título de empréstimo gratuito à distribuidora local.

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), geração distribuída é uma expressão usada para designar a geração de energia elétrica junto ou próximo do(s) consumidor(es) independente da potência, tecnologia ou fonte de energia. Estão incluídos na geração distribuída:

- Co-geradores;
- Geradores que utilizam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo;
- Geradores eólicos;
- Geradores de emergência;
- Geradores para operação no horário de ponta;
- Painéis fotovoltaicos;
- Pequenas centrais hidrelétricas (PCH's).

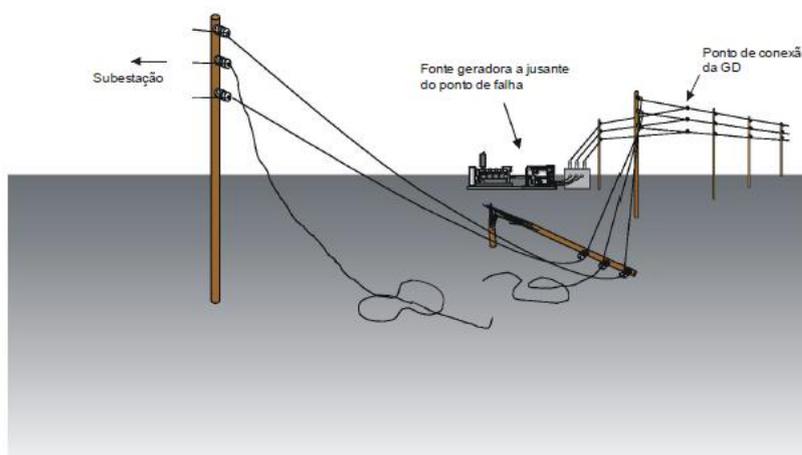
Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o excedente pode ser fornecido para a rede de distribuição local e os estímulos à geração distribuída se justificam pelos inúmeros benefícios ao sistema elétrico; tais como:

- Adiantamento de investimentos em expansão dos sistemas de distribuição e transmissão;
- Baixo impacto ambiental;
- Redução no carregamento das redes;
- Minimização das perdas;
- Diversificação da matriz energética.

A geração distribuída representa uma possibilidade para colaborar com a redução da curva de carga, reduzindo o consumo em horários de pico, além de uma diminuição da necessidade de grandes investimentos em geração, transmissão e distribuição no sistema elétrico integrado brasileiro. Com a utilização dos recursos próprios da região, é possível a promoção do desenvolvimento local, no que diz respeito aos aspectos econômicos e sociais.

A confiabilidade é outro ponto positivo para a geração distribuída, melhorando a qualidade do fornecimento e assegurando fornecimento sem interrupções. Em outras palavras, a geração distribuída pode contribuir para melhorar a qualidade de energia em áreas congestionadas, no final de linha de trechos longos e em locais onde uma alta qualidade de energia é exigida. Localizando a geração em locais mais próximos ao consumidor, evita-se os longos períodos sem fornecimento de energia por interrupções devido a acidentes naturais nas longas linhas de transmissão e distribuição, conforme exemplificado na Figura 2.3.

Figura 2.3 - Exemplo de como a geração distribuída pode minimizar problemas de interrupções de fornecimento de energia devido a acidentes naturais



Nos países onde houve o desenvolvimento da geração distribuída, os consumidores passaram a se preocupar mais com o consumo de eletricidade, utilizando-a de uma forma mais eficiente, sem prejuízo na qualidade dos serviços, do bem-estar e do conforto do consumidor.

Neste presente trabalho, iremos tratar da utilização de geradores à diesel no horário de ponta.

2.4.1 Geração diesel no horário de ponta

Conforme visto no item 2.3.1, o horário de ponta corresponde a um período de 3 horas consecutivas do dia em que o consumo de energia tende a ser maior; por este motivo, as concessionárias são autorizadas a cobrar tarifas extras, visando incentivar a diminuição no consumo e garantir o equilíbrio entre a oferta e a demanda de energia. Muitos consumidores acabam procurando soluções para que a sua conta de energia elétrica não sofra aumento substancial, reduzindo o consumo de energia elétrica durante este período.

Entretanto, alguns consumidores não podem simplesmente reduzir seu consumo pois afetaria os seus resultados: uma indústria não poderia para a sua produção pois atrasaria os seus prazos de entrega; um shopping center não poderia fechar as suas portas, pois diminuiria as suas vendas; um hospital não poderia desligar suas máquinas, pois colocaria em risco de vida seus pacientes.

Para que estes clientes não tenham que reduzir o seu consumo durante o horário de ponta e nem tenham um aumento expressivo na conta de energia elétrica por conta das tarifas diferenciadas neste período, uma solução que vem sendo amplamente utilizada é a utilização de geradores à diesel no horário de ponta; visto que alguns destes estabelecimentos já possuem um sistema de geração de emergência e trata-se de uma solução relativamente barata e rápida.

O óleo diesel é um combustível fóssil derivado do petróleo, amplamente utilizado no Brasil para o transporte rodoviário; mas também é utilizado para máquinas de grande porte, locomotivas, navios e aplicações estacionárias (como os geradores elétricos), sendo o combustível mais consumido no país. A escolha do diesel se deve ao fato de possuir inúmeros postos de distribuição e um baixo custo se comparado a outros combustíveis no mercado.

Segundo a Norma Técnica 6.005, a *AES Eletropaulo* estabelece os requisitos mínimos para a conexão de grupos geradores junto à rede de distribuição da concessionária, utilizando

o sistema de transferência automática com paralelismo momentâneo. Estes requisitos técnicos podem ser vistos a seguir:

- A *AES Eletropaulo* só permitirá o paralelismo momentâneo da rede com o gerador particular do consumidor desde que não resulte em problemas técnicos e de segurança para o sistema desta concessionária, bem como para outros consumidores em geral.
- O projeto deverá ser submetido à análise prévia da *AES Eletropaulo*, que verificará a possibilidade do paralelismo, podendo, quando necessário, por meio de notificação, solicitar a instalação de novos equipamentos para aumentar a confiabilidade do sistema de transferência.
- Todos os equipamentos específicos para instalação do sistema de paralelismo devem atender aos requisitos mínimos contidos nesta Nota Técnica, reservando-nos o direito de solicitar a substituição e/ou inclusão de novos equipamentos.
- É de inteira responsabilidade do consumidor a proteção de seus equipamentos, razão pela qual esta concessionária não se responsabilizará por eventuais danos que possam ocorrer no(s) gerador(es) do consumidor ou qualquer outra parte do seu sistema elétrico, devido a defeitos, surtos e etc.
- Somente será permitido o paralelismo momentâneo de geradores trifásicos com frequência nominal de 60 Hz.
- Todos transformadores de força utilizados na instalação devem ser conectados em triângulo no lado da Alta Tensão (AT) e em estrela aterrado no lado da Baixa Tensão (BT).
- O tempo máximo de permanência do paralelismo é de 15s quando da transferência de carga entre a rede e o gerador e vice-versa.
- Os geradores devem ser instalados em locais secos, ventilados, de fácil acesso para manutenção e isolados fisicamente através de paredes de alvenaria ou similar, do posto de medição e/ou de transformação.
- O projeto da subestação primária ou subestação primária existente que será provida de sistema de paralelismo momentâneo deverá conter, além do solicitado no Livro de Instruções Gerais de Média Tensão, os seguintes dados:
 - Diagrama unifilar das instalações;
 - Diagrama funcional do sistema de paralelismo;

- Características dos TP's, TC's e disjuntores que fazem parte do sistema de paralelismo;
- Memorial Descritivo;
- Dados do(s) gerador(es): potência dos geradores, impedância transitória, subtransitória e de regime;
- Desenho do recinto do grupo gerador;
- Desenho de localização do recinto do grupo gerador e sala de comando na planta geral da instalação;
- Termo de Responsabilidade conforme modelo existente no final desta Nota Técnica, com firma reconhecida;
- Apresentar ART referente ao projeto e execução;
- Estudo de ajustes dos dispositivos de proteção.

