



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS SOBRAL  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**LUCAS COUTO MONTENEGRO**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. ESTUDO DE CASO EM UNIDADES  
CONSUMIDORAS DA COMPANHIA CAGECE.**

**SOBRAL**

**2016**

LUCAS COUTO MONTENEGRO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. ESTUDO DE CASO EM UNIDADES  
CONSUMIDORAS DA COMPANHIA CAGECE.**

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Isaac Rocha Machado

**SOBRAL**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M783e Montenegro, Lucas Couto.  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. ESTUDO DE CASO EM UNIDADES CONSUMIDORAS DA  
COMPANHIA CAGECE. / Lucas Couto Montenegro. – 2016.  
80 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. Isaac Rocha Machado.

1. Eficiência Energética. 2. Auditoria Energética. 3. Motores Elétricos. 4. Fator de Potência. 5.  
Sistemas Fotovoltaicos. I. Título.

CDD 621.3

---

LUCAS COUTO MONTENEGRO

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. ESTUDO DE CASO EM UNIDADES  
CONSUMIDORAS DA COMPANHIA CAGECE.**

Dissertação apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Isaac Rocha Machado

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Isaac Rocha Machado (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Erasmo Saraiva de Castro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng.<sup>o</sup> José Airton Carneiro Neto  
Engenheiro Eletricista Proprietário da Empresa AC Engenharia.

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Mosar Montenegro de Sousa e Francisca  
Neide Couto de Sousa, Pelo apoio e  
dedicação em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade da vida e por a cada dia me dar sabedoria e coragem para seguir em frente. Em seguida obrigado aos meus pais que mesmo com todas as dificuldades nunca deixaram de me apoiar ao longo de toda essa jornada e agradecer pela preocupação e paciência que tiveram para me criar e educar.

Ao professor Dr. Isaac Rocha Machado pelas dicas e pelo empenho em me orientar ao longo de todo este trabalho.

À todos os meus professores, que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica e humana agregando valores e ensinamentos à serem seguidos.

À todos que compõem a Companhia CAGECE - Unidade de Sobral, que me proporcionou a oportunidade de realização do estudo em suas unidades consumidoras, dando toda a atenção e o suporte de informações necessárias para conclusão do mesmo, agradecer em especial ao supervisor da eletromecânica, Marcos Venício Moraes e ao estagiário, colega e amigo Geraldo Carlos, por todo o apoio dado a este trabalho.

Por fim, em especial agradecer a minha namorada Andressa Prado, por estar ao meu lado sempre que precisei me dando motivação e força nos momentos de dificuldades que surgiram ao longo deste trabalho e de todo o curso, muito obrigado.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.”

Charles Darwin

## RESUMO

O tema eficiência energética vem se popularizando nos últimos anos no Brasil e no mundo e ganhando cada vez mais espaço no setor elétrico. Esse crescimento está relacionado à preocupação com a instabilidade das reservas energéticas e devido às restrições ambientais que vem se agravando a cada dia. A eficiência energética busca então aplicar métodos que proporcionem a conservação de energia seja na área residencial, comercial ou industrial. O presente trabalho tem como proposta principal avaliar, identificar e solucionar possíveis pontos de desperdícios de energia ou problemas que estejam vindo a gerar custos adicionais relacionados ao faturamento de energia elétrica em duas unidades consumidoras da Companhia CAGECE. Serão realizados estudos dos históricos energéticos das unidades consumidoras, levantamento da carga instalada, análise dos motores instalados nas unidades e verificação da viabilidade de implantação de fontes alternativas de energia. Este estudo tem como objetivo realizar a análise de eficiência energética unindo os pontos de vistas teóricos, técnicos e econômicos para gerar medidas de redução dos desperdícios de energia.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Motores Elétricos. Conservação de Energia. Fator de Potência. Auditoria Energética. Sistema Fotovoltaico. Unidade Consumidora.

## **ABSTRACT**

The issue energy efficiency has become more popular in recent years in Brazil and in the world and gaining more space in the electricity sector, this growth is related to concerns about the instability the energy reserves and due to environmental restrictions has been worsening every day. Energy efficiency objective is to apply methods that provide energy conservation is in the residential, commercial or industrial. This work has the main purpose to evaluate, identify and address potential points of energy waste or problems that are coming to entail additional costs related to electricity sales in two consumer units of CAGECE Company. Studies will be conducted energy historical consumer units, raising the installed load, analysis of the electrical motors installed on the unit and check the feasibility of implementation of alternative energy sources. This study aims to conduct energy efficiency analysis uniting the views theoretical, technical and economic to generate measures to reduce energy waste.

**Keywords:** Energy Efficiency. Electric Motors. Energy Conservation. Power Factor. Energy Audit. Photovoltaic System. Consumer Unit.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de Um Programa de Uso Racional de Energia.....	21
Figura 2 – Etapas de uma Auditoria Energética.....	22
Figura 3 – Constituição de um sistema fotovoltaico autônomo.....	27
Figura 4 – Constituição de um sistema fotovoltaico ligado à rede.....	29
Figura 5 – Fluxograma representando as etapas para dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado á rede.....	33
Figura 6 – Imagem da plataforma do <i>Software ‘PVWatts’</i> para incluir a localização.....	34
Figura 7 – Imagem da plataforma do <i>Software ‘PVWatts’</i> indicando a localização mais próxima.....	34
Figura 8 – Imagem da plataforma do <i>Software ‘PVWatts’</i> para incluir os dados do sistema fotovoltaico. ....	35
Figura 9 – Imagem da plataforma do <i>Software ‘PVWatts’</i> indicando os resultados de geração.....	35
Figura 10 – Método de abatimento do consumo a partir da geração fotovoltaica.....	36
Figura 11 – Plataforma no Site da WEG para simulação econômica da troca de motores.....	43
Figura 12 – Triângulo das potências.....	44
Figura 13 – Foto do Motor de 50CV acoplado a uma bomba para captação da água no reservatório de Hidrolândia. Foto realizada durante ampliação da adutora.....	48
Figura 14 – Placa de Dados do Motor de 50CV da unidade de Hidrolândia.....	48
Figura 15 – Gráfico da Demanda Mensal da Unidade Consumidora de Hidrolândia.....	49
Figura 16 – Gráfico do Consumo Mensal da Unidade Consumidora de Hidrolândia.....	49
Figura 17 – Gráfico do Fator de Potência Mensal da Unidade Consumidora de Hidrolândia.	50
Figura 18 – Gráfico da Potência Reativa Excedente Mensal da Unidade Consumidora de	

Hidrolândia.....	50
Figura 19 – Imagem de como os painéis devem ser dispostos.....	57
Figura 20 – Potencial anual de produção de energia fotovoltaica para unidade consumidora de Hidrolândia.....	59
Figura 21 – Foto do motor de 50CV acoplado a uma bomba responsável pela captação da água do reservatório e transporte até a estação de tratamento de Frecheirinha. Motor fixado a uma balsa flutuante.....	64
Figura 22 – Motor de 60CV responsável pela captação da água tratada e do transporte até o reservatório de distribuição da unidade de Frecheirinha. Foto do motor utilizado e motor reserva.....	64
Figura 23 – Placa de Dados do motor de 60CV na unidade de Frecheirinha.....	65
Figura 24 – Foto dos Motores de 15CV responsáveis por realizar a limpeza dos filtros na unidade de Frecheirinha. Dois motores utilizados e um motor reserva.....	65
Figura 25 – Placa de Dados do Motor de 15CV da unidade de Frecheirinha.....	66
Figura 26 – Banco de Capacitor de 45kVAr instalado na unidade consumidora de Frecheirinha.....	66
Figura 27 – Gráfico da Demanda Mensal da Unidade Consumidora de Frecheirinha.....	67
Figura 28 – Gráfico do Consumo Mensal da Unidade Consumidora de Frecheirinha.....	67
Figura 29 – Gráfico do Fator de Potência Mensal da Unidade Consumidora de Frecheirinha.	68
Figura 30 – Gráfico da Potência Reativa Excedente Mensal da Unidade Consumidora de Frecheirinha.....	68
Figura 31 – Imagem do Programador Diário/Semanal á ser utilizado.....	71
Figura 32 – Foto do painel de controle com <i>soft-starters</i> na unidade consumidora de Frecheirinha.....	76

Figura 33 – Potencial anual de produção de energia fotovoltaica para unidade consumidora de

Frecheirinha..... 80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Excedente Reativo na unidade consumidora de Hidrolândia.....	52
Tabela 2 – Tabela das especificações técnicas do Painel fotovoltaico.....	54
Tabela 3 – Tabela das especificações técnicas do inversor.....	55
Tabela 4 – Tabela das condições exigidas para o funcionamento correto do sistema fotovoltaico.....	56
Tabela 5 – Tabela de Custos para Implantação do Sistema Fotovoltaico na unidade de Hidrolândia.....	58
Tabela 6 – Tabela da Economia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês na unidade consumidora de Hidrolândia.....	60
Tabela 7 – Tabela indicando o <i>Payback</i> do investimento fotovoltaico na unidade consumidora de Hidrolândia.....	61
Tabela 8 – Tabela indicando o <i>Payback</i> da implantação dos métodos simultaneamente.....	62
Tabela 9 – Excedente Reativo na unidade consumidora de Frecheirinha.....	70
Tabela 10 – Tabela de Payback simples para substituição de motores de 15CV.....	73
Tabela 11 – Tabela de Payback simples para substituição de motores de 50CV.....	74
Tabela 12 – Tabela de Payback simples para substituição de motores de 60CV.....	75
Tabela 13 – Tabela das condições exigidas para o correto funcionamento do sistema fotovoltaico.....	79
Tabela 14 – Tabela de custos para Implantação do sistema fotovoltaico na unidade de Frecheirinha.....	80
Tabela 15 – Tabela da Economia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês na unidade consumidora de Frecheirinha.....	81
Tabela 16 – Tabela indicando o <i>Payback</i> do investimento fotovoltaico na unidade consumidora	

de Frecheirinha..... 82

Tabela 17 – Tabela indicando o *Payback* da implantação dos métodos simultaneamente..... 83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará.
CC	Corrente Contínua
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética.
COELCE	Companhia Energética do Ceará
FDI	Fator de Dimensionamento do inversor
FER	Faturamento de Energia Reativa
FDR	Faturamento de Demanda Reativa
FP	Fator de Potência
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.
PWM	Pulse Width Modulation (Modulação de Largura de Pulso)
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

W	Watts
Wp	Watts de Pico
A	Amperes
V	Volts
Hz	Hertz
h	Hora
min	Minutos
kW	Quilowatts
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
kWh	Quilowatts-hora
MWh	Megawatts-hora
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metros Quadrados
mm	Milímetro
CV	Cavalo-vapor
VA	Volt Ampere
kVA	QuiloVolt Ampere
VAr	Volt Ampere Reativo
kVAr	QuiloVolt Ampere Reativo
R\$	Reais
Kg	Quilogramas
°	Graus
η	Rendimento

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	Objetivos.....	18
1.2	Organização do Trabalho.....	18
<b>2</b>	<b>AUDITORIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>25</b>
3.1	Princípios de Funcionamento das Células Fotovoltaicas.....	26
3.2	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	27
3.2.1	Sistemas Isolados (Autônomos).....	27
3.2.2	Sistemas Híbridos.....	28
3.2.3	Sistemas Conectados á Rede.....	28
3.3	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	30
3.3.1	Dimensionamento de Um sistema Fotovoltaico Conectado á Rede.....	30
3.4	Orçamento e Cálculo Econômico da Implantação com a Utilização do Software PVWatts.....	33
<b>4.</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	Adequação da Potência do Motor.....	38
4.1.1	Utilização de Controladores de Velocidade.....	39
4.1.2	Utilização de Motores de Alto Rendimento.....	41
4.1.2.1	Economia Obtida.....	42
<b>5.</b>	<b>CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA PARA PROMOVER EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>44</b>
5.1	Correção do Fator de Potência.....	45
<b>6.</b>	<b>ESTUDO DE CASO NA COMPANHIA CAGECE.....</b>	<b>47</b>
6.1	Estudo de Eficiência Energética em Unidade Consumidora da Companhia CAGECE De Hidrolândia.....	47
6.1.1	Especificações da Empresa.....	47
6.1.2	Estudos Energéticos.....	47
6.1.3	Análise de Racionalização de Energia.....	51
6.1.3.1	Correção de Fator de Potência Para Eficiência Energética.....	51
6.1.3.2	Viabilidade de substituição de Motores.....	53
6.1.3.3	Viabilidade de Implantação de Sistema Fotovoltaico Como Fonte Alternativa de Energia.....	53
6.1.4	Considerações Adicionais da Unidade Consumidora de Hidrolândia.....	61

6.2	Estudo de Eficiência Energética em Unidade Consumidora da Companhia CAGECE de Frecheirinha.....	63
6.2.1	Especificações da Empresa.....	63
6.2.2	Estudos Energéticos.....	63
6.2.3	Análise de Racionalização de Energia.....	69
6.2.3.1	Correção de Fator de Potência Para Eficiência Energética.....	69
6.2.3.2	Viabilidade de substituição de Motores.....	71
6.2.3.3	Viabilidade de Implantação de Sistema Fotovoltaico Como Fonte Alternativa de Energia.....	77
6.2.4	Considerações Adicionais da Unidade Consumidora de Hidrolândia .....	83
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>84</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente observa-se o aumento diário da necessidade da utilização de energia elétrica na sociedade em geral. Este fato pode ser relacionado ao crescimento populacional juntamente associado ao crescimento da utilização de aparelhos eletroeletrônicos, aumento das atividades industriais, maior adesão por processos de produção automatizados, além do fato da má utilização da energia. Esse aumento preocupa os órgãos responsáveis pelo fornecimento de energia devido ao cenário de incerteza de abastecimento energético e também por conta das restrições ambientais que surgem a cada dia.

Tendo em vista o cenário energético atual e a fim de evitar uma crise energética, cada vez mais são desenvolvidos estudos que visam os olhares para o uso eficiente de energia. Buscando então reduzir o consumo e promover o uso racional da energia, o governo criou medidas que visam contribuir de alguma forma para melhoria deste cenário, como a instituição do CGIEE (Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética), do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) dentre outros programas desenvolvidos a fim de realizar a conscientização da população para o uso racional de energia.

A maioria dos programas desenvolvidos se volta para a conservação da energia em residências, onde no caso do selo PROCEL se desenvolve o processo de etiquetagem de aparelhos eletrodomésticos como geladeiras, congeladores, aparelhos de ar condicionado, ventiladores de teto e também para componentes de iluminação como lâmpadas fluorescentes compactas e reatores eletrônicos e esse processo de etiquetagem é realizado para classificar o consumo de cada aparelho, sinalizando para o consumidor qual eletrodoméstico apresenta melhor eficiência. Porém, o setor industrial, dono da maior parte da demanda energética nacional, também visa promover a eficiência energética, tanto pelo fato das restrições energéticas e ambientais, mas também motivado pela questão econômica, visando reduzir os custos com energia elétrica mantendo a produtividade, gerando maiores lucros.

De acordo com Almada *et al.*, (2016) eficiência energética se resume em conseguir um melhor desempenho na produção de determinados bens com um menor consumo de energia elétrica, de maneira que a quantidade produzida não seja alterada. As vantagens promovidas por essas práticas eficientes são, economia de energia

elétrica, combate ao desperdício, economia monetária, otimização da produção, eficiência ambiental.

Dentre algumas iniciativas que estão sendo tomadas tanto no setor industrial como nas residências para gerar o uso eficiente da energia podem ser citadas, a implantação de fontes alternativas de energia elétrica, a substituição de aparelhos mais antigos por aparelhos novos mais eficientes, a correção do fator de potência, a troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de Led, entre outras.

Pode-se então observar que a utilização de técnicas que visem reduzir e racionalizar o consumo de energia está atraindo cada vez mais o interesse da sociedade, seja no setor industrial, comercial ou residencial. Estas técnicas que visam reduzir o consumo e aumentar a eficiência energética são muito promissoras, pois ao se realizar o uso racional de energia está se reduzindo a demanda de produção da mesma. Uma vez que seja realizado o uso eficiente de energia por grande parte dos consumidores, a demanda nacional de produção reduziria consideravelmente, reduzindo ou evitando impactos ambientais, caso contrário, ao se utilizar a energia de forma desordenada, esta demanda aumentaria de tal forma que seria necessário a tomada de providências que acabam acarretando impactos ambientais graves, como a criação de novas hidroelétricas, que causam desmatamento e alagamento de grandes regiões. Outra providência a ser tomada para suprir a demanda nacional seria o acionamento das termelétricas, aumentando a emissão de gases poluentes.

Porém, o principal fator que vem impulsionando a atratividade pelo mercado da eficiência energética é a questão econômica, pois as diversas formas de consumo eficiente de energia geram redução de perdas, vindo a gerar economia de energia, redução nos custos de produção e promovendo maior competitividade das empresas no mercado.

Os aumentos constantes das tarifas de energia elétrica em todo o Brasil tem feito com que cada vez mais se torne imprescindível, principalmente em indústrias, à utilização de meios que garantam o consumo eficiente de energia, visando economizar em seus processos de produção. Onde a economia gerada a partir dos meios de eficiência pode ser destinada tanto a inovações tecnológicas, quanto desenvolvimento de novas formas de produção, como também podendo vir a aumentar o faturamento líquido da empresa.

Para que se garanta o uso eficiente de energia em qualquer que seja o setor da sociedade, se faz necessário a realização de um estudo energético da unidade

consumidora na qual se pretende otimizar, seja ela uma indústria, comércio ou residência. Este estudo é chamado de Auditoria Energética, também conhecida como Análise Energética, onde através de um trabalho técnico e minucioso se identifica quais as medidas devem ser tomadas nesta unidade consumidora a partir do fluxo energético, identificando as perdas e gerando um plano de atividades a serem realizadas.

Ao longo deste trabalho será realizado o estudo de eficiência energética referente a duas unidades consumidoras da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) situada uma delas no município de Hidrolândia na localidade de Arajá e a outra situada no sítio Angicos na cidade de Frecheirinha, ambas as unidades estão localizadas na região Norte do estado do Ceará. Estas unidades são responsáveis por realizar o abastecimento de água da região, bombeando água dos reservatórios para a devida estação de tratamento.

### **1.1. Objetivos**

Este estudo visa sanar os problemas de perdas existentes nestas unidades consumidoras, realizando um levantamento da carga instalada, verificando as condições de suprimento nas quais estão submetidas, analisando a situação dos motores utilizados e do tipo de acionamento dos mesmos, além da verificação do fator de potência das unidades e a verificação da viabilidade de utilização de uma fonte alternativa de energia.

### **1.2. Organização do Trabalho**

Nos capítulos seguintes serão apresentados os passos para realização deste estudo, serão apresentados ainda os possíveis métodos para solucionar problemas de eficiência energética, tanto para estas unidades, como para casos semelhantes em outras unidades. Por fim será exposto estudo de caso realizado nas duas unidades consumidoras da companhia CAGECE.

As duas unidades consumidoras auditadas apresentam um alto valor pago pelo consumo de energia elétrica, tanto em hora de ponta, quanto em hora fora de ponta, além de apresentar uma alta taxa de multa paga por excedente reativo em suas instalações. A fim de solucionar tais problemas será realizado o estudo de viabilidade de implantação de sistema de geração de energia fotovoltaica como fonte alternativa de energia, visando reduzir o valor pago pelo consumo mensal e pela demanda contratada

nas unidades. Será avaliada ainda a viabilidade de substituição dos motores presentes nas unidades consumidoras, além de analisar a forma de acionamento dos mesmos e verificar a possibilidade de implantação de uma forma de acionamento mais eficiente, visando reduzir o consumo através de motores de alta eficiência e com correntes de partida menores. Será realizado ainda o estudo de correção do fator de potência, verificando a necessidade de instalação de banco de capacitores com o objetivo de minimizar o valor pago pelas multas de excedentes reativos.

## 2. AUDITORIA ENERGÉTICA

Com o surgimento da necessidade da sustentabilidade energética e com o crescente aumento nos preços das tarifas de energia e dos combustíveis, houve um acréscimo na atração pelo uso racional de energia. A partir desse cenário a eficiência energética vem ganhando cada vez mais espaço a fim de promover redução de custos e economia de energia.

Para que possa se promover eficiência energética, se faz necessário unir noções teóricas e práticas de áreas distintas, podendo citar algumas como: engenharia, economia e administração aplicadas ao setor energético. Ao se deparar diariamente com as complexidades que o setor energético apresenta, busca-se então, definir métodos e plano de ações que possam vir a reduzir o consumo e minimizar as perdas energéticas. Para realizar a racionalização do uso de energia é interessante que se determine quem, quanto e como está se consumindo energia na unidade consumidora na qual está se realizando o estudo. Com esse propósito a auditoria energética aparece como o estudo responsável por, juntamente com os dados de fluxo energético de cada unidade, apontar as áreas nas quais merecem maior enfoque e fundamentar o uso racional de insumos energéticos.

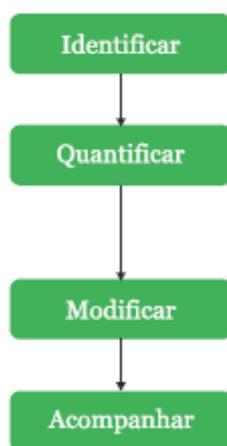
Segundo Bortoni *et al.*, (2007), antes de realizar qualquer atividade é preciso conhecer e diagnosticar a realidade energética, para então estabelecer as prioridades, implantar os projetos de melhoria e redução de perdas e acompanhar seus resultados em um processo contínuo. Esta abordagem é válida para instalações novas, em caráter preventivo, ou instalações existentes, em caráter corretivo, em empresas industriais ou comerciais.

A auditoria energética surgiu em meados de 1980 na indústria com o intuito de reduzir as perdas e realizar um programa de uso racional de energia, por meio de uma análise dos fluxos de energia em um determinado sistema elétrico. Porém essa análise energética não se restringe apenas a redução de perdas, podendo também realizar estudos para redução dos custos com energia, sendo por uma substituição da fonte energética em determinados casos (substituição da energia da rede elétrica pela utilização de grupo gerador movido a combustíveis fósseis) ou ainda por meio de uma análise de mudança de modalidade tarifária (mudança da modalidade optante grupo B para grupo A) dentre outros métodos como a implantação de painéis fotovoltaicos conectados a rede elétrica. A auditoria irá determinar para cada caso qual medida deverá

ser tomada ao término da análise detalhada de determinada unidade consumidora, sempre buscando aplicar os conceitos de engenharia aliados a análises econômicas, pois sempre irão ser levados em conta os custos de investimento e custos operacionais relacionando-os aos lucros obtidos.

O processo de eficiência energética passa por algumas etapas que podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas de Um Programa de Uso Racional de Energia



Fonte: Bortoni et al., (2012)

A auditoria energética está compreendida nas duas primeiras etapas, onde se faz necessário conhecer o cenário energético, para posteriormente diagnosticar, executar medidas de melhorias e acompanhar os resultados obtidos. Durante a auditoria se faz necessário analisar e responder quatro perguntas:

- Quanta energia está sendo consumida?
- Quem está consumindo energia?
- Como se está consumindo?
- Com qual eficiência se está consumindo?

Porém estas questões não realizam o uso eficiente da energia, elas são propostas como um passo inicial ao processo de racionalização, para que se possam identificar pontos críticos, estabelecer metas, criar planos de atividades e identificar prioridades.

Foram desenvolvidas pelo PROCEL algumas metodologias para se realizar uma auditoria energética, algumas delas são apresentadas a seguir.

**Diagnóstico Energético** – Este procedimento não trata da parte de aspectos econômicos, ele foca exclusivamente no setor elétrico. Neste método se avalia a unidade

consumidora em questão realizando o estudo do consumo e comparando os principais setores de produção, onde por meio de levantamento de dados identifica os pontos críticos e se identificam os equipamentos que necessitam de atuação.

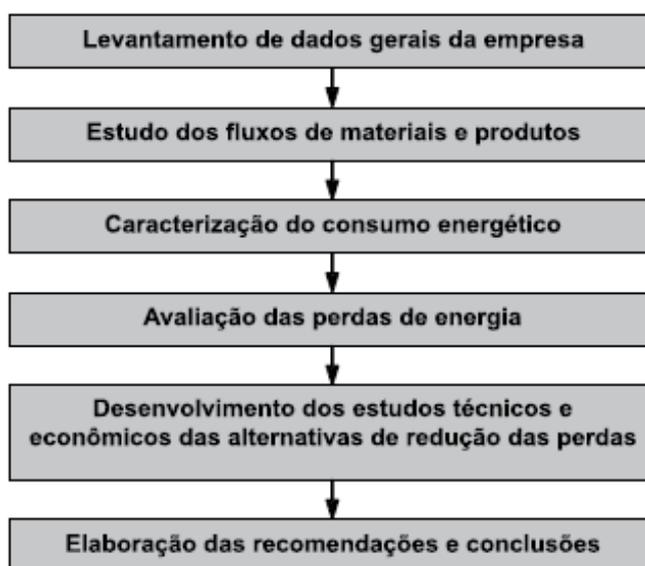
**Auto avaliação dos pontos de desperdício de Energia Elétrica** – Através deste procedimento se realiza a identificação dos pontos de perda e é calculada a economia gerada ao solucionar os problemas responsáveis pelo desperdício em cada ponto.