OBS:

- Com exceção do Termo de Responsabilidade os demais documentos devem ser apresentados em meio digital (CD).
 - O interessado na implantação da central geradora deve observar e atender o requerido no Art.19, §1º e §2º da Resolução ANEEL nº390/2009 junto ao órgão regulador/competente.
- A geração do consumidor poderá assumir totalmente ou parcialmente a carga da instalação, caso a proteção do disjuntor geral de entrada seja feita através de relés indiretos, sendo de responsabilidade civil e criminal do consumidor a ocorrência eventual de qualquer acidente decorrente da interligação intencional ou acidental da alimentação das cargas em paralelo com o sistema distribuidor desta concessionária.
 - Para casos onde a proteção do disjuntor geral de entrada for através de relés diretos, deverão ser instalados no disjuntor de rede (2) os relés 50/51 de fase e de neutro, incorporados ao sistema de supervisão e proteção do paralelismo, a fim de obter uma proteção e seletividade adequada da instalação. A atuação destes relés deverá acionar o comando de “desliga” do disjuntor geral de entrada (1) e do disjuntor de rede (2) do sistema de paralelismo. Os geradores nesses casos deverão assumir a carga total da instalação.

- O referido sistema poderá contemplar temporização para confirmação do restabelecimento efetivo da rede da concessionária, quando seu funcionamento for ativado por falta de tensão.
- A *AES Eletropaulo* não se responsabilizará por mudanças que tenham que ser efetuadas em instalações que forem executadas sem a apreciação prévia do projeto da referida instalação.
- Os quadros e painéis de comando do sistema de transferência devem ser instalados preferencialmente fora do recinto do gerador, ou seja, em sala específica de comando.
- A liberação do funcionamento do grupo gerador pela *AES Eletropaulo* limita-se, exclusivamente, ao que se referem à conexão elétrica, cabendo ao interessado obter as licenças de funcionamento junto aos demais órgãos públicos, tais como Ambientais, CETESB, Corpo de Bombeiros, Prefeituras, etc.
- Além dos requisitos mínimos descritos nesta Nota Técnica, o projeto e a instalação de grupos geradores devem também observar as normas e recomendações da ABNT para este tipo de instalação, bem como atender a regulamentação contida na NR-10.
- Casos não previstos nesta instrução deverão ser analisados de modo específico por parte do corpo técnico da *AES Eletropaulo*.

A Norma Técnica 6.005 também estabelece os requisitos mínimos para a proteção do sistema, conforme pode ser visto a seguir:

- A capacidade de curto-circuito em qualquer parte da rede de distribuição, não poderá ultrapassar o valor de 8 kA no intervalo de tempo em que a rede e o gerador do consumidor operam em paralelo.
- O relé direcional de potência (32) deve ser ajustado para permitir um fluxo reverso máximo de 30% da potência do(s) grupo(s) gerador(es) limitado até o valor de 500 kVA, durante 500ms para a rede da *AES Eletropaulo*, durante o período de operação em paralelo, em virtude da equalização de potência entre rede e gerador na ocasião de variação sensível de carga.
- O relé de sobrecorrente direcional (67) deverá ser ajustado em um valor que seja sensível o suficiente para detectar correntes de falta na rede da *AES Eletropaulo*.
- O relé de medição do ângulo da fase (78) deverá ser ajustado entre 5° e 8°.

- Na ocorrência de uma falta na rede da *AES Eletropaulo* durante a operação de paralelismo, o sistema de paralelismo deverá desligar o disjuntor de interligação (disjuntor 2) e isolar o consumidor da rede, antes do primeiro religamento do circuito alimentador desta concessionária.
- O paralelismo só será permitido através de disjuntores supervisionados por relés de sincronismo.
- Disjuntores, chaves seccionadoras e/ou qualquer outro equipamento de manobra que permita o paralelismo sem supervisão do relé de sincronismo deverão possuir intertravamentos que evitem o fechamento de paralelismo por esses equipamentos.
- Não será permitido o religamento automático nos disjuntores que possam efetuar o paralelismo e que não sejam comandados pelo Sistema de Operação em Paralelo (SOP).
- Não será permitido em hipótese alguma ao consumidor, energizar o circuito da *AES Eletropaulo* que estiver fora de operação, cabendo ao consumidor total responsabilidade (civil e criminal) caso esse fato venha a acontecer, não cabendo, portanto, a *AES Eletropaulo*, nenhuma responsabilidade por eventuais danos materiais e humanos. Assim, é imprescindível a instalação de relés de tensão que impeçam o fechamento do disjuntor de interligação, quando o circuito desta concessionária estiver desenergizado.

Por fim, a Norma Técnica 6.005 estabelece os requisitos técnicos para inspeções e testes, conforme segue abaixo:

- Deverão ser apresentados os laudos de aferição, calibração e ensaios das proteções e demais comandos do sistema de paralelismo, antes da inspeção do referido sistema, para comparar os resultados obtidos com os valores de ajustes propostos.
- A execução física do sistema deverá obedecer fielmente ao projeto analisado, sendo a instalação recusada caso ocorra discrepâncias.
- Serão verificados e testados todos os mecanismos e equipamentos que compõem o sistema de paralelismo, com acompanhamento de pessoal técnico desta concessionária.

- Serão realizadas diversas operações de entrada e saída do paralelismo para certificar-se do bom desempenho do sistema, com acompanhamento de pessoal técnico desta concessionária.
- À *AES Eletropaulo* é reservado o direito de efetuar em qualquer momento, inspeções nas instalações do consumidor para averiguação das condições do sistema de paralelismo.

2.5 Chaves de transferência

As chaves de transferência têm a função de selecionar entre duas fontes; ou seja, comuta as fontes de alimentação dos circuitos consumidores, isolando o gerador da rede da concessionária, protegendo ambas caso haja alguma falta no outro sistema de fornecimento. São obrigatórias em todos os sistemas que possuem o grupo gerador como fonte alternativa de fornecimento de energia elétrica; a exceção vale apenas quando o sistema tem o grupo gerador como fonte única de energia.

As chaves de transferência podem ser manuais, fabricadas para operação sem carga; ou automáticas com acionamento elétrico, constituídas por par de contatores ou disjuntores motorizados com comandos à distância para abertura e fechamento. A concepção mais simples de chave reversora seria o contato reversível, conhecido como SPDT (Single Pole Double Throw) utilizado nos relés. As chaves de transferência dedicadas são dispositivos construídos especificamente para esta aplicação; mas no Brasil não são muito difundidas.

As concessionárias exigem que as chaves reversoras tenham intertravamento mecânico no caso da transferência aberta; além disso, nas chaves com acionamento elétrico é necessário o intertravamento elétrico através de contatos auxiliares. Estas precauções são necessárias pois a não utilização das chaves reversoras podem causar sérios riscos às instalações e às pessoas. As concessionárias e as normas vigentes também exigem que os circuitos de emergência sejam instalados independentemente dos demais circuitos, em infraestrutura exclusiva; não é permitida qualquer conexão destes circuitos com os outros alimentados pela rede da concessionária.

Na maioria das situações, o grupo gerador é utilizado como fonte de emergência apenas para as cargas essenciais, no caso em que há um circuito de emergência separado dos consumidores não essenciais. Em outros casos, o circuito de emergência pode ser dividido

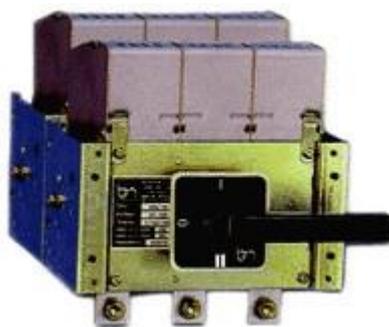
seguindo uma hierarquia e, havendo disponibilidade da fonte de emergência, os circuitos são alimentados de acordo com a sua prioridade.

Nos sistemas automáticos, a partida ou parada do gerador são executadas por contatos de relés comandados pelos sistemas de controle. Um dispositivo sensor da rede é capaz de perceber as falhas de tensão ou frequência, fechando um contato que comanda a partida do gerador. Quando o gerador estiver pronto para assumir a carga, a transferência é feita e sensores devem monitorar caso a rede retorne à normalidade, acionando um contato que fará a retransferência da carga para a rede da concessionária. O sistema de controle deve permitir o funcionamento do gerador em vazio para o seu resfriamento, até a consequente parada.

2.5.1 Transferência aberta e transferência fechada

A transferência aberta ocorre através da interrupção momentânea da alimentação; ou seja, a alimentação de uma fonte é interrompida antes que a outra fonte assuma a carga. Este tipo de manobra não permite o paralelismo entre a rede da concessionária e o gerador, evitando os riscos de problemas técnicos e de segurança para o sistema da concessionária e também do consumidor. Um exemplo, é a chave reversora de três posições, na qual uma posição conecta a carga na rede da concessionária, a outra posição conecta a carga ao sistema do gerador e no meio existe uma posição “off”, obrigando o usuário a desligar o fornecimento antes de fazer a conexão com outra fonte de alimentação.