**Estudo de otimização energética** – Este método inclui estudos econômicos e permite a análise do uso de combustíveis e eletricidade, a fim de propor medidas alternativas e realizar eficiência energética para a unidade consumidora. Pode ser realizada com ajuda de softwares e aplicativos.

As metodologias apresentadas anteriormente são metodologias padronizadas, porém não necessariamente devem ser obrigatoriamente seguidas, pois qualquer estudo realizado a fim de racionalizar o uso da energia ou o custo que ela gera pode ser considerado uma auditoria energética, logo esses procedimentos podem ser modificados em um estudo particular e até aperfeiçoados.

A Figura 2 apresenta, de forma bem simplificada, a sequência das atividades que devem ser tomadas para se realizar a auditoria energética.

Figura 2 - Etapas de uma Auditoria Energética.



Fonte: Nogueira, (1990).

Nesse estudo de auditoria energética deve ser preparado um relatório que venha a apresentar os dados, demonstrar os resultados e informar as ações a serem

tomadas. O modelo de sugestão dos tópicos deste relatório de auditoria é apresentado a seguir.

1 - Resumo Executivo

2 – Especificações da Unidade Consumidora

(localização, indicadores, descrição básica dos processos);

3 - Estudos energéticos

(diagramas, características, estudo das perdas);

a) Levantamento da carga elétrica instalada

b) Análise das condições de suprimento

(qualidade do suprimento, harmônicas, fator de potência, sistema de transformação);

c) Estudo do Sistema de Distribuição de energia elétrica

(desequilíbrios de corrente, variações de tensão, estado das conexões elétricas);

4 - Análises de Racionalização de Energia

(estudos técnico-econômicos das alterações operacionais e de projeto);

a) Estudo de Motores Elétricos e outros Usos Finais

(estudo dos níveis de carregamento e desempenho, condições de manutenção, viabilidade econômica da implantação de controladores de velocidade de motores);

b) Viabilidade de Implantação de Fontes Alternativas de Energia

(análise técnico-econômica para implantação de sistemas de cogeração);

c) Correção do Fator de Potência

5 - Recomendações

6 – Conclusões

Os pontos apresentados no modelo de relatório citado acima foram os tópicos utilizados para o estudo realizado ao longo deste trabalho, onde cada capítulo apresenta apenas os pontos que podem ser responsáveis por melhorias no sistema elétrico da unidade em questão, logo, os tópicos podem ser adicionados, editados e até excluídos para cada caso de auditoria energética, não tendo então um padrão a ser seguido para esse relatório, e sim, apenas um modelo de disposição da obtenção dos dados gerais e elétricos da empresa e das tomadas de decisões para a mesma.

É necessário, para que se tenha uma correta auditoria, conhecer a realidade energética da unidade consumidora que irá passar pela mesma, para isso é preciso que

se obtenham algumas informações específicas da unidade. Alguns dos dados necessários são citados abaixo.

- a) Consumos mensais de energia elétrica ao longo de um período considerável.
- b) Plantas, desenhos e esquemas detalhados das instalações.
- c) Balanços energéticos e de material, atualizados, para cada unidade.
- d) Características elétricas dos equipamentos.
- e) Horas de funcionamento de cada equipamento a ser auditado.

Verifica-se que dos requerimentos anteriores, alguns podem não estar à disposição ou não estarem atualizados para auditoria, logo se deve procurar obter o máximo das informações solicitadas minuciosamente, seja em levantamentos de dados e medidas na unidade consumidora, com consulta de manuais de equipamentos, com consulta a fabricantes, ou consulta a pessoas que conheçam a real situação da empresa.

### **3. IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

A eletricidade é das formas de energia disponíveis, uma das mais eficazes, pois a mesma está popularizada e é pilar essencial da sociedade tecnologicamente avançada, onde todos dependem em grande escala da sua utilização.

Por conta dessa forte dependência da sociedade pela energia elétrica, o surgimento das restrições ambientais e a crescente preocupação com insumos energéticos no qual presenciamos atualmente vêm à tona a necessidade do consumo eficiente da energia elétrica. A conservação da energia tem o papel de reduzir o consumo de energia, ou consumir de forma inteligente sem desperdícios, de preferência tomando medidas que não afetem o meio ambiente. Essa problemática abre espaço para a geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas, como por exemplo, a geração através da biomassa, a eólica e a fotovoltaica. Das fontes alternativas citadas anteriormente a que mais se destaca, tanto pelo custo de implantação, quanto pela manutenção e por ser uma das que causa menos danos ao meio ambiente é a fotovoltaica.

Para MARINOSKI (2004) a tecnologia fotovoltaica é um caminho ideal para a geração de energia, através de uma fonte inesgotável e não poluente, oferecendo economia nas contas de energia através da produção de energia limpa, sustentável e amigável ao meio ambiente, o sistema fotovoltaico está cada vez mais sendo utilizado por países desenvolvidos, não somente para uso residencial, mas também em edificações comerciais e industriais.

A geração fotovoltaica distribuída, normalmente ocorre próximo à carga, evitando os custos com a transmissão em alta tensão. As células solares produzem energia em corrente contínua, e um inversor é necessário para transformar a tensão e frequência em corrente alternada, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com necessidade de manutenção muito baixa.

O Brasil possui alguns pontos favoráveis para a implantação de energia proveniente do sol, pois o seu território abrange regiões que apresentam climas tropicais, que trazem para as mesmas, condições propícias para implantação deste tipo de geração. Algumas dessas regiões apresentam um período de inverno bem curto, o que torna ainda mais eficiente a geração fotovoltaica ao longo do ano.

Ao se instalar a tecnologia fotovoltaica conectada à rede elétrica, o cliente reduz o valor pago em sua conta mensal, descontando toda a energia introduzida na rede

elétrica proveniente da geração fotovoltaica do seu empreendimento. Desta forma a energia fotovoltaica é considerada um importante método de eficiência energética porque é uma energia mais barata do que a energia que compramos da distribuidora, além de ser necessário disponibilizar menos energia para a região em que tal tecnologia está implantada, trazendo assim benefícios ao meio ambiente, por ser um método de obtenção de energia que causa bem menos impactos ambientais.

### **3.1. Princípios de Funcionamento das Células Fotovoltaicas**

Quando se fala em geração fotovoltaica, fala-se na transformação direta da luz em energia elétrica e, para isso, recorre-se a células solares. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais comum. Hoje, cerca de 95% de todas as células solares existentes no mundo são de silício. Numa quantidade próxima do oxigênio, é o segundo elemento químico mais frequentemente utilizado na Terra de acordo com SANTOS (2011). O silício apresenta uma disponibilidade quase ilimitada, no entanto não existe como um elemento químico, existindo somente associado à areia de sílica.

A obtenção de energia através da célula fotovoltaica ocorre da seguinte forma. A célula fotovoltaica é feita de um material semicondutor, esse material é composto por duas camadas com cargas opostas, os elétrons e as lacunas, e por uma camada de condução, ao se incidir a luz do sol, os fótons presentes na luz fazem com que os elétrons saltem para a camada de condução, deixando uma lacuna livre para ser preenchida por outro elétron, esse efeito se repete e é neste movimento dos elétrons e lacunas que a energia elétrica é coletada pelos condutores da célula fotovoltaica.

Estas células fotovoltaicas são agrupadas, formando os módulos fotovoltaicos, estes módulos serão responsáveis por suportar as condições adversas em que serão submetidas, como fortes ventos e chuvas. O conjunto destes módulos fotovoltaicos formam os painéis fotovoltaicos.

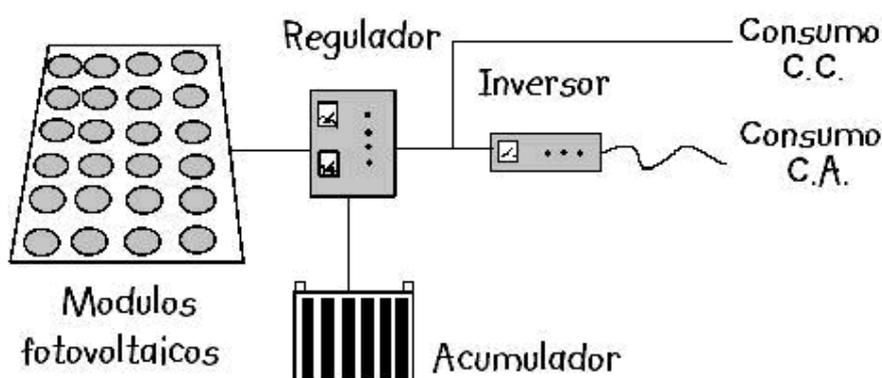
### 3.2. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Dependendo da necessidade e localização, os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três tipos: isolados ou autônomos, híbridos e conectados à rede.

#### 3.2.1. Sistemas Isolados (Autônomos)

É o sistema fotovoltaico que não está conectado a rede elétrica, logo este sistema funciona necessitando ou não de um sistema de armazenamento, utilizando-se na maioria das vezes as baterias para realizar o armazenamento. Este tipo de sistema revela grande importância em áreas em que não existe fornecimento de energia através da rede pública de distribuição, seja por dificuldade de acesso ou por questões econômicas.

Figura 3 – Constituição de um sistema fotovoltaico autônomo.



Fonte: Santos, (2011).

De acordo com ALMADA (2016), dentre os sistemas isolados existem muitas configurações possíveis, como:

- Carga CC sem Armazenamento - Neste caso, a energia elétrica é usada no momento da geração por equipamentos que operam em corrente contínua. Um exemplo deste uso é em sistemas de bombeamento de água com bombas com motor de corrente contínua. Em alguns casos, o sistema pode incorporar um seguidor do ponto de máxima potência, de forma a otimizar o funcionamento da bomba.

- Carga CC com Armazenamento - Este é o caso em que se deseja usar equipamentos elétricos, em corrente contínua, independente de haver ou não geração fotovoltaica simultânea. Para que isto seja possível, a energia elétrica deve ser armazenada em baterias. Exemplos comuns são iluminação, rádio, televisão, sistemas de comunicação etc.
- Carga CA com Armazenamento - Para alimentação de equipamentos que operem em corrente alternada é necessário que se utilize um inversor. É comum sistemas deste tipo incorporarem um seguidor do ponto de máxima potência, que pode estar embutido no próprio inversor. Um caso típico de aplicação destes sistemas é no atendimento de residências isoladas que façam uso de eletrodomésticos convencionais.
- Carga CA sem Armazenamento - Da mesma forma como apresentado para cargas CC, pode-se usar equipamentos que operem em corrente alternada sem o uso de baterias, bastando, para tanto, a introdução de um inversor entre o arranjo fotovoltaico e o equipamento a ser usado. Um exemplo deste uso é quando se deseja utilizar bombas com motores convencionais em sistemas Fotovoltaicos.

### **3.2.2. Sistemas Híbridos**

Os sistemas híbridos são aqueles em que, estando desconectados da rede elétrica, existe mais de uma forma de geração de energia, como por exemplo, gerador a diesel, turbinas eólicas e módulos fotovoltaicos. Estes sistemas são mais complexos e necessitam de algum tipo de controle capaz de integrar os vários geradores, de forma a otimizar a operação para o usuário. Utilizam-se sistemas híbridos para o atendimento a cargas de corrente alternada.

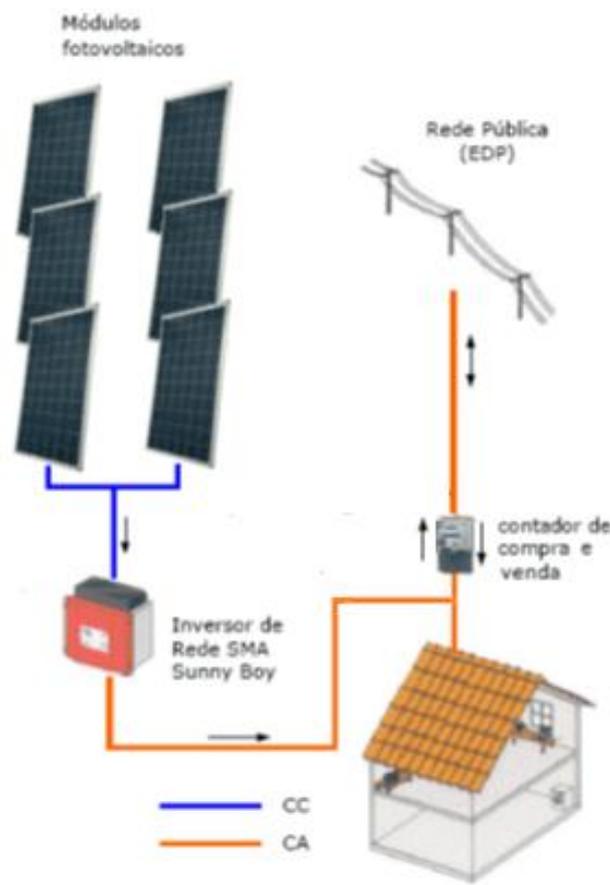
### **3.2.3. Sistemas Conectados à Rede**

Este tipo de sistema utiliza a rede de distribuição de eletricidade como acumulador de energia, uma vez que toda a energia gerada pelo sistema fotovoltaico é injetada na rede elétrica. O sistema fotovoltaico ligado à rede é normalmente constituído de um gerador fotovoltaico (painel fotovoltaico), dispositivos de proteção, cabos,

inversor e aparelho de medida. Este aparelho de medida, na maioria dos casos para este tipo de sistema, tem a tecnologia bidirecional, onde o medidor tanto coleta informações da quantidade de energia injetada na rede, quanto a consumida pela unidade consumidora da rede da distribuidora. É indispensável que se utilize um inversor que deve satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que não degrade a qualidade do sistema no qual se interliga o arranjo fotovoltaico.

Esse sistema permite que a energia gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora, caso a energia gerada em um mês seja maior do que a consumida, a energia excedente gerada pode ser utilizada como crédito em energia na próxima fatura, esse crédito excedente expirará somente 60 meses após a data do faturamento segundo ANEEL (2014). O consumidor ainda pode utilizar esses créditos para outras unidades consumidoras, desde que ambas as propriedades sejam no nome do mesmo proprietário.

Figura 4 - Constituição de um sistema fotovoltaico ligado à rede.



Fonte: Santos (2011), editado pelo próprio autor.

### 3.3. Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Será realizado ao longo deste tópico o dimensionamento apenas do sistema fotovoltaico ligado à rede, tanto pelos benefícios e possibilidades que este método proporciona como também pelo menor custo de aquisição em qualquer que seja a escala, por não se utilizar acumuladores de alto custo, como as baterias.

#### 3.3.1. Dimensionamento de Um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Para se dimensionar um sistema fotovoltaico devem-se levar em conta alguns requisitos básicos necessários para sua implantação, como por exemplo, a localização geográfica verificando o azimute, longitude e latitude, o espaço disponível para implantação dos módulos e as condições ambientais como temperatura e ventos. Deve-se ainda levar em conta as especificações do fabricante tanto para os painéis quanto para os inversores, além da verificação da disponibilidade financeira para aquisição do sistema.

Em um dimensionamento de um sistema fotovoltaico, o primeiro passo a se tomar é estimar a potência instalada e a área disponível para instalação. Feito isso o procedimento seguinte é a escolha do painel solar e do inversor, lembrando que ambos os aparelhos devem manter uma compatibilidade. Deve se levar em conta a eficiência e o tipo da célula solar, se ele é policristalino, monocristalino ou de película fina, pois quanto mais eficiente for esta célula menor será a área ocupada por kW produzido.

De acordo com ALMADA (2016) os cálculos para realização do dimensionamento de um sistema fotovoltaico são apresentados a seguir.

Através da Eq. (1) se chega à potência de pico do sistema, ao se obter esta a potência de pico se determina o número de equipamentos do sistema por meio da Eq. (2).

$$P_s = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{hr} * D} \quad (1)$$

Onde o 'hr' é referente às horas de sol pleno da região em que se deseja instalar, o 'Ps' é a potência do sistema e o 'D' se refere ao número de dias do mês.

Em seguida se determina o número inicial de módulos solares, lembrando que este número estará sujeito a mudanças posteriores ao longo do dimensionamento.

$$n = \frac{P_s}{P_m} \quad (2)$$

Onde o ‘n’ se refere ao número de módulos e o ‘P<sub>m</sub>’ é a potência do módulo escolhido pelo projetista.

Em seguida se realizam as correções para temperaturas extremas de acordo com as propriedades características de cada painel como mostra a Eq.(3).

$$V_{mpp}(T) = V_{mpp} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (3)$$

Onde o ‘ $\alpha$ ’ é o coeficiente de temperatura da tensão do módulo escolhido, ‘V<sub>mpp</sub>’ é a tensão de máxima potência e ‘T’ é a temperatura. Este procedimento deve ser repetido para as temperaturas de 70° e -10°C, caracterizando as temperaturas extremas. Também com a temperatura de -10°C deve ser realizado a seguinte medida.

$$V_{voc}(T) = V_{voc} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (4)$$

Onde ‘V<sub>voc</sub>’ corresponde a tensão de circuito aberto do painel.

O passo seguinte é a verificação do número máximo e mínimo de painéis ligados em série por meio da Eq.(5), Eq.(6) e Eq.(7).

$$N_{\min(mpp)} = \frac{V_{mpp\_min}(inversor)}{V_{mpp(70^\circ C)}(m\u00f3dulo)} \quad (5)$$

$$N_{\max(mpp)} = \frac{V_{mpp\_max}(inversor)}{V_{mpp(-10^\circ C)}(m\u00f3dulo)} \quad (6)$$

$$N_{\max} = \frac{V_{dc\_max}(inversor)}{V_{voc(-10^\circ C)}(m\u00f3dulo)} \quad (7)$$

Nas equações acima o ‘V<sub>mpp\_max</sub>’ e o ‘V<sub>mpp\_min</sub>’ se referem a máxima e mínima tensão do ponto de máxima potencia do inversor respectivamente, o ‘V<sub>mpp(70°C)</sub>’ e o ‘V<sub>mpp(-10°C)</sub>’ se referem as tensões de máxima potência calculadas no passo anterior para as temperaturas de 70°C e -10°C através da Eq.(3). Já o ‘V<sub>dc\_max</sub>’ da Eq.(7) se refere à tensão máxima de entrada do inversor e o ‘V<sub>voc(-10°C)</sub>’ se refere a tensão de circuito aberto para -10°C calculada no passo anterior por meio da Eq.(4).

Através destes cálculos será obtido um intervalo de valores entre os resultados máximos e mínimos encontrados, o valor a ser utilizado de painéis em série será determinado pelo projetista de acordo com a configuração que o projeto deve manter e sem ultrapassar os limites determinados nesta etapa.

O próximo procedimento é determinar o numero de fileiras de painéis em série que o projeto irá necessitar, para este cálculo se faz necessário aplicar a Eq.(8).

$$f = \frac{n}{No} \quad (8)$$

Onde, ‘f’ se refere ao número de fileiras, ‘n’ é o numero de módulos já calculados na Eq.(2) e o ‘No’ se refere ao número inicial de módulos ligados em série já determinado através da Eq.(5), Eq.(6) e Eq.(7).

Em seguida se realiza a correção do número final de módulos em série por meio da Eq.(9).

$$N_f = \frac{n}{f} \quad (9)$$

O passo seguinte é a correção para o número final de módulos a serem utilizados por meio da Eq.(10).

$$n_f = N_f * f \quad (10)$$

Tendo feito tal procedimento deve-se então calcular a nova potência do sistema fotovoltaico após a mudança no número de módulos utilizados, este cálculo é realizado de acordo com a Eq.(11).

$$P_{Corrigida} = n_f * P_m \quad (11)$$

Na Eq.(11) o ‘ $n_f$ ’ é o número corrigido de módulos a serem utilizados e o ‘ $P_m$ ’ é a potência do módulo escolhido.

Ao realizar os procedimentos relacionados aos módulos deve-se então determinar o número de inversores necessários para o projeto através da Eq.(12).

$$N_i = \frac{P_{Corrigida}}{P_i} \quad (12)$$

Na Eq.(12) o ‘ $N_i$ ’ se refere ao número de inversores a serem utilizados, e o ‘ $P_i$ ’ é o valor da potência do inversor escolhido pelo projetista, porém existem diversos tipos de inversores no mercado, com potências variadas, podendo ser escolhido um inversor que suporte toda a instalação.

Realizado o dimensionamento dos equipamentos o projeto deve atender algumas condições vistas nas Eq.(13), Eq.(14), Eq.(15), Eq.(16) e Eq.(17).

$$V_{mpp}(70^\circ C)(painel) \geq V_{mpp\_min}(inversor) \quad (13)$$

$$V_{mpp}(-10^\circ C)(painel) \leq V_{mpp\_max}(inversor) \quad (14)$$

$$V_{Voc}(-10^\circ C)(painel) \leq V_{dc\_max}(inversor) \quad (15)$$

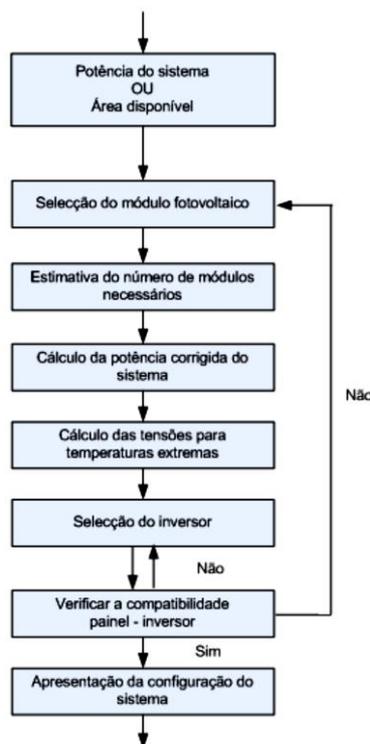
$$\frac{f}{n_i} * I_{mpp\_max}(modulo) \leq I_{dc\_max}(inversor) \quad (16)$$

$$0,7 < FDI < 1,2 \quad \rightarrow \quad 0,7 < \frac{N_i * P_i}{n_f * P_m} < 1,2 \quad (17)$$

Sendo então atendidas todas as condições o projeto o próximo passo é a verificação da área disponível para a instalação do número de equipamentos dimensionados e apresentação da configuração do posicionamento desses equipamentos. Caso as condições acima não sejam atendidas, deve ser realizada a substituição do módulo e/ou inversor e todos os cálculos devem ser refeitos a partir dos dados referentes aos novos equipamentos escolhidos.

O fluxograma a seguir retrata o passo a passo dos procedimentos realizados anteriormente.

Figura 5 – Fluxograma representando as etapas para dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: Santos, (2011).

### 3.4. Orçamento e Cálculo Econômico da Implantação com a Utilização do Software PVWatts.

O orçamento de um sistema fotovoltaico só poderá ser finalizado, após serem realizados os cálculos de dimensionamento, onde ao término do mesmo se saberá a quantidade real de módulos fotovoltaicos e de inversores a serem utilizados, podendo então calcular o preço de custo de implantação do empreendimento, sendo a aquisição dos módulos fotovoltaicos e dos inversores responsáveis por em média 65% do valor total da implantação do sistema. Onde, em média os outros 35% restantes são destinados para mão de obra, cabeamento, suportes, projeto, frete e etc.

Para realizar o cálculo de produção do empreendimento fotovoltaico, podem-se utilizar inúmeros *softwares* disponíveis gratuitamente, como por exemplo, o *PVWatts* disponível em < <http://pvwatts.nrel.gov/> >, um *software* fácil de ser trabalhado e com resultados satisfatórios, o mesmo calcula a energia gerada em cada mês do ano

utilizando os dados contidos no próprio *software* para qualquer localização dentro do Brasil.

Ao acessar o site acima surgirá a plataforma inicial onde se informa a localização do empreendimento.

Figura 6 - Imagem da plataforma do Software 'PVWatts' para incluir a localização.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

Em seguida o *software* irá indicar o local mais próximo em que o mesmo tem os dados necessários coletados.

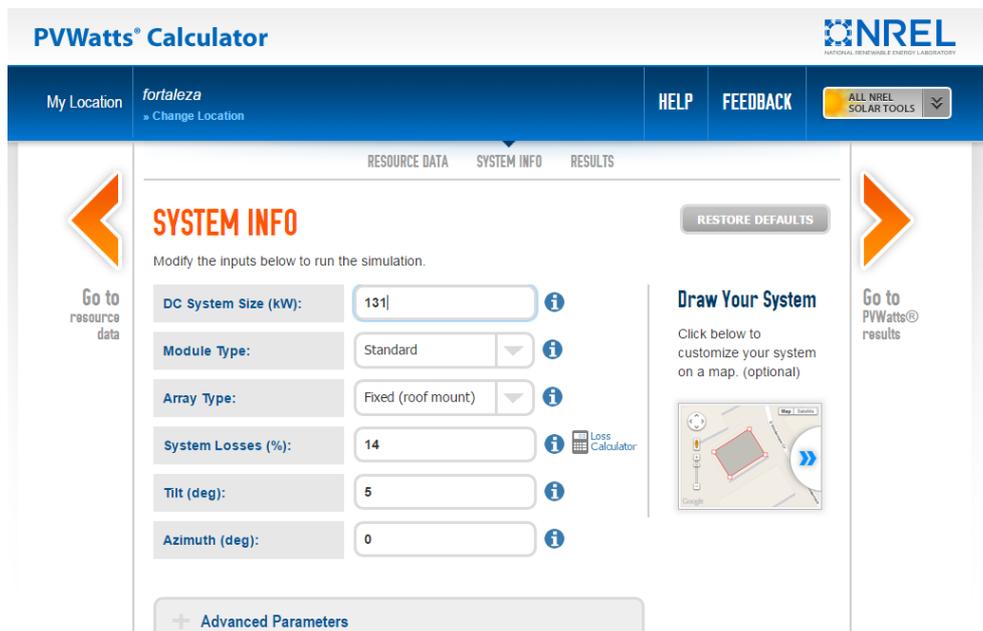
Figura 7 - Imagem da plataforma do Software 'PVWatts' indicando a localização mais próxima.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

No passo seguinte terá de ser informado repectivamente a potência instalada em kW do sistema fotovoltaico, o tipo do módulo utilizado, especificar se o módulo é fixo ou se realiza algum tipo de movimento em alguma direção, disponibilizar ainda as perdas do sistema, em seguida disponibilizar o ângulo que os painéis montados fazem com o local de montagem e por fim o azimute do local de implantação.