Figura 2.4 - Chave reversora de três posições



Fonte: (Perfectum – Serviços de Engenharia, 2015)

Na transferência fechada, o fornecimento do gerador é momentaneamente ligado em paralelo com a fonte da rede da concessionária. Esta manobra requer aprovação da

concessionária e exige alguns requisitos técnicos, conforme já visto para a concessionária *AES Eletropaulo* anteriormente no item 2.4.1.

A transferência fechada pode ser realizada com rampa de carga (vista no item 2.5.1.1 a seguir), na qual a carga é transferida da rede da concessionária para os grupos geradores e vice-versa de forma gradual.

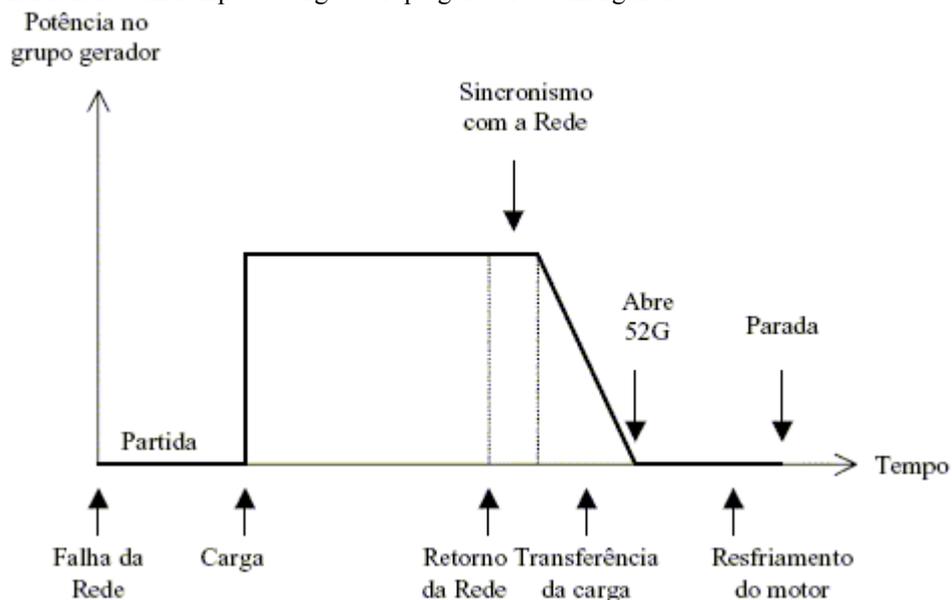
2.5.1.1 Transferência com rampa de carga

A transição com rampa de carga é feita na condição de transferência fechada, em paralelo com a rede, num determinado período de tempo. Por meio de transformadores de corrente, o sistema deve monitorar a energia circulante e atuar sob o sistema de combustível do motor.

A sincronização do grupo gerador com a rede é feita através de um sincronizador automático, controlando a tensão, frequência e sequencia de fases do grupo gerador. Após o sincronismo, é comandado o fechamento das chaves de paralelismo e a transferência de carga é feita de forma gradual.

Na Figura 2.5 é possível verificar a sequência de ações que aconteceria no caso de grupos geradores de um sistema de emergência atuando numa falta da rede da concessionária.

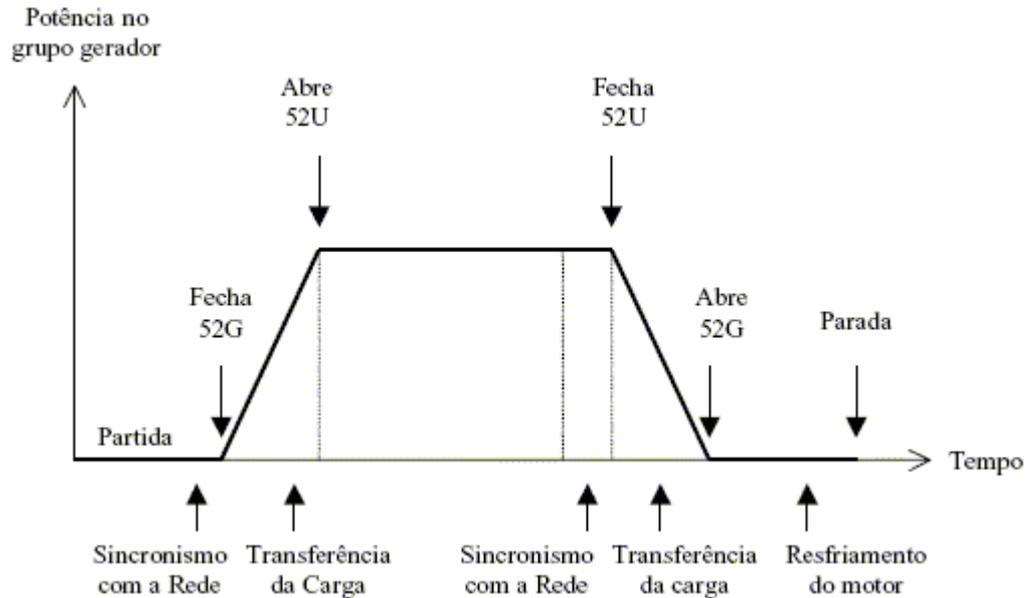
Figura 2.5 - Transferência com rampa de carga - Grupo gerador de emergência



Fonte: (Perfectum – Serviços de Engenharia, 2015)

A Figura 2.6 ilustra a sequência de ações que ocorreria no caso de uma transferência com rampa de carga programada; como, por exemplo, no horário de ponta.

Figura 2.6 - Transferência com rampa de carga - Grupo gerador no horário de ponta



Fonte: (Perfectum – Serviços de Engenharia, 2015)

2.6 Conversão eletromecânica de energia

Segundo Del Toro (1994), a conversão eletromecânica de energia consiste na troca de energia entre um sistema elétrico e um sistema mecânico, através de um campo magnético de acoplamento. Quando a energia mecânica é convertida em energia elétrica, o dispositivo é chamado de gerador; já quando a energia elétrica é convertida em energia mecânica, o dispositivo é chamado de motor. Este processo é essencialmente reversível, exceto por uma pequena quantidade de energia que é perdida em aquecimento. Além disso, quando o sistema elétrico é energizado com corrente alternada, os dispositivos são chamados de motores ca e geradores ca, respectivamente. Já quando o sistema elétrico é energizado com corrente contínua, os dispositivos são chamados de motores cc e geradores cc. Estes dispositivos de conversão eletromecânica também podem ser chamados de máquinas elétricas.

As grandezas fundamentais no sistema mecânico são o torque e a velocidade; já no sistema elétrico são, analogamente, corrente e tensão.

O processo de conversão da energia elétrica em energia mecânica é aqui exemplificado, demonstrando o princípio de funcionamento de um motor elétrico: quando uma corrente i

circula através e condutores inseridos num campo magnético, uma força é produzida em cada condutor; de forma que se estes condutores estiverem numa estrutura que seja livre para girar, resulta num torque eletromagnético T , que por sua vez, gira a uma velocidade angular ω . No caso de um gerador, o processo é inverso: o rotor (elemento que gira) é acionado por uma força motriz (motor à diesel, turbina a vapor etc), causando o aparecimento de uma força induzida e nos terminais do enrolamento de armadura. Com a aplicação de uma carga elétrica a estes terminais, ocorre uma circulação de corrente i , entregando potência elétrica à carga.

O processo de conversão de energia envolve duas características importantes num dispositivo eletromecânico: o enrolamento de campo, que produz a densidade de fluxo, e o enrolamento de armadura, no qual a *fem* de trabalho é induzida.

2.6.1 Máquinas elétricas

As máquinas elétricas podem ser classificadas em síncronas ou assíncronas, dependendo da relação da sua velocidade de rotação com a frequência; as máquinas síncronas operam com uma velocidade de rotação constante sincronizada com a frequência da tensão elétrica alternada aplicada aos terminais da mesma, ou seja, há um sincronismo entre o campo estator e do rotor; por sua vez, nas máquinas assíncronas a velocidade de rotação não é proporcional à frequência da sua alimentação, o rotor não é excitado pelo estator e, devido ao escorregamento, a velocidade do rotor é menor que a do campo girante.