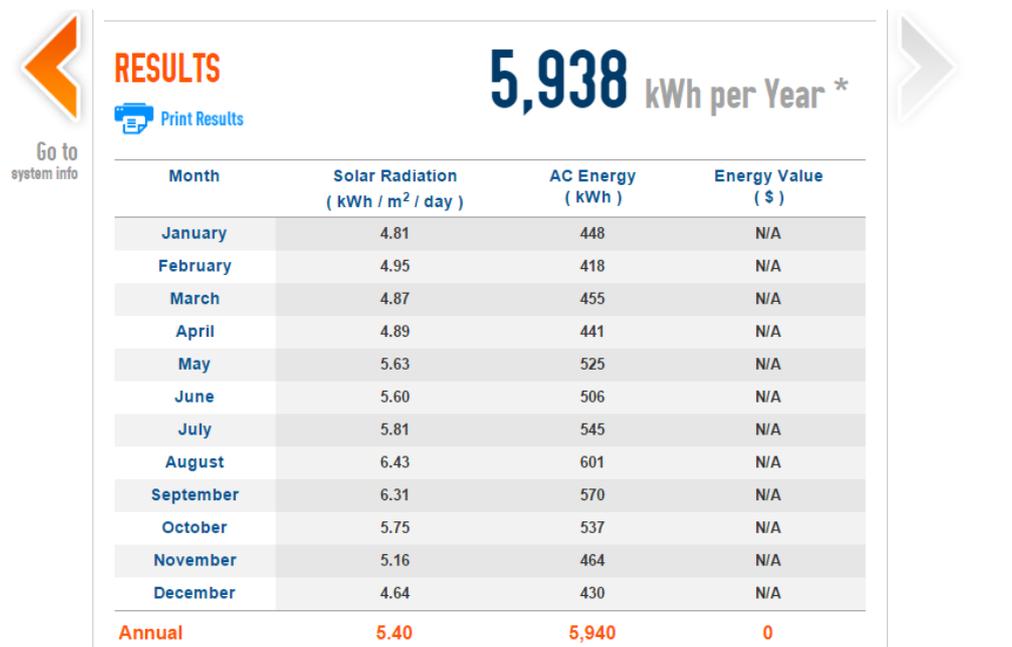
Figura 8 - Imagem da plataforma do Software 'PVWatts' para incluir os dados do sistema fotovoltaico.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

Ao prosseguir o *software* apresenta os resultados de geração mensais e anual. É apresentado a energia gerada em kWh e também a radiação solar dada em kWh/m<sup>2</sup>/dia em cada mês do ano.

Figura 9 - Imagem da plataforma do Software 'PVWatts' indicando os resultados de geração.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

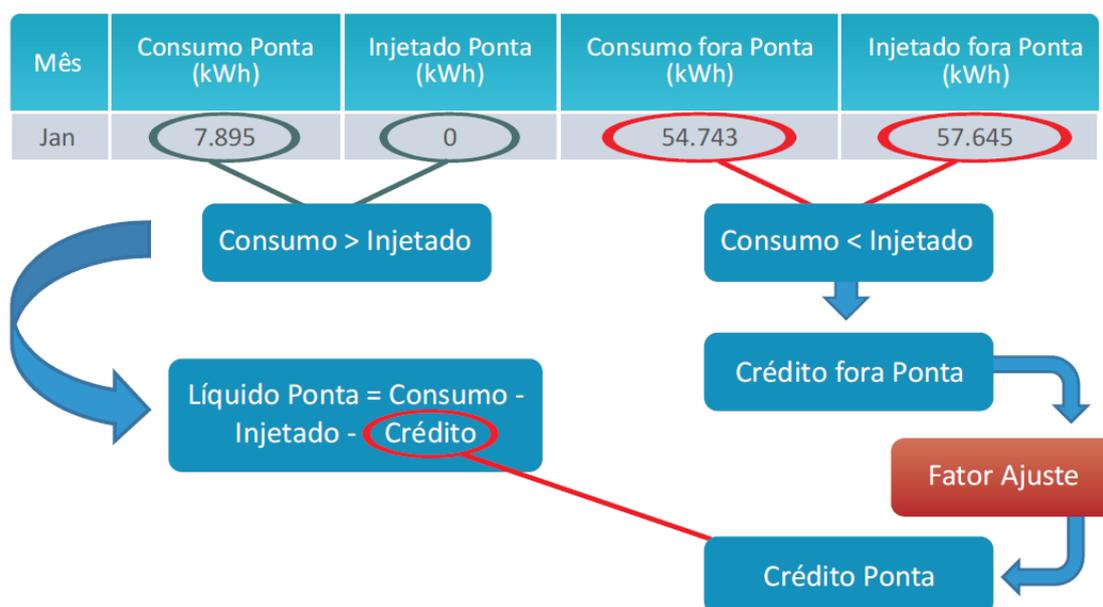
De posse dos resultados, verifica-se a economia gerada pela implantação do sistema fotovoltaico, fazendo a subtração do consumo em cada mês do valor gerado no sistema indicado no *software*.

Segundo ANEEL (2014), para as unidades consumidoras que dispõem de tarifa horosazonal, a energia injetada deve ser utilizada para abater o consumo mensal no mesmo período (ponta ou fora ponta). Caso haja sobra, esse saldo será utilizado para reduzir o consumo no outro posto tarifário, após a aplicação de um fator de ajuste. A Figura 10 demonstra como é realizado este abatimento a partir da energia gerada.

O fator de ajuste mencionado é calculado através da razão entre o valor da tarifa no horário fora de ponta e o valor da tarifa no horário de ponta.

O valor injetado corresponde à energia gerada pela unidade consumidora, e no caso da geração fotovoltaica, não há geração na hora de ponta por não haver radiação solar durante este período, compreendido entre as 17:30 às 20:30. Por esse método então se disponibiliza o crédito excedente gerado durante todo o período fora ponta para subtrair o consumo durante a hora de ponta, reduzindo ainda mais o faturamento de energia, que tende a ser bem mais caro na hora de ponta.

Figura 10 – Método de abatimento do consumo a partir da geração fotovoltaica.



Fonte: ANEEL, (2014).

#### **4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS**

O motor elétrico é a máquina responsável por converter energia elétrica em energia mecânica. Este tipo de máquina é muito presente nas mais diversas formas de uso, podendo ser encontrado com diversos tamanhos e potências, podendo assim ser utilizado para uma infinidade de funções em vários tipos de cargas. Outro fator que faz com que o motor elétrico venha a ser tão comum em diversos ambientes é o fato de o mesmo apresentar um caráter construtivo simples, bom rendimento e baixo custo.

Os tipos de motores existentes atualmente são os seguintes:

Motor de Corrente Contínua – é interessante utilizar motores CC quando se necessita de um controle de velocidade rigoroso. São mais caros quando comparados aos outros tipos devido a maior complexidade mecânica. Um hardware adicional é requerido para sua partida, porém esse hardware é mais simples e mais barato que um inversor de frequência. O controle de velocidade é feito controlando-se a corrente de enrolamento de campo, que se encontra em um estator de polos salientes.

Motores Síncronos – Consistem em um motor sincronizado com a rede elétrica. Este tipo de máquina dificilmente é encontrado em funcionamento no setor industrial. Geralmente sua maior utilização é como forma de geradores, transformando energia mecânica em energia elétrica. Porém quando utilizados como motor, os mesmos geralmente são aplicados em sistemas que requerem menores rotações e maiores potências. São constituídos geralmente de um enrolamento de campo CC no rotor e enrolamentos de corrente alternada no estator.

Motor de Indução – O motor de indução é em qualquer potência, dentre os tipos de motores citados, o mais comum no setor indústria. É um tipo de motor simples, barato e bastante robusto, entretanto dependendo da potência requer a utilização de componentes adicionais. Motores de indução pequenos podem ser acionados diretamente, com o aumento da potência requerem partida estrela-triângulo ou mesmo inversores de frequência. Os motores de indução de alta potência são os mais baratos quando comparados com os outros tipos. A máquina de indução pode funcionar tanto como gerador quanto como motor, porém quando funcionando como gerador as características apresentadas por essas máquinas não são satisfatórias, sendo utilizadas assim, extensivamente como motor.

Mesmo sendo os motores de indução consideravelmente eficientes, os mesmos apresentam grande preocupação para o ramo da eficiência energética, tanto pela grande

quantidade encontrada em atuação, quanto pelo seu mau uso. Por ser o tipo de motor mais utilizado, o estudo foi realizado visando a substituição de motores de indução, tendo em vista sua grande aplicação na indústria.

De acordo com MICERINO (2012) quase 70% da energia consumida no Brasil passa por motores elétricos. Logo torna-se fundamental analisar as ações que podem ser levadas em conta para encontrar melhorias na eficiência energética no que se diz respeito aos motores elétricos. As medidas de eficiência energética que normalmente são consideradas são a adequação da potência do motor à carga, o uso de acionadores e o uso de motores de alto rendimento.

#### **4.1. Adequação da Potência do Motor**

É muito comum encontrar o chamado motor sobredimensionado, ou seja, motores acionando cargas muito inferiores à sua capacidade nominal, acarretando em baixos fatores de potência e rendimentos, contribuindo para a sua aplicação ineficiente.

Um motor superdimensionado consome muito mais energia do que um motor com a potência correta porque trabalha em uma condição muito diferente da qual foi projetado para trabalhar, funcionando de forma ineficiente. Se além de estar sobredimensionado, este motor elétrico ainda for um motor que não apresenta alto rendimento este desperdício é ainda maior. O motor elétrico deve trabalhar utilizando entre 75% e 100% de sua potência nominal para ter a melhor eficiência. De acordo com WEG (2016), nos casos em que se faz a adequação de potência obtém-se economias de até 14% no consumo de energia.

Para que fique explícito o quão importante é o correto dimensionamento de um motor, MICERINO (2012) realizou a mudança de um motor de 100 CV com uma carga de apenas 25% (rendimento 81,1%, tempo de operação anual 2500 horas) por um motor de 25 CV com uma carga de 100% (rendimento 90,1%, tempo de operação anual 2500 horas). Ao realizar esta substituição, o mesmo consegue se poupar cerca de 6000kWh em um ano, além de obter através da substituição desses motores, um retorno de investimento em cerca de 11 meses. Torna-se então evidente a importância de se realizar a correta seleção do motor elétrico.

Os critérios mais utilizados para o correto dimensionamento de um motor elétrico são a potência eficaz, o conjugado máximo do motor, conjugados nominal e de partida, tempo de aceleração e potência disponível.

Tendo em vista que os motores superdimensionados são um problema para o consumo de energia de uma unidade consumidora, deve-se então analisar as possíveis soluções. Como já foi dito, uma das saídas é a substituição de um motor superdimensionado por outro de menor potência, porém pode-se recorrer à aplicação da eletrônica de potência utilizando acionadores eletrônicos.

Quando se resolve substituir um motor por outro de potência adequada à necessidade instalada, deve-se realizar um estudo de viabilidade econômica de troca imediata deste motor ou se deve esperar o mesmo vir a queimar para uma posterior substituição. O motor deve ser trocado imediatamente se a economia gerada com a extinção das perdas ao longo da vida útil restante do motor for suficiente para pagar o motor novo. De acordo com BORTONI *et al.*, (2007) o cálculo para averiguar esta viabilidade é realizado através da Eq.(18).

$$C_{novo} = T_R * E \quad (18)$$

Onde ‘C<sub>novo</sub>’ é o custo de aquisição do motor novo, ‘T<sub>R</sub>’ é a vida útil restante para o motor e ‘E’ é a economia anual obtida pela instalação do motor melhor dimensionado, obtido através da Eq.(19).

$$E = 0,745 * P_N * \frac{n_t}{n_N} * \frac{(n_s - n_t)}{(n_s - n_N)} * H * TE * \left( \frac{100}{\eta_{velho}} - \frac{100}{\eta_{novo}} \right) \quad (19)$$

Onde ‘H’ é o número de horas de operação por ano, ‘TE’ é a tarifa da energia local, ‘ $\eta_{velho}$ ’ e ‘ $\eta_{novo}$ ’ são respectivamente os rendimentos de operação do motor velho e do novo, ‘n<sub>s</sub>’ é a velocidade de rotação síncrona, ‘n<sub>t</sub>’ é a velocidade de rotação de trabalho e ‘n<sub>N</sub>’ é a velocidade de rotação nominal da máquina.

Por outro lado, pode-se contar com a inclusão de controladores de velocidade para redução dos desperdícios de energia gerados através dos motores elétricos.

#### 4.1.1. Utilização de Controladores de Velocidade

Pelo fato de o motor de indução ser o tipo de motor mais utilizado no setor industrial, a tomada de medidas que possam vir de alguma forma a trazer racionalização do uso de energia se faz essencial para o ramo da eficiência energética que estuda este tipo de equipamento. Algumas dessas medidas, como já citadas podem ser a substituição do motor ou a adequação do mesmo a sua carga nominal. Porém algumas medidas operativas podem vir a trazer grande redução nos desperdícios ocasionados pelas partidas deste tipo de máquina e redução nos gastos com energia elétrica.

Estas medidas operativas minimizam o mau uso do motor elétrico, tornando-os mais eficientes. Uma das medidas operativas que podem vir a ser trazer grandes benefícios é a utilização de um controle de velocidade para os motores, onde esta medida possibilita adequar a operação do motor de acordo com a rotação adequada para tal funcionamento, reduzindo consideravelmente as perdas os ruídos e os desgastes mecânicos ocasionados através do mau uso. Um dos métodos de controlar a velocidade de rotação de um motor de indução é a utilização de um inversor de frequência. O inversor de frequência é dispositivo importante em diversos processos industriais por reduzir a corrente de partida de motores ao obter um valor de frequência diferente do valor associado à alimentação.

O inversor de frequência é composto por um circuito retificador, que converte a tensão CA de entrada para uma tensão CC, um filtro (barramento CC) indutivo e capacitivo com o objetivo de retirar ondulações CC ainda presentes após o retificador e um inversor na saída. O inversor é composto por seis transistores de potência que permutam entre fechado e aberto, como modulação PWM, a fim de gerar a onda senoidal que é conectada ao motor. A frequência da alimentação do motor depende da configuração implementada na unidade de Controle microprocessada. Ao controlar a rotação do motor, é flexibilizada a produção da máquina que é acionada pelo motor de indução. Esse controle é capaz de gerar redução do conjugado da máquina, reduzindo assim a demanda de potência em máquinas sobredimensionadas.

A utilização desta medida operativa gera considerável economia de energia por realizar redução de perdas em motores de indução que constituem uma tão grande parcela da carga do sistema elétrico industrial do país.

Outra medida operativa capaz de gerar redução do conjugado e da potência demandada no motor é a utilização do *softstarter*, que são equipamentos projetados especialmente para suavizar a partida de motores, reduzindo correntes de partida, quedas de tensões, torções bruscas, vibração e outros benefícios, mantendo a mesma frequência.

O funcionamento do *softstarter* é baseado em comandos microprocessados que, diga-se de passagem, consomem pouca energia, controlando diretamente os tiristores que regulam a tensão encaminhada ao motor, e conseqüentemente, diminuem os altos conjugados de aceleração e protegem a rede elétrica.

A variação da velocidade promovida pelas medidas operativas citadas (*softstarter* e inversor de frequência) realiza, portanto, a otimização da potência

consumida resultando em rendimentos elevados na operação, minimização de perdas e redução no consumo de energia.

#### **4.1.2. Utilização de Motores de Alto Rendimento**

Como já citado anteriormente os motores são equipamentos de conversão responsáveis por converter energia elétrica em energia mecânica. Porém este processo não se dá por uma conversão perfeita, pois em meio a sua execução ocorre o surgimento de algumas perdas no interior da máquina, algumas dessas perdas são as perdas por efeito Joule no estator e no rotor, perdas no ferro, perdas por atrito e ventilação e perdas por dispersão.

Os motores de alto rendimento apresentam melhorias quando relacionados aos demais motores com o intuito de reduzir ou até mesmo eliminar algumas das perdas citadas anteriormente, estes tipos de motores aparecem como uma forte alternativa de economia de energia. Algumas destas melhorias são o aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator e o superdimensionamento das barras do rotor para diminuir as perdas por efeito Joule, a diminuição da intensidade de campo magnético e utilização de chapas magnéticas de boa qualidade para reduzir as perdas no ferro e a corrente de magnetização, o emprego de rolamentos e ventiladores adequados para diminuir as perdas por atrito e ventilação, e finalmente a regularidade do entreferro, melhoria no isolamento e tratamento térmico das chapas do estator e do rotor para reduzir as perdas adicionais. Além de proporcionar uma redução considerável nas perdas, estes motores operam em uma temperatura mais baixa, obtendo assim uma maior vida útil, os mesmos ainda apresentam menos ruído e necessitam de menos manutenção.

Este tipo de motor, por apresentar as vantagens citadas, são mais caros que os motores standard ou outros, porém esse custo não é considerado exorbitante quando se relaciona os benefícios que estas máquinas podem vir a trazer na conservação de energia.

#### 4.1.2.1. Economia Obtida

Através deste tópico irá se quantificar a economia de energia e o valor de retorno ao se realizar a substituição de motores convencionais por motores de alto rendimento.

Para se calcular a economia de energia necessita-se conhecer o consumo em kWh de cada motor, sendo possível esse cálculo através da Eq.(20) e da Eq.(21).

$$C_{m1} = \frac{P_{m1} * T_{m1}}{\eta_{m1}} \quad (20)$$

$$C_{AR} = \frac{P_{AR} * T_{AR}}{\eta_{AR}} \quad (21)$$

Onde 'C<sub>m1</sub>' e 'C<sub>AR</sub>' são os consumos em kWh/mês do motor convencional e do motor de alto rendimento respectivamente, 'P<sub>m1</sub>' e 'P<sub>AR</sub>' são as potências em kW dos motores, 'T<sub>m1</sub>' e 'T<sub>AR</sub>' são os tempo em horas/mês de operação de cada um dos tipos de motores, e 'η<sub>m1</sub>' e 'η<sub>AR</sub>' são o rendimento em porcentagem do motor convencional e do motor de alto rendimento respectivamente.

Em seguida, ao ser conhecido o consumo de cada um deles, basta se realizar a subtração desses consumos, como mostra a Eq.(22).

$$Economia(kWh/mês) = C_{m1} - C_{AR} \quad (22)$$

Para se determinar o valor retornado através desta energia economizada devido a troca dos motores, se faz necessário conhecer o custo da energia, este cálculo é realizado como mostra a Eq.(23).

$$Vr = Economia(kWh/mês) * Custo da Energia (R$/kWh) \quad (23)$$

Onde Vr representa o valor de retorno ao se substituir os motores.

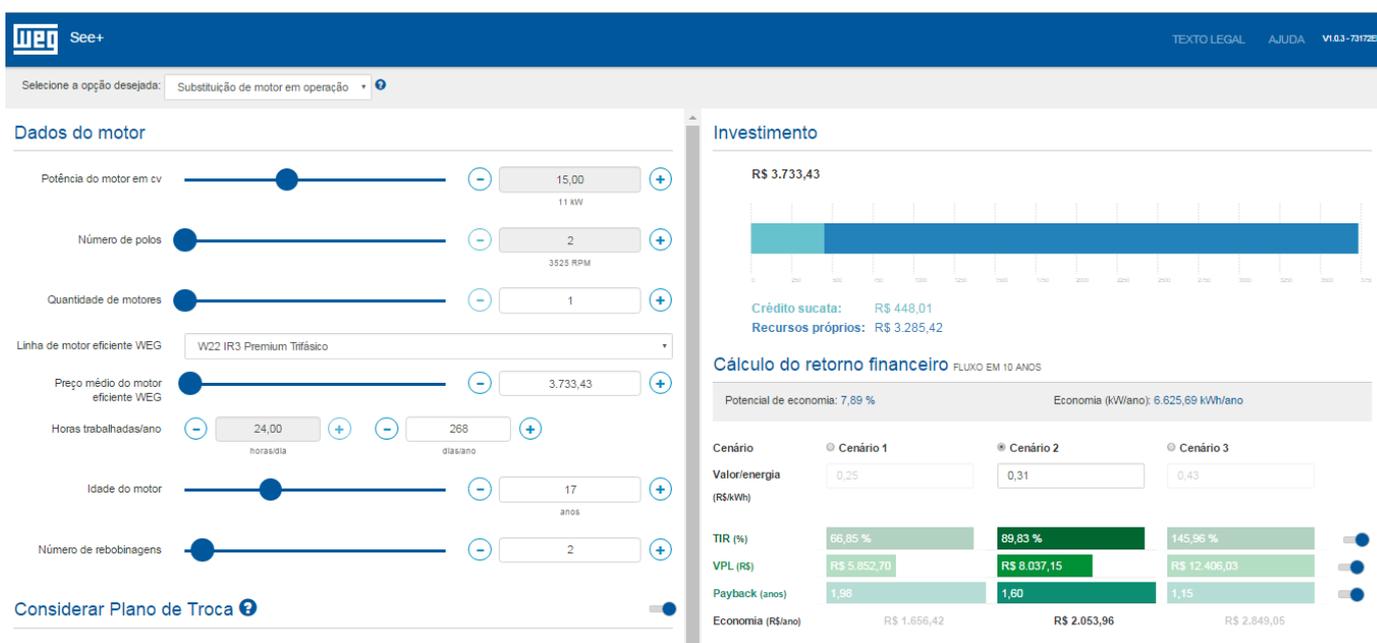
Para melhor exemplificar e tornar claro a eficácia dos motores de alto rendimento, de acordo com o estudo de caso realizado por ALMADA *et al.*, (2016), em uma fábrica de máquinas de costura, ao se substituir 25% dos motores com potência entre 75 e 150CV obteve-se um *Payback* em pouco mais de um ano e meio, 1,7 anos para ser mais exato. Já na substituição de 50% dos motores entre 5 e 50CV obteve-se um *Payback* de 2 anos.

Tendo em vista que este método de substituição de motores traz grandes melhorias tanto para a redução do consumo de energia, quanto economicamente, esta alternativa é portanto bastante viável para o meio industrial, podendo ressaltar que esta substituição pode ser ainda mais atrativa ao se levar em conta que algumas empresas recebem o motor antigo ao realizar a troca propiciando até 20% de desconto na

aquisição do motor de alto rendimento. Muitas dessas empresas como no caso da WEG tem em seus *sites* alguma plataforma de simulação de troca como na Figura 11.

Na plataforma em questão se informam os dados do motor desejado, como potência, número de polos, informa-se também o número de motores e a linha de eficiência desejada, em seguida o site retorna o investimento, e de acordo com a tarifa local informa o cálculo de retorno financeiro. Propiciando assim a realização de uma análise rápida do investimento em questão, e verifica o quão vantajoso será ou não a ação de substituição de motores, informando alguns fatores que comprovam a viabilidade do projeto de investimento como o *Payback*, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

Figura 11 – Plataforma no Site da WEG para simulação econômica da troca de motores.



Fonte: Imagem da plataforma do site da WEG capturada pelo Autor.

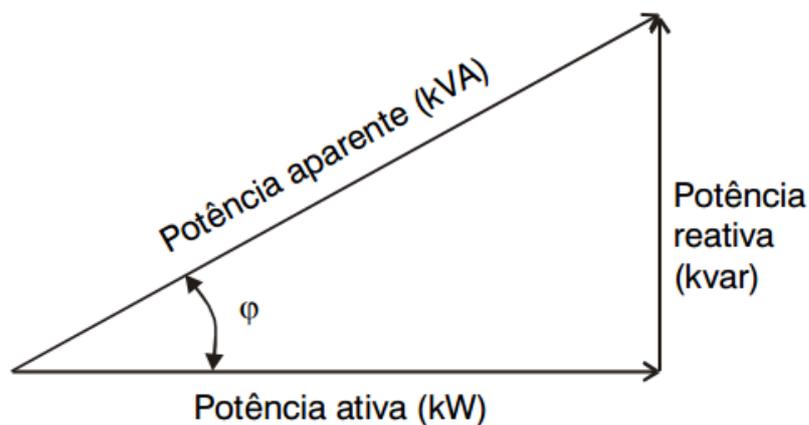
## 5. CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

Ao se falar em eficiência energética, se fala em um consumo racional de energia, onde se visa manter as mesmas atividades que necessitam da energia, consumindo menos e gerando uma maior economia. Fala-se também de uma energia de qualidade, sem que haja algum tipo de perda. O fator de potência é um dos parâmetros utilizados para determinar a qualidade da energia elétrica.