A seguir são descritas as partes constituintes de uma máquina síncrona:

- Circuito elétrico: formado pelos enrolamentos da armadura e enrolamentos de campo, isolantes e acessórios;
- Enrolamento da armadura: nas máquinas síncronas, geralmente a armadura é a parte fixa da máquina, é sinônimo de circuito induzido. A tensão alternada presente nos terminais dos geradores é induzida nos enrolamentos da armadura que tem as suas pontas conectadas às buchas dos geradores;
- Enrolamento de campo: bobinas enroladas sobre os polos que através de corrente contínua produzem campo magnético (fluxo) necessário para induzir as tensões nos geradores elétricos;
- Isolantes elétricos: materiais dielétricos utilizados como isolantes, devem suportar os níveis de tensão admissível entre as estruturas e as bobinas da máquina;

- Circuito magnético: confeccionados em chapas de aço-silício, o meio em que estabelece o circuito magnético para a circulação do fluxo magnético;
- Partes mecânicas: responsáveis pela sustentação mecânica da máquina e proteção física das partes eletromagnéticas, podem ser fixas ou móveis.

2.6.1.1 Máquinas síncronas

Conforme já dito anteriormente, as máquinas síncronas têm a velocidade de rotação proporcional à frequência, relacionando-se com o número de pares de polos de acordo com a equação (3).

$$f = \frac{pp \cdot n}{60} \quad (3)$$

Onde:

pp: par de polos

n: rotação em rpm

Ainda, segundo Del Toro (1994), o conjunto do estator consiste em uma carcaça do estator, um núcleo do estator com ranhuras, que proporciona um caminho de baixa relutância para o fluxo magnético, e um enrolamento trifásico imerso nas ranhuras.

O rotor é construído com um enrolamento distribuído, ou tem polos salientes, com uma bobina enrolada em cada perna. A construção cilíndrica é usada quase exclusivamente para turbogeradores, que operam em altas velocidades. Por outro lado, a construção com polos salientes é usada exclusivamente para motores síncronos operando em velocidades até 1800 rpm.

Segundo Dos Reis (2014), as máquinas síncronas podem ser classificadas de acordo com o tipo de rotor, tipo de acionamento, quanto ao sistema de excitação, ou mesmo em relação ao posicionamento do eixo do rotor e por fim quanto ao número de fases.

Quanto ao tipo de rotor, os rotores do tipo polos lisos, são assim denominados porque seus polos são facilmente identificáveis à primeira vista, a sua geometria possui características de serem de diâmetro reduzido e comprimento axial elevado em relação ao seu raio. Os rotores de polos salientes caracterizam-se por possuírem os polos bastante evidentes quanto ao seu formato, quanto à característica geométrica possui grandes diâmetros em comparação ao seu comprimento axial, possuem elevado número de polos, e como consequência giram a

baixas rotações, são geralmente acoplados a turbinas hidráulicas e, por isso são conhecidos como hidrogeradores.

Quanto ao tipo de acionamento, o acionamento dos geradores (energia mecânica) pode ser feito de várias maneiras, dentre elas: motores diesel ou a gás, hidrogeradores (acionados por turbinas hidráulicas), turbogeradores (acionados por turbinas a vapor) e eólicos (acionados por turbinas eólicas).

Considerando o sistema de excitação, a excitatriz pode ser alimentada por uma fonte de energia elétrica externa ou por uma fonte incorporada ao gerador. No primeiro caso, a tensão de alimentação do circuito de campo (excitatriz) é obtida de uma fonte independente ou mesmo aproveitando a tensão gerada pelo próprio gerador, a tensão alternada é retificada através de uma ponte trifásica a tiristores e levada até ao circuito de campo através de escovas; no segundo caso quando se tem uma fonte incorporada a excitatriz pode ser rotativa (com escovas) ou estática (tipo brushless).

2.6.1.2 Geradores síncronos

Toda a geração de eletricidade é fundamentada na Lei de Faraday ou Lei da Indução Magnética, demonstrada na equação (4). Esta lei enuncia que a força eletromotriz induzida em um circuito fechado por um campo magnético é proporcional ao número de linhas do fluxo que atravessa a área envolvida do circuito, por unidade de tempo. O sinal negativo da expressão é uma consequência da Lei de Faraday-Lenz, a qual diz que a corrente induzida tem um sentido que gera um fluxo induzido contrário ao fluxo indutor.

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (4)$$

Onde:

ε : força eletromotriz induzida

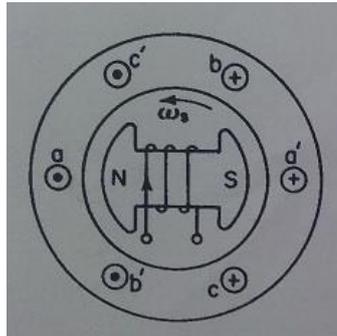
$\Delta\Phi/\Delta t$: variação do fluxo no tempo

O gerador elementar foi elaborado por Faraday em 1831, nos Estados Unidos e era composto basicamente de uma espira que se movimentava entre os polos de um ímã, ou vice-versa, gerando uma força eletromotriz.

Os geradores síncronos são máquinas que têm o propósito de transformar a energia mecânica em energia elétrica. Toda a energia elétrica fornecida para as indústrias, residências, estabelecimentos comerciais etc, é fornecida por este tipo de máquina.

Para compreender o funcionamento de um gerador síncrono, segundo Del Toro (1994), utilizaremos como referência a Figura 2.7, a qual ilustra um rotor de dois polos, cujo enrolamento de campo é considerado como energizado por uma fonte cc para criar o fluxo do polo. Iremos considerar também que as peças dos polos têm formato que produz um campo de fluxo senoidal. No estator existe um enrolamento trifásico equilibrado, com o eixo de cada fase deslocado de 120° . Considerando que o rotor é acionado por uma força motriz provinda de uma máquina primária no sentido anti-horário na velocidade síncrona, aplicando-se a regra $\vec{v} \times \vec{B}$ para o sentido do campo, temos que a tensão instantânea induzida nos lados de bobina a, b',c' é dirigida para fora do papel, enquanto nos lados de bobina a', b, c é dirigida para dentro do papel.

Figura 2.7 - Distribuição da tensão induzida no enrolamento do estator de um gerador síncrono



Fonte: (Del Toro, 1994)

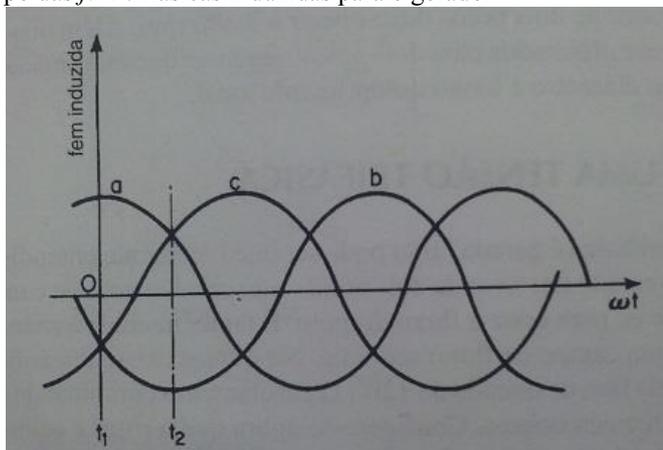
Os lados de bobina a e a' estão colocados abaixo do valor máximo da onda de densidade de fluxo, a *fem* induzida na fase a está em seu valor máximo. Os lados de bobina b e b' estão ambos deslocados da posição de densidade de fluxo máximo por 60° , portanto, sua tensão instantânea está na metade ($\cos 60^\circ$) de seu valor máximo. Para a fase c, pode ser usado o mesmo raciocínio. Pode-se encontrar os valores instantâneos em t_1 na Figura 2.8.

Três tensões senoidais defasadas em 120° são induzidas nos terminais da máquina devido ao efeito eletromagnético estabelecido pela lei da indução de Faraday-Lenz, já citada no início deste item.

O fluxo magnético tem velocidade constante, mas direção variável, pois o movimento do rotor depende da máquina primária a qual seu eixo está acoplado.

Agora, considerando que o rotor avançou 60° no sentido anti-horário, fazendo a mesma análise já feita anteriormente, pode-se encontrar os valores instantâneos visto em t_2 na Figura 2.8.

Figura 2.8 - Variação no tempo das *fem* trifásicas induzidas para o gerador



Fonte: (Del Toro, 1994)

Neste trabalho, são utilizados geradores síncronos trifásicos encontrados no mercado, com 4 pólos, sistema brushless, ligação estrela com neutro acessível, equipado com motor à diesel de 4 tempos, alternador para carga de bateria e motor de partida, usualmente encontrados no mercado.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Caracterização do estabelecimento alvo do Estudo de Caso

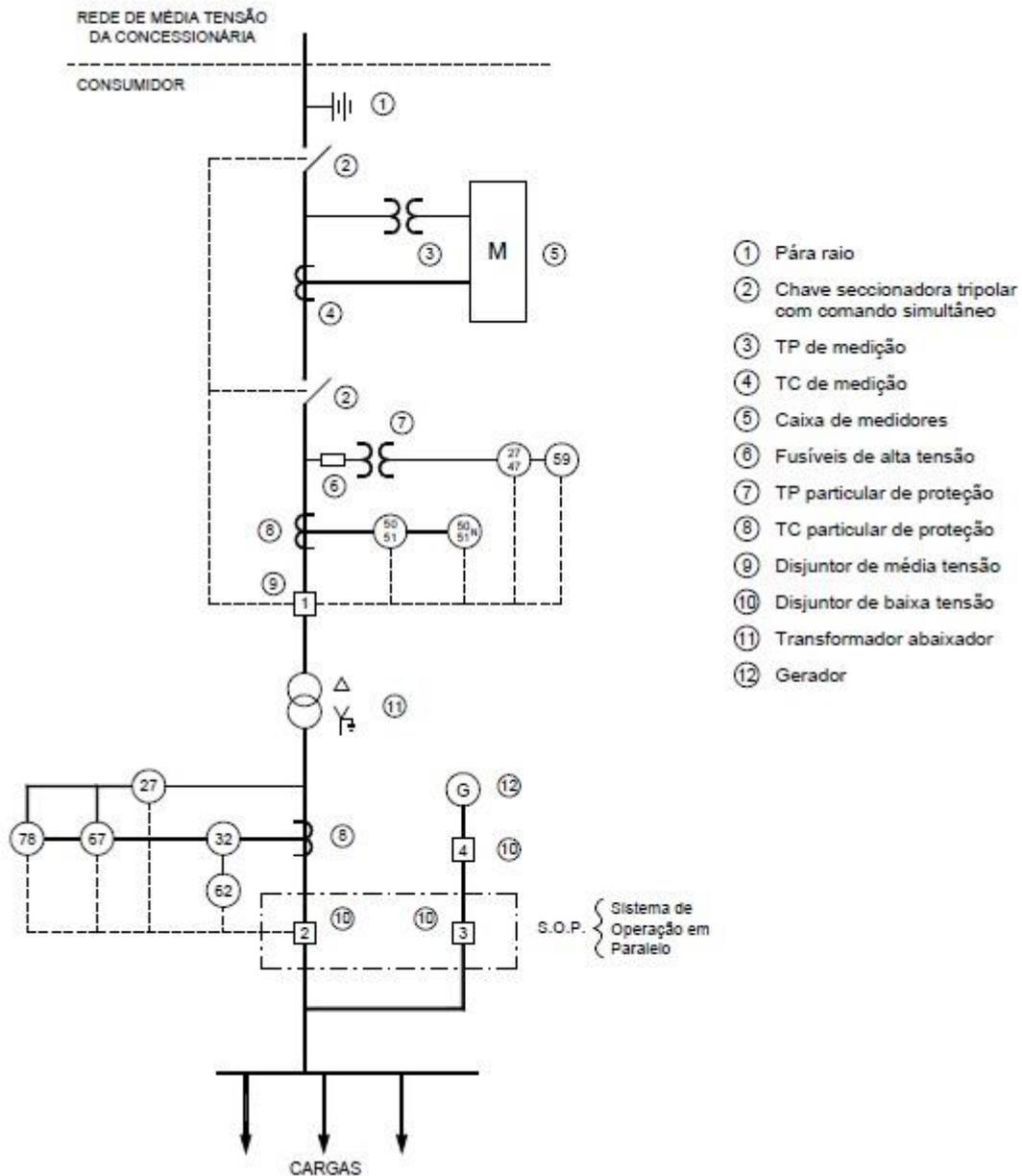
Para o desenvolvimento do Estudo de Caso do presente trabalho, primeiramente foi estimado um perfil de carga de um hospital hipotético de médio porte onde é feita uma grande reforma para modernização de suas instalações. O hospital está situado no município de São Paulo, no qual o fornecimento de energia elétrica é feita pela concessionária *AES Eletropaulo*.

A demanda contratada é igual a 2.500 kW e, segundo o LIG MT, o fornecimento de energia elétrica é em média tensão (13,8 kV). Pode-se verificar de acordo com o item 2.3, que este tipo de consumidor encaixa-se na categoria A4.

O estabelecimento conta com uma subestação transformadora que também será reformada para sua modernização. Esta, por meio de transformadores de potência isolados a seco, fornece energia em baixa tensão (380V-220V) para todas as cargas do hospital. Como requisito para o sistema de emergência, o hospital irá contar com grupos geradores de emergência, os quais atendem todas as cargas essenciais no caso de uma falta no fornecimento de energia elétrica; além de um sistema de energia estabilizada com *no-breaks* que fornece alimentação para as cargas mais sensíveis que não podem sofrer nenhuma interrupção até que os geradores assumam o fornecimento. O sistema de emergência é alterado de acordo com a melhor solução que é prevista no presente trabalho.

Para a conexão dos geradores no sistema de distribuição sem que haja nenhum paralelismo indevido dos geradores com a rede de fornecimento, é necessária a implementação de um sistema de sincronismo rede-gerador momentâneo que atendam às instruções específicas da *AES Eletropaulo* para este tipo de conexão, conforme já visto no capítulo anterior no item 2.4.1. O esquemático unifilar do sistema para paralelismo momentâneo rede-gerador na baixa tensão com proteção indireta pode ser visto na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Paralelismo momentâneo rede-gerador na baixa tensão - Proteção indireta - AES Eletropaulo



Fonte: AES Eletropaulo, 2015

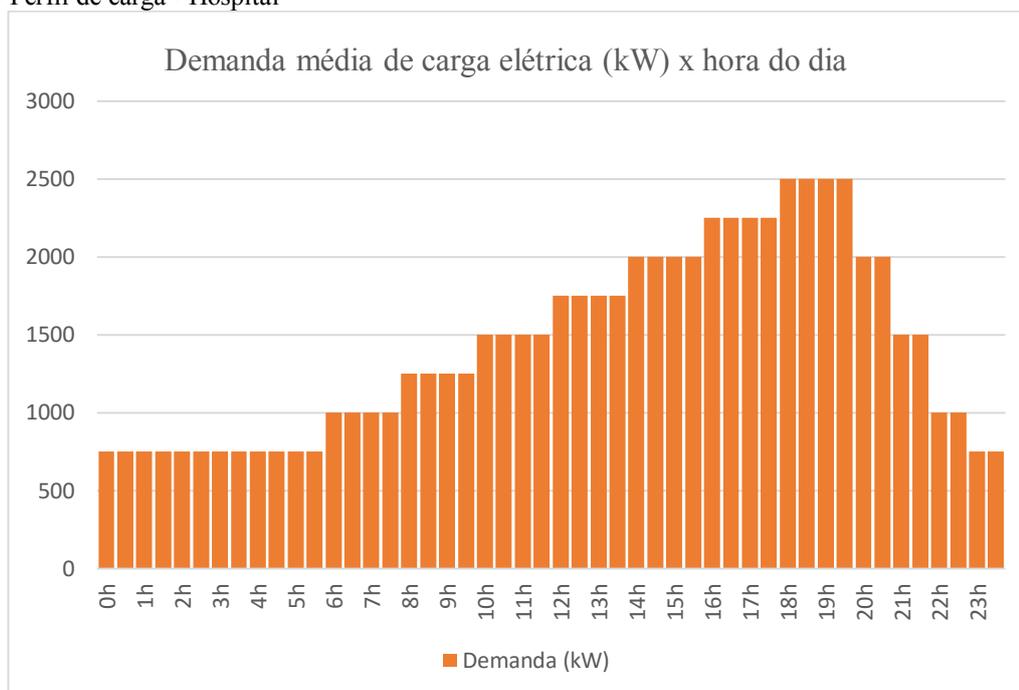
A transferência é fechada com paralelismo momentâneo de no máximo 15 segundos, de acordo com as exigências da concessionária; e a transferência é feita com rampa de carga, para que o intervalo que o fornecimento será interrompido não seja sentido pelos equipamentos do hospital.

Este tipo de consumidor possui uma demanda e um consumo muito elevado por conta da presença de especificidades verificadas em hospitais; tais como: requisitos especiais para iluminação e tomadas, equipamentos médico-hospitalares, equipamentos de imagem,

equipamentos de análise, unidades de tratamento intensivo e equipamentos de ventilação e ar condicionado.

Na Figura 3.2 é representado o perfil de carga do hospital, demonstrando a demanda média de carga elétrica durante o ano em cada hora do dia.