O fator de potência (FP) é um índice que reflete como a energia está sendo utilizada, mostrando a relação entre a energia realmente útil (ativa – W) e a energia total (aparente – VA), fornecida pelo sistema elétrico. A razão entre a potência ativa e a potência aparente constitui o fator de potência mostrada na Eq.(24). O triângulo das potências, mostrado na Figura 12, mostra a relação entre as potências ativa, reativa e aparente.

$$FP = \frac{W}{VA} = \cos \varphi \quad (24)$$

Figura 12 – Triângulo das potências



Fonte: WEG, (2016).

O fator de potência indica qual porcentagem da potência total fornecida (VA) é efetivamente utilizada como potência ativa (W). Dessa forma indica o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos, onde quando a razão entre a potência ativa e a potência aparente apresentar valores altos de fator de potência que correspondem a valores próximos a 1(um), indicam uso eficiente da energia elétrica e quando apresentar valores baixos, indicam o mau aproveitamento da energia elétrica.

As recomendações a respeito do fator de potência estão regidas na resolução N° 414 da ANEEL. Tal resolução fixa o valor de referência do fator de potência em 92% capacitivo ou indutivo dependendo da hora do dia, sendo este o valor mínimo que uma unidade consumidora pode apresentar em suas instalações elétricas.

### **5.1. Correção do Fator de Potência**

Alguns equipamentos elétricos necessitam tanto de energia ativa, quanto de energia reativa para que seja possível seu ideal funcionamento, como no caso dos motores e transformadores, que necessitam da energia ativa, porém também solicitam energia reativa para criar o fluxo magnético necessário para seu funcionamento. Podem ser citados então como causa do baixo fator de potência além dos motores e transformadores operando com pequenas cargas ou quando são superdimensionados, a presença de um grande número de motores de pequena potência, máquinas de solda, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor de mercúrio e vapor de sódio e outros.

Baixos valores do fator de potência ocasionados por algumas das situações citadas anteriormente, podem resultar no aumento da corrente nas redes de distribuição de energia, podendo vir a afetar as subestações, as linhas tanto de distribuição quanto de transmissão trazendo instabilidade para o sistema elétrico, podendo vir a causar perdas na rede, queda de tensão, interrupção do funcionamento, redução da capacidade de fornecimento e redução da conservação de energia.

Portanto, ao observar as inúmeras avarias que podem vir a ser causadas pelo baixo fator de potência, verifica-se a importância de implantação de medidas corretivas para tal problema, quando este existir. Algumas medidas que podem ser tomadas para corrigir o fator de potência são o desligamento de transformadores e motores que funcionam em vazio, utilização de reatores de alto fator de potência para lâmpadas que necessitem de reatores, redimensionamento de motores superdimensionados, realocação de cargas, instalação de motores síncronos, aumento do consumo de energia ativa e instalação de banco de capacitores.

Dentre as alternativas citadas a prática mais comum para a correção do fator de potência baixo é a implantação dos bancos de capacitores, que são instalados de modo a fazer circular a energia reativa necessária para alguns equipamentos o mais próximo da carga, reduzindo a circulação destes reativos na rede elétrica. O motor síncrono citado nas alternativas anteriores também gera energia reativa capacitiva para a correção do

fator de potência, porém um fator limitante para sua utilização é seu alto custo de aquisição.

Estes capacitores podem ser instalados junto ao equipamento ou em um setor que se deseja melhorar o fator de potência, ou ainda junto ao quadro de distribuição para atender toda a unidade consumidora.

Porém a implantação de banco capacitores pode vir a trazer problemas ao invés de solucionar a situação de determinada unidade consumidora, em casos de fator de potência baixo é aconselhável a implantação dos bancos de capacitores somente quando esse baixo fator de potência se der por conta do deslocamento angular entre as componentes fundamentais de tensão e corrente. Quando o baixo fator de potência for ocasionado por conta da presença de harmônicos na rede o correto é se instalar filtros passivos ou ativos.

## **6. ESTUDO DE CASO NA COMPANHIA CAGECE**

Ao longo deste capítulo será realizado o estudo de caso em duas unidades consumidoras da companhia CAGECE. As unidades escolhidas estão localizadas uma na cidade de Frecheirinha e na cidade de Hidrolândia situadas na região Norte do estado do Ceará. Foram levantados alguns dados do histórico energético das unidades através das telemedições disponibilizadas no site da COELCE para cada uma das unidades consumidoras, analisando alguns dados como demanda, consumo, fator de potência, excedente reativo, entre outros.

### **6.1. Estudo de Eficiência Energética em Unidade Consumidora da Companhia CAGECE de Hidrolândia.**

Para realizar o estudo desta unidade se fez necessário elaborar um relatório de auditoria energética para realizar um levantamento de dados, identificar os possíveis pontos de deficiência e poder gerar um plano de ações com os métodos e soluções a serem seguidos.

#### **6.1.1. Especificações da Empresa**

A unidade consumidora está localizada na zona rural da cidade de Hidrolândia, especificamente na vila Santa Tereza do Alípio, onde é situado o reservatório que é responsável pelo abastecimento de água da região, a unidade consumidora em questão é responsável pela captação da água do reservatório e enviar a mesma até a estação de tratamento por meio dos dutos da adutora.

#### **6.1.2. Estudos Energéticos**

Esta unidade consumidora em questão detém de uma subestação aérea de 75 kVA e é tarifada através da modalidade horosazonal verde com uma demanda contratada de 80 kW.

A carga instalada na unidade é constituída por apenas um motor de 50CV acoplado a uma bomba.

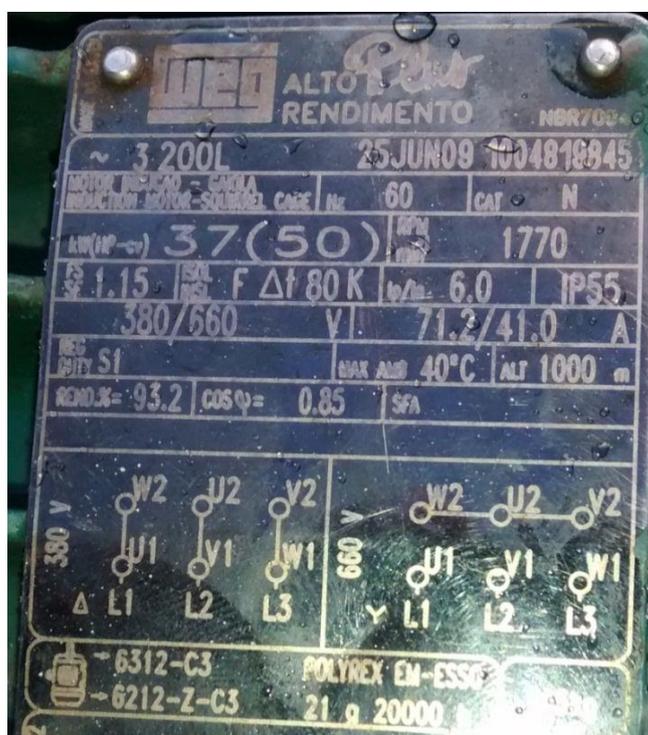
Figura 13 – Foto do Motor de 50CV acoplado a uma bomba para captação da água no reservatório de Hidrolândia. Foto realizada durante ampliação da adutora.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

O motor em questão é fixado em uma balsa flutuante como mostrado na figura acima. O motor é de alto rendimento equivalendo a 93,2%, com um fator de potência de 0,85 e uma potência de 50 CV que equivale 36,8 kW instalados, esses dados e alguns outros podem ser verificados na placa do motor disponibilizados na figura a seguir.

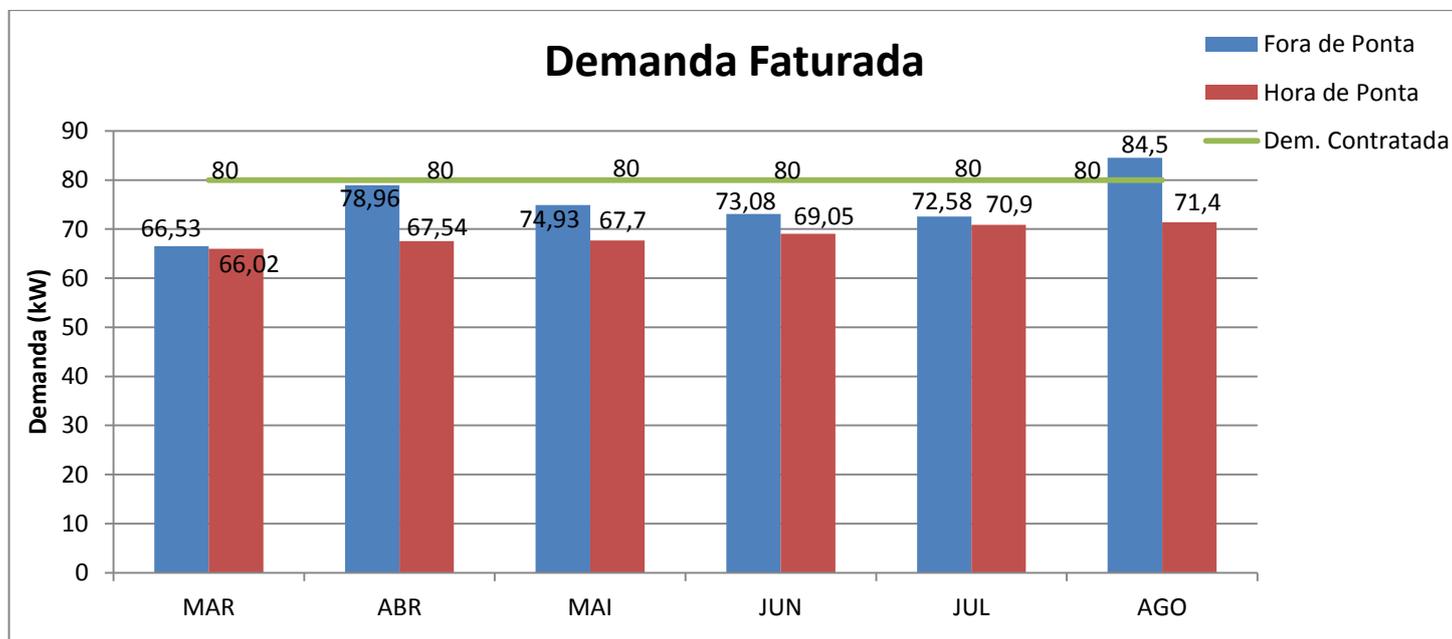
Figura 14 – Placa de Dados do Motor de 50CV da unidade de Hidrolândia.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

Através dos dados de telemedição do site da COELCE se fez possível gerar um gráfico da demanda dos meses de março a agosto de 2016. O gráfico gerado pode ser visto a seguir.

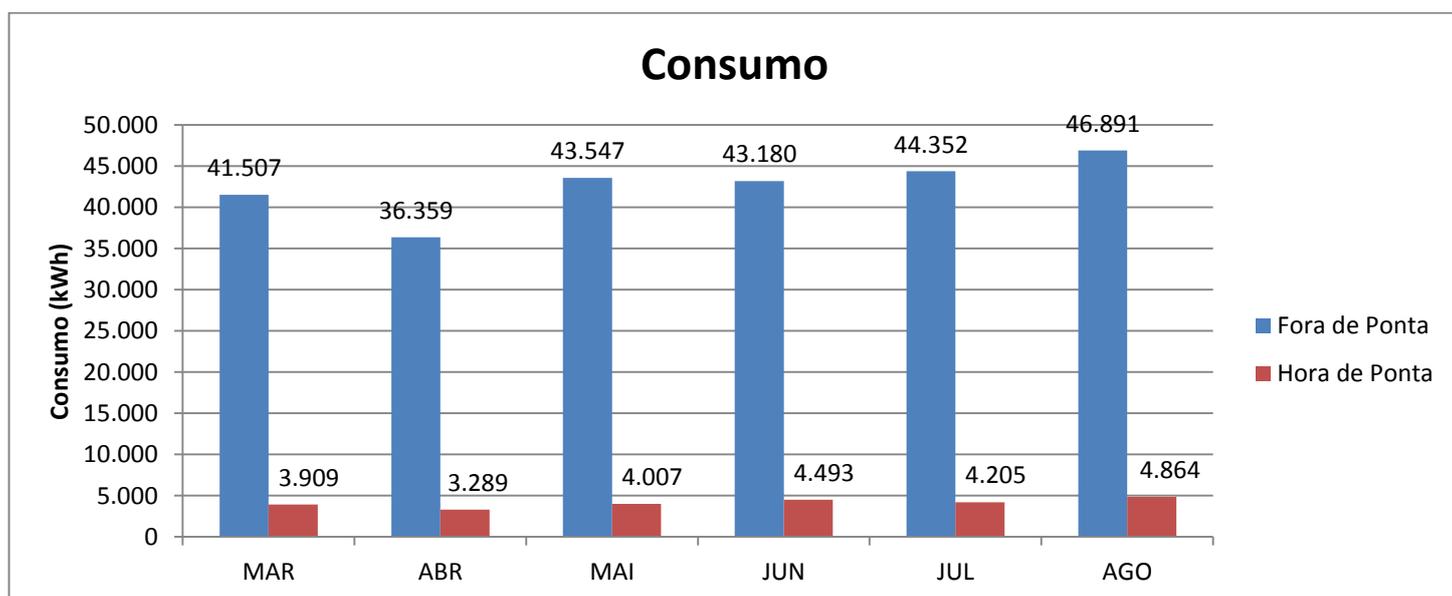
Figura 15 – Gráfico da Demanda Mensal da Unidade Consumidora de Hidrolândia.