Figura 3.2 - Perfil de carga - Hospital



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015

Pode-se verificar pelo gráfico que a demanda máxima exigida pelo consumidor ocorre no período entre 18h e 19h, e tem o valor de 2,5 MW. Portanto, este seria o valor da demanda elétrica contratada junto a concessionária. Considerando que o mês possui 30 dias (sendo 22 dias úteis) e um ano possui 365 dias, chega-se nos seguintes resultados:

- Demanda elétrica contratada na Ponta: 2,5 MW
- Demanda elétrica contratada Fora da Ponta: 2,25 MW
- Consumo elétrico na Ponta: 156,75 MWh/mês (1881,0 MWh/ano)
- Consumo elétrico Fora da Ponta: 870,75 MWh/mês (10.449,0 MWh/ano)

Pode-se concluir também, que a demanda máxima atingida ocorre justamente durante o período considerado horário de ponta pela concessionária, o que reforça a necessidade de um estudo sobre a utilização de alternativas para o consumo durante este período, visto que a

cobrança na parcela da demanda que superar o valor da demanda contratada chega a ser de 3 a 3,4 vezes maior do que a tarifa normal.

Como o hospital já teria a necessidade de um sistema de emergência com uma potência aproximada de 1.100 kW, é considerado que já seria necessária a instalação de 2x grupos geradores de 750 kVA.

Como base de preço do diesel para distribuição, foi consultada a tabela de preços das últimas 4 semanas no site da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Os valores podem ser vistos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Diesel - Tabela de preços – São Paulo - últimas 4 semanas

MUNICÍPIO	SEMANA	Preço Distribuidora			
		PREÇO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	PREÇO MÍNIMO	PREÇO MÁXIMO
São Paulo	08/11/2015-14/11/2015	2,534	0,057	2,45	2,604
São Paulo	15/11/2015-21/11/2015	2,559	0,07	2,45	2,743
São Paulo	22/11/2015-28/11/2015	2,575	0,074	2,46	2,754
São Paulo	29/11/2015-05/12/2015	2,573	0,068	2,47	2,693

Fonte: ANP, 2015

3.2 Execução do estudo de viabilidade

Após todas as considerações apresentadas no item 3.1, é possível desenvolver o estudo de viabilidade em cima da utilização do uso de geração diesel no horário de ponta em um hospital de médio porte localizado em São Paulo, área de concessão de fornecimento de energia elétrica da *AES Eletropaulo*, considerando que o consumidor está inserido na categoria A4.

Primeiramente, verifica-se qual o enquadramento tarifário economicamente mais vantajoso para o hospital; em seguida, é feita uma comparação entre as opções possíveis de combinação dos grupos geradores para finalmente, calcular-se a viabilidade econômica.

Para calcularmos a conta de energia elétrica, utilizaremos as tarifas aplicadas pela concessionária para o Subgrupo A4 nas modalidades THS-Azul e THS-Verde, conforme demonstrado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Tarifas aplicadas Subgrupo A4 - AES Eletropaulo – base 05/12/2015

MODALIDADE TARIFÁRIA	SUBGRUPOS		
	A4 (2,3 a 25kV)		
	Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TUSD)		Tarifa Energia (TE)
	Demanda (R\$/kW)	Energia (R\$/kWh)	Energia (R\$/kWh)
TARIFA HORÁRIA AZUL			
PONTA	12,38	0,07763	0,36024
FORA PONTA	7,74	0,07763	0,22596
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA PONTA	24,76	-	-
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA FORA PONTA	15,48	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	0,23715
TARIFA HORÁRIA VERDE			
PONTA	7,74	0,37784	0,36024
FORA PONTA	-	0,07763	0,22596
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA	15,48	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	0,23715
TARIFA CONVENCIONAL BINÔMIA			
INTEGRAL	-	-	-
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA	-	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	0,23715

Fonte: AES Eletropaulo, 2015

Em cima destas tarifas, verifica-se o enquadramento tarifário mais vantajoso para o hospital, calculando-se o valor da conta de energia elétrica para as modalidades tarifárias horo-sazonal Azul e Verde nas condições atuais das instalações elétricas do hospital; ou seja, sem a utilização da geração diesel no horário de ponta, conforme pode ser visto na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3. Mais uma vez, considera-se que o mês possui 30 dias (sendo 22 dias úteis).

Tabela 3.2 - Cálculo conta de energia elétrica – THS-Azul – sem geração na ponta

Cálculo Conta de Energia Elétrica - sem geração na Ponta				
AES Eletropaulo A4 Azul	Custo s/ impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo(R\$)
Demanda na Ponta	R\$ 12,38 /kW	2.500	-	R\$ 371.400,00
Demanda Fora da Ponta	R\$ 7,74 /kW	2.250	-	R\$ 208.980,00
Consumo anual na Ponta	R\$ 0,43787 /kWh	-	1.881.000	R\$ 823.633,47
Consumo anual Fora da Ponta	R\$ 0,30359 /kWh	-	10.449.000	R\$ 3.172.211,91
Tarifa - Bandeira Vermelha	R\$ 0,045 /kWh	-	12.330.000	R\$ 554.850,00
Total Anual s/ impostos				R\$ 5.131.075,38
Impostos inclusos:		PIS/PASEP/COFINS		5,5%
		ICMS		18,0%
Total anual c/ impostos				R\$ 6.707.288,08

Fonte: (Elaborada pelo autor, 2015)

Tabela 3.3 - Cálculo conta de energia elétrica – THS-Verde - sem geração na ponta

Cálculo Conta de Energia Elétrica - sem geração na Ponta				
AES Eletropaulo A4 Verde	Custo s/ impostos	Demanda (kW)	Consumo (kWh)	Custo(R\$)
Demanda	R\$ 12,38 /kW	2.500	-	R\$ 371.400,00
Consumo anual na Ponta	R\$ 0,73808 /kWh	-	1.881.000	R\$ 1.388.328,48
Consumo anual Fora da Ponta	R\$ 0,30359 /kWh	-	10.449.000	R\$ 3.172.211,91
Tarifa - Bandeira Vermelha	R\$ 0,045 /kWh	-	12.330.000	R\$ 554.850,00
Total Anual s/ impostos				R\$ 5.486.790,39
Impostos inclusos:		PIS/PASEP/COFINS		5,5%
		ICMS		18,0%
Total anual c/ impostos				R\$ 7.172.275,02

Fonte: (Elaborada pelo autor, 2015)

Comparando-se as duas tabelas, é possível concluir que caso o hospital não considere a opção de utilizar geração à diesel no horário de ponta, a modalidade tarifária que é a mais vantajosa é a THS-Azul, a qual considera valores distintos entre demanda na ponta, fora da ponta e consumo na ponta e fora da ponta. Cabe agora a decisão da combinação de grupos geradores que teria o melhor retorno.

Para tanto, ao utilizar-se grupos geradores de 750 kVA assim como os grupos geradores de emergência, facilmente encontrados no mercado nacional, tem-se duas opções de geração de energia a partir do diesel do hospital (considerando um FP de 0,92):

- 1ª opção: inclusão de 1x grupo gerador de 750 kVA/690 kW com 80% de carregamento;
- 2ª opção: inclusão de 2x grupos geradores de 750 kVA/690 kW com 80% de carregamento;

A Tabela 3.4 mostra uma comparação feita entre as opções listadas acima, levando em consideração o custo total anual de energia elétrica, a economia operacional comparando cada opção listada acima com a solução sem geração na ponta, e o custo dos investimentos que são feitos para a implementação do sistema de geração na ponta, utilizando como premissa que o hospital já teria o investimento num sistema de emergência com 2x grupos geradores de 750 kVA. Em cima dessa comparação, é feito o cálculo do *payback* simples; ou seja, o tempo necessário para que todo o investimento feito tenha retorno.

O cálculo da conta de energia elétrica foi baseado nas tarifas cobradas pela AES Eletropaulo demonstrados no Quadro 3.1, considera-se que o enquadramento tarifário mais vantajoso para este consumidor é a THS-Azul. Além disso, como o Governo Federal e a ANEEL ainda não divulgaram oficialmente nenhuma confirmação de que a Bandeira

Vermelha do Sistema Tarifário será alterada, é considerado a tarifa de R\$ 0,045 por kWh consumido.

Para cálculo do custo do consumo de diesel, é consultado o catálogo do fabricante SDMO – Maquigeral; o grupo gerador de 750 kVA equipado com motor diesel PERKINS consome 146,8 litros de diesel para cada hora de funcionamento. Utilizando como base o valor médio do diesel mostrado na Tabela 3.1, é possível calcular o custo total anual do consumo de diesel, considerando a geração no horário de ponta.

Baseado numa proposta comercial de fornecimento de grupo gerador e todos os equipamentos necessários para controle, proteção, sincronismo e paralelismo na rede e abastecimento do sistema de combustível, calcula-se o custo por kW necessário para a implementação do sistema de geração à diesel, sendo este valor R\$ 883,75 por kW instalado. Ainda, em cima dessa proposta comercial, também é possível calcular o custo de operação e manutenção do sistema, R\$ 0,65 por kWh instalado.

Tabela 3.4 - Comparação – Opções Geração na Ponta

UTILIDADES	SEM GERAÇÃO NA PONTA	GERAÇÃO NA PONTA (3x750kVA)	GERAÇÃO NA PONTA (4x750kVA)
ENERGIA ELÉTRICA	AES Eletropaulo A4 AZUL	AES Eletropaulo A4 AZUL	AES Eletropaulo A4 AZUL
Demanda Energia Elétrica Ponta (kW)	2.500	844	292
Demanda Energia Elétrica Fora de Ponta (kW)	2.250	2.250	2.250
Consumo Anual Ponta (kWh)	1.881.000	602.448	165.264
Consumo Anual Fora Ponta (kWh)	10.449.000	10.449.000	10.449.000
Consumo Anual Total (kWh)	12.330.000	11.051.448	10.614.264
Custo Específico (R\$/kWh) - C/ Impostos	R\$0,54398	R\$0,50479	R\$0,48949
Custo anual total de energia elétrica	R\$6.707.288	R\$5.578.674	R\$5.195.526
CUSTO OPERACIONAL	SEM GERAÇÃO NA PONTA	GERAÇÃO NA PONTA (3x750kVA)	GERAÇÃO NA PONTA (4x750kVA)
Custo anual total de energia elétrica	R\$6.707.288	R\$5.578.674	R\$5.195.526
Custo diesel (consumo 146,8 l/h por gerador)	R\$0	R\$714.336	R\$952.448
Custo manutenção gerador (R\$ 0,65/kWh)	R\$0	R\$14.040	R\$18.720
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$6.707.288	R\$6.307.050	R\$6.166.694
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	R\$400.238 6%	R\$540.594 8%
INVESTIMENTOS	SEM GERAÇÃO NA PONTA	GERAÇÃO NA PONTA (3x750kVA)	GERAÇÃO NA PONTA (4x750kVA)
Aquisição e instalação do Grupo Gerador e equipamentos	R\$0	R\$530.250	R\$1.060.500
INVESTIMENTO TOTAL	R\$0	R\$530.250	R\$1.060.500
PAYBACK SIMPLES (anos)		1,3	2,0

Fonte: (Elaborada pelo autor, 2015)

3.3 Análise dos resultados obtidos

Após análise nos resultados demonstrados na Tabela 3.4, pode-se verificar que todas as soluções apresentadas são vantajosas economicamente para o hospital, sendo a opção com 1x grupo gerador de 750 kVA (além dos 2x grupos geradores de emergência) a opção que oferece o *payback* simples em menos tempo, aproximadamente um ano.

Entretanto, não é correto considerar os valores investidos hoje para calcular o tempo necessário para o retorno do investimento, pois o valor do dinheiro não se mantém fixo ao passar dos anos. Considerando um investimento feito hoje, o valor do retorno que será recebido no futuro pode não ter o mesmo valor; assim, o cálculo de *payback* feito anteriormente no item 3.2 não é totalmente efetivo.

Para obter-se uma projeção mais precisa e saber se o investimento é realmente vantajoso, pode-se utilizar o cálculo do VPL (Valor Presente Líquido), que nada mais é do que a diferença entre o valor presente de todos os fluxos de caixa do projeto descontados a uma taxa de juros adequadas e seu investimento inicial.

Para calcular o VPL com investimento inicial em $t = 0$, utilizaremos a equação (5):

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I \quad (5)$$

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido

r: taxa de desconto

FC_t : Fluxo de Caixa para t de 1 a n

I: Investimento inicial em $t = 0$

Conforme Tabela 3.4 e considerando a 1ª opção de instalação, o investimento inicial é de R\$ 530.250,00, que corresponde à aquisição e instalação do grupo gerador e dos equipamentos necessários para seu correto funcionamento; a economia operacional, ou seja, o Fluxo de Caixa corresponde a R\$ 400.238,00 por mês; e, para efeito de estudo, a taxa de desconto considerada foi de 10%.

A TIR (taxa interna de retorno) é definida como a taxa de desconto para a qual o VPL é nulo; ou seja, quanto maior o seu valor, mais lucrativo é o investimento.

Assim sendo, chegamos nos seguintes valores, mostrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na Figura 3.3.

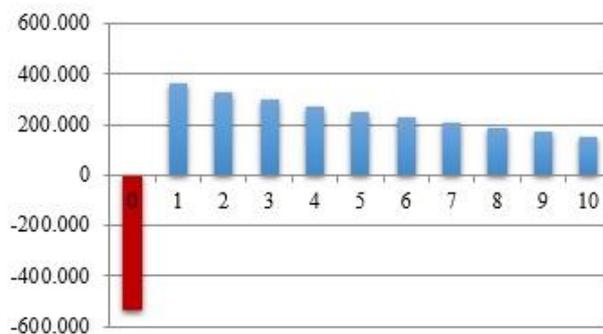
Tabela 3.5 - Resultado Financeiro

Resultado Financeiro (3x GMG 750 kVA)	
Payback simples	1,3 anos
Payback Descontado	1,5 anos
VPL	R\$ 1.929.041
TIR	75,2%

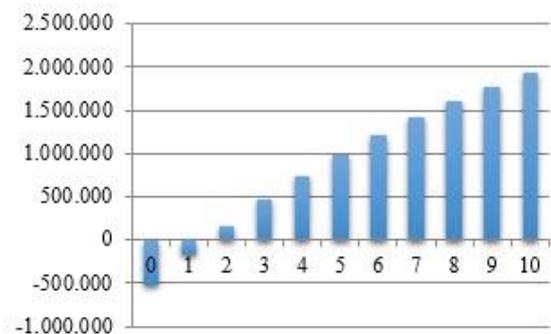
Fonte: (Elaborada pelo autor, 2015)

Figura 3.3 - Fluxo de caixa descontado e Fluxo de caixa acumulado

Fluxo de Caixa Descontado



Fluxo de Caixa Acumulado



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015

Por fim, utilizando o método do VPL para a 2ª opção de instalação, cujo investimento inicial é de R\$ 1.060.500,00 e a economia operacional; ou seja, o Fluxo de Caixa corresponde a R\$ 540.594,00 por mês, chega-se aos seguintes valores, mostrados na Tabela 3.6 e na Figura 3.4.

Tabela 3.6 - Resultado Financeiro

Resultado Financeiro (4x GMG 750 kVA)	
Payback simples	2,0 anos
Payback Descontado	2,3 anos
VPL	R\$ 2.261.217
TIR	50,1%

Fonte: (Elaborada pelo autor, 2015)

Figura 3.4 - Fluxo de caixa descontado e Fluxo de caixa acumulado



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015

Como o VPL na 2ª opção de instalação é maior num período de 10 anos, esta é a opção mais vantajosa economicamente para o hospital, pois o investimento feito trará o maior retorno mesmo que o período para o *payback* seja maior.

No esquemático unifilar visto na Figura 3.5, é demonstrado uma possível configuração da segunda opção, utilizando 4x grupos geradores de 750 kVA (já considerando os 2x grupos geradores que já seriam instalados para o sistema de emergência). Os geradores são interligados na USCA (Unidade de Supervisão de Corrente Alternada), a qual é responsável por coletar informações da rede como corrente e tensão e partir os grupos geradores, colocando-os em sincronismo com a rede e realizando a transferência em rampa a partir da QTA (Quadro de Transferência Automático), no caso de uma falta na rede ou em horários programados (horário de ponta, por exemplo).

A QTA possui disjuntores motorizados controlados por um sistema de paralelismo e transferência, o que garante que o fornecimento de energia elétrica para as cargas é provinda de apenas uma fonte por vez exceto no período do paralelismo momentâneo.

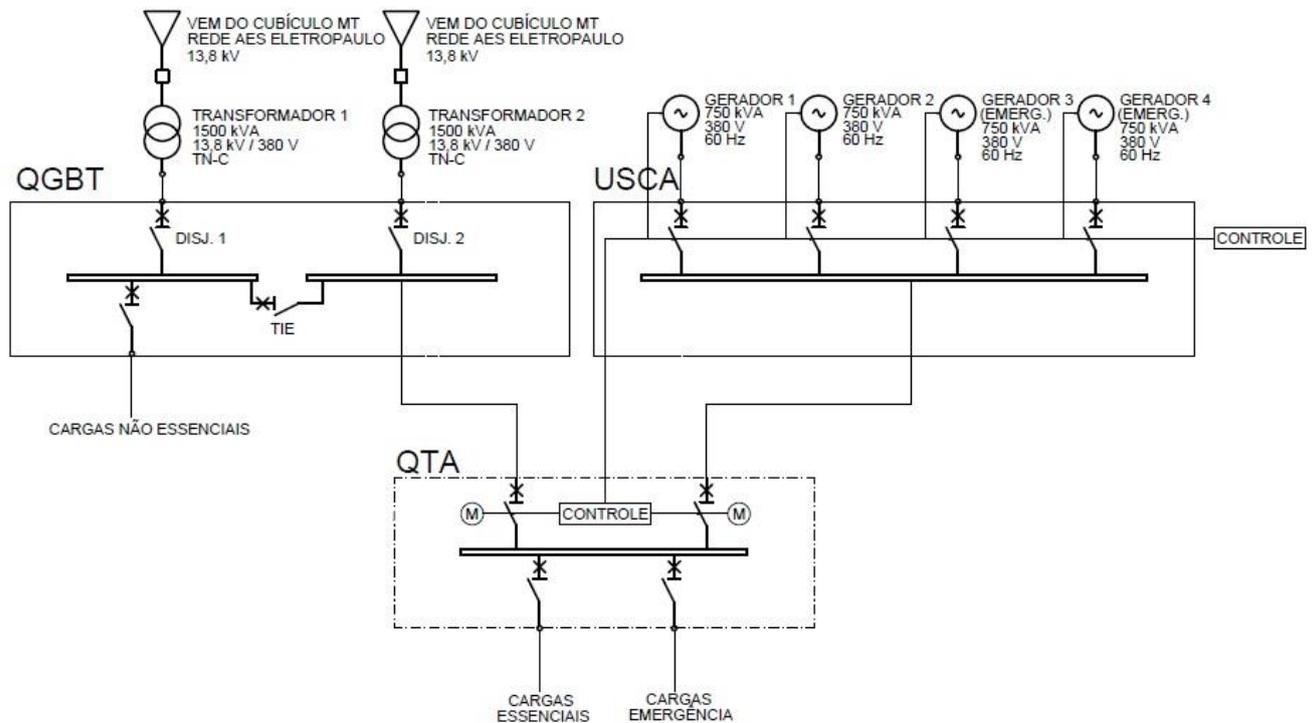
Por sua vez, 2x transformadores de potência isolados a seco de 1500 kVA fazem a transformação da média tensão (13,8 kV) provinda da rede da *AES Eletropaulo* para baixa tensão (380 V), tensão de trabalho das cargas do hospital. Tanto para os transformadores quanto para os geradores não se estimou regime à plena carga, visando prolongar a sua vida útil.

No QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão), um disjuntor “*tie-breaker*” interliga as duas seções da barra interna do quadro; o que possibilita mais um dispositivo de manobra, aumentando a resiliência do sistema.

Um estudo de cargas deve ser feito para definir o nível hierárquico das cargas do hospital:

- Cargas de Emergência: durante o horário fora de ponta devem ser alimentadas pela rede da concessionária e durante o horário de ponta devem ser alimentadas pelos grupos geradores, tendo total prioridade na alimentação pelos grupos geradores no caso de uma interrupção no fornecimento da rede da concessionária a qualquer momento (ex.: bombas de incêndio, bombas de pressurização, unidades de tratamento intensivo) – potência aproximadamente 1.100 kW;
- Cargas Essenciais: durante o horário fora de ponta devem ser alimentadas pela rede da concessionária e durante o horário de ponta devem ser alimentadas pelos geradores, podendo ser alimentadas ou não pelos grupos geradores no caso de uma interrupção no fornecimento da rede da concessionária – potência aproximadamente 1.100 kW;
- Cargas Não Essenciais: devem ser alimentadas pela rede da concessionária, não tendo fonte alternativa no caso de uma interrupção no fornecimento da rede da concessionária – potência aproximadamente 290 kW.

Figura 3.5 - Esquemático unifilar - 4x Grupos Geradores 750 kVA



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015

4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização de geração à diesel no horário de ponta, com o intuito de propor uma solução para que um hospital não sofresse um aumento expressivo em sua conta de energia elétrica, visto as tarifas diferenciadas que as concessionárias estão autorizadas a cobrar atualmente.

Pela natureza de suas atividades, um hospital não pode simplesmente diminuir seu consumo de energia, pois afetaria de forma expressiva os seus resultados, podendo até prejudicar pacientes e colocar em risco a vida destes. Todavia, também pela natureza de suas atividades, hospitais são obrigados a possuírem parte de seus circuitos alimentados por geradores de emergência; o que faz a geração no horário de ponta um investimento menos dispendioso do que em outros setores de serviços.

Algumas soluções são propostas e analisadas, de forma que a melhor opção encontrada é a de utilizar 4x grupos geradores de 750 kVA cada, tendo uma economia de até R\$ 540.594,00 por ano, um valor que pode ser direcionado para outros investimentos na melhoria do hospital.

Através da utilização do método do Valor Presente Líquido, pode-se calcular que o retorno do investimento nesta solução se daria em aproximadamente 2 anos; o que justifica o investimento, pois se todas as manutenções forem feitas corretamente, a vida útil de um gerador é muito maior que este período. O VPL calculado num período de 10 anos é igual a R\$ 2.261.217,00.

A partir do 3º ano, o hospital evitará desperdícios consideráveis com custos de energia elétrica. Além disso, com a atual inflação em alta, o preço do diesel que foi considerado para os cálculos está com valor muito elevado, podendo diminuir o tempo de retorno do investimento quando seu valor voltar ao normal.

Além da solução apresentada, outras podem ser citadas para a economia de energia; entre elas alguns exemplos são:

- A implementação de um sistema de cogeração;
- A melhoria na eficiência dos equipamentos elétricos (de ar condicionado, por exemplo);
- Um plano de conscientização dos funcionários para a economia de energia;
- A inclusão de sensores de presença nos comandos de iluminação;

- Banco de gelo para acumulação térmica a fim de uma melhor distribuição no perfil de consumo;
- A substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas LED.

REFERÊNCIAS

AES Eletropaulo. **Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição LIG BT**. 12 ed. 2014. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/manuais-normas-tecnicas-e-de-seguranca/conteudo/lig-bt>>. Acesso em 03 de dezembro de 2015.

AES Eletropaulo. **Fornecimento de energia elétrica em tensão primária de distribuição LIG MT**. 2011. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/manuais-normas-tecnicas-e-de-seguranca/conteudo/lig-mt-2011>>. Acesso em 03 de dezembro de 2015.

AES Eletropaulo. **Requisitos mínimos para interligação de gerador de consumidor primário com a rede de distribuição da AES Eletropaulo metropolitana com paralelismo momentâneo – Nota Técnica 6.005**. 5 rev. 2011. Disponível em: <https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/geradores-de-energia/Documents/NT_6005_rev%2005_VAC.pdf>. Acesso em 07 de dezembro de 2015.

AES Eletropaulo. **Sistema de tarifação de energia**. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/sistema-de-tarifacao-de-energia>>. Acesso em 05 de dezembro de 2015.

AES Eletropaulo. **Tarifa de energia elétrica**. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica>>. Acesso em 05 de dezembro de 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 482**: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências, de 17 de abril de 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=757>>. Acesso em 24 de novembro de 2015.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Síntese dos preços praticados – São Paulo – Diesel (R\$/l)**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Quatro_Municipio.asp>. Acesso em 05 de dezembro de 2015.

DEL TORO, V. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. 550p.

DOS REIS, L. O. M.; ROSSI, R. **Máquinas Síncronas – Geração de Energia**. 2014

Engelétrica. **Manual de correção do fator de potência**. Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>>. Acesso em 24 de novembro de 2015.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica DEA 11/14 – Nota Técnica ONS 092/2014**. 1ª Revisão Quadrimestral das Projeções da demanda de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional. 2014-2018. Rio de Janeiro. Junho de 2014.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C. JR.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 648p.

INEE. Instituto Nacional de Eficiência Energética. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em 24 de novembro de 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2014**. Edição de junho de 2015.

O GLOBO. **Governo prevê risco menor de falta de energia.** Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/governo-preve-risco-menor-de-falta-de-energia-18226834>>. Acesso em 07 de dezembro de 2015.

PERFECTUM SERVIÇOS DE ENGENHARIA. **Chaves de transferência automática – Chaves reversoras.** Disponível em: <<http://www.perfectum.eng.br/energia/ATS.html>>. Acesso em 08 de dezembro de 2015.