Fonte: Figura do Próprio Autor.

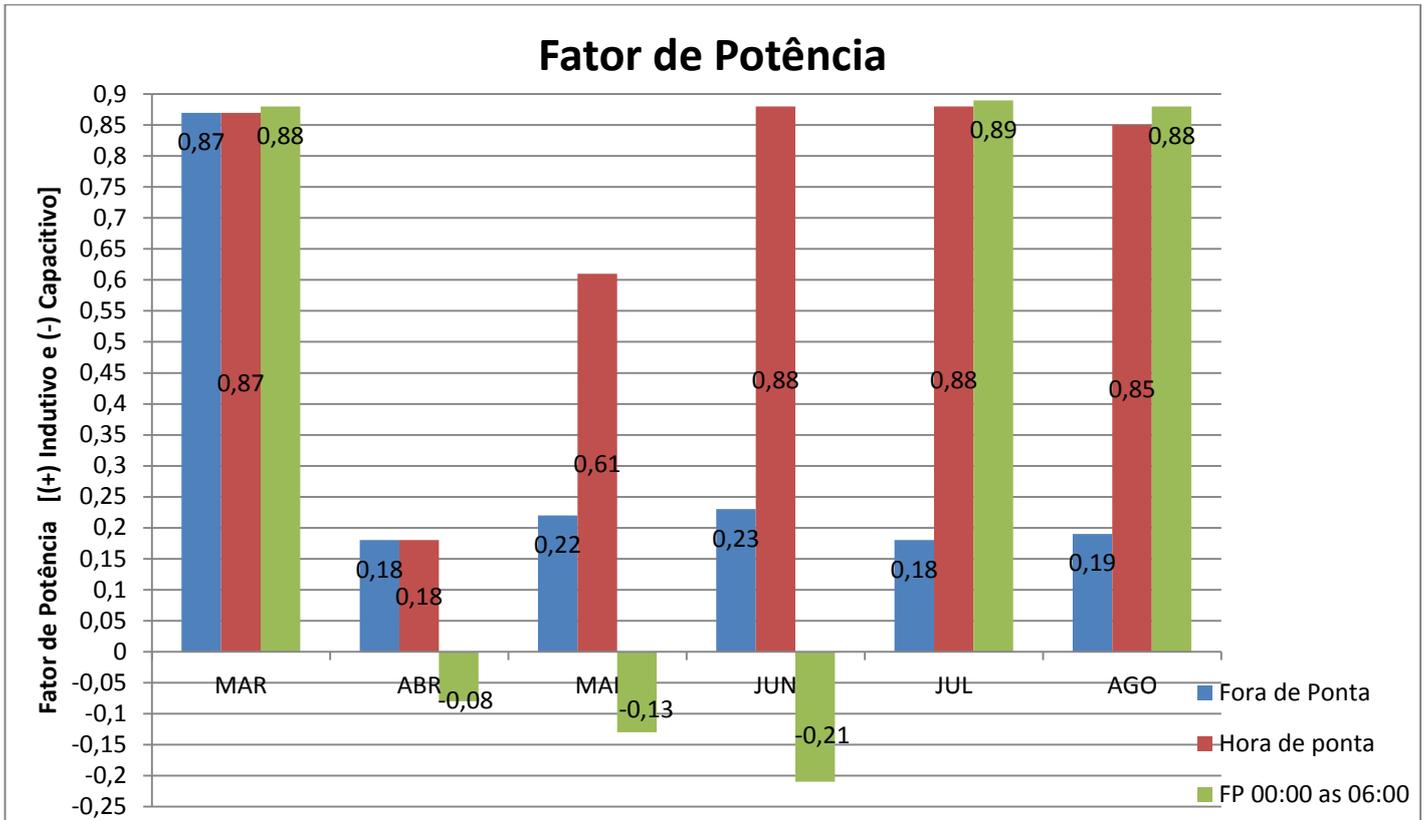
Foram coletados também através das telemedições da COELCE os históricos de consumo, fator de potência, e excedente de reativos da unidade dos meses de março a agosto de 2016 e pode ser verificado nas Figuras 16,17 e 18.

Figura 16 – Gráfico do Consumo Mensal da Unidade Consumidora de Hidrolândia.



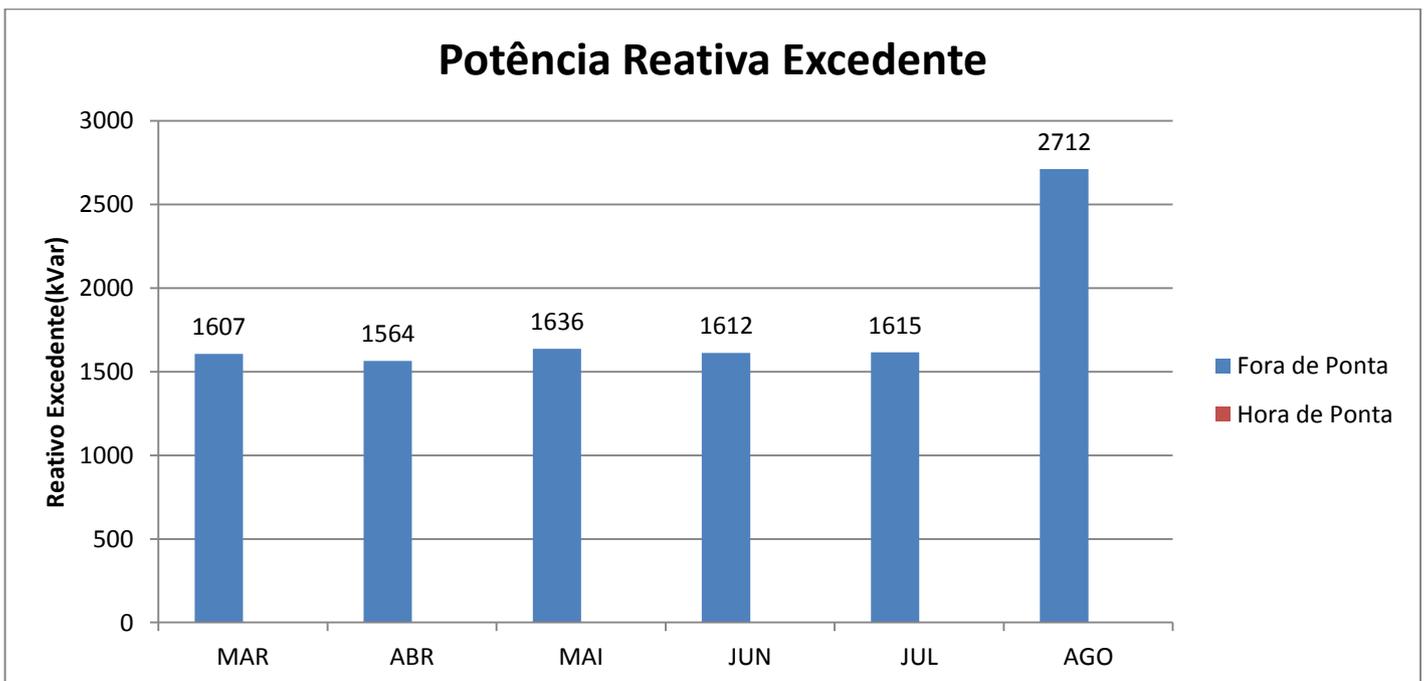
Fonte: Figura do Próprio Autor.

Figura 17 - Gráfico do Fator de Potência Mensal da Unidade Consumidora de Hidrolândia.



Fonte: Figura do Próprio Autor.

Figura 18 - Gráfico da Potência Reativa Excedente Mensal da Unidade Consumidora de Hidrolândia.



Fonte: Figura do Próprio Autor.

### 6.1.3. Análise de Racionalização de Energia

Através dos dados obtidos, se fez possível verificar que a unidade consumidora em questão está com uma demanda contratada que é compatível com a necessidade das suas instalações, obedecendo ao limite de ultrapassagem de até 5% da demanda contratada que é de 80 kW. Foi observado um fator de potência consideravelmente baixo durante o período da análise, fato esse que culminou em uma elevada taxa de potência reativa. Foi possível verificar que o motor utilizado na unidade consumidora pertence a classe de alto rendimento como visto na Figura 14, onde está apresentado os dados de placa do mesmo, este motor não se trata de um motor antigo com data de fabricação de apenas 7 anos, e o mesmo não apresenta um grande número de manutenções. Verificou-se ainda que o acionamento do mesmo é realizado por meio de partida compensadora.

Os tópicos seguintes visam buscar melhorias para solucionar o problema de eficiência energética desta unidade consumidora, realizando análises técnicas e estudos de viabilidade econômica.

#### 6.1.3.1. Correção de Fator de Potência

Através dos gráficos de telemedição foi possível observar que com exceção do mês de agosto, que apresentou índices bem elevados, a energia reativa excedente média mensal desta unidade consumidora durante o período de análise foi em média 1600 kVAR, e a média diária obtido através da Eq.(25).

$$\text{Reativa Excedente} = \frac{1600kVAr}{30 \text{ dias}} = 53kVAr \quad (25)$$

Logo, para solucionar o problema do fator de potência desta unidade consumidora se faz necessário realizar a instalação de um banco capacitor com ligação em delta de em média 55kVAR equivalente a 1010,33μF.

Ao obter as taxas de potência reativa excedente desta unidade e coletar o valor das tarifas em cada mês para este tipo de problema, foi possível estimar o valor pago de multa por esta ultrapassagem de reativos. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Excedente Reativo na unidade consumidora de Hidrolândia.

Mês	Excedente Reativo	Tarifa de Energia Reativa de Ponta (R\$/kW)	Valor Pago Por Excedente Reativo (Hidrolândia)
Março	1.607	R\$ 0,32326	R\$ 519,48
Abril	1.564	R\$ 0,33356	R\$ 521,69
Mai	1.636	R\$ 0,36245	R\$ 592,97
Junho	1.612	R\$ 0,37435	R\$ 603,45
Julho	1.615	R\$ 0,37016	R\$ 597,81
Agosto	2.712	R\$ 0,36059	R\$ 977,92
TOTAL			R\$ 3.813,32

Fonte: Tabela do Próprio Autor.

De acordo com GUEDES (2011), através da Eq.(26) se verifica a viabilidade de se contratar um serviço para correção do fator de potência.

$$A = 0,17698 * P \quad (26)$$

Onde ‘P’ é o preço orçado para realização da implantação de bancos capacitores. Se o valor de ‘A’ obtido for menor ou igual à soma do valor pago por excedente reativo nos últimos doze meses, a instalação do serviço de correção do fator de potência é indicada, caso contrário não vale a pena realizar a instalação.

Para implantação de um banco capacitor de 55kVAr, em delta valor necessário para corrigir o fator de potência neste caso, se tem um orçamento de em média R\$ 6.000,00. Através da Eq.(26) se verifica a viabilidade de implantação.

$$A = 0,17698 * P = 0,17698 * R\$ 6.000,00$$

$$A = R\$ 1.061,88$$

Para se verificar a viabilidade se faz necessário somar o valor pago por reativo excedente de doze meses, como a análise realizada contém apenas os dados dos últimos seis meses irá se somar o valor pago nos seis meses (R\$ 3813,32) e multiplicar o valor obtido por dois. Obtendo então o valor pago anual de R\$ 7.626,64, onde ao se realizar a correção do fator de potência, não será mais cobrado tal valor pelo reativo excedente, e esse valor pago passa a ser considerado como economia anual para o cálculo de viabilidade econômica. Pode-se verificar que o valor pago nos doze meses é bem superior ao valor de ‘A’ obtido através da Eq.(26), logo não se necessita de um cálculo de *Payback* para que possa considerar como viável a instalação do banco de capacitores de 55 kVAr para correção do fator de potência. Este investimento de implantação de banco de capacitores apresenta um retorno bastante atrativo, pois ao considerar que o valor que irá deixar de ser pago por reativos em um ano é inferior ao valor da instalação,

esta implantação se torna ainda mais atrativa pelo fato de que estes equipamentos possuem uma vida útil que costuma ser extensa quando não expostos a condições adversas.

### **6.1.3.2. Viabilidade de Substituição de Motores**

Para o caso desta unidade não se torna viável realizar a substituição de motores como meio de eficiência energética, tendo em vista que o motor utilizado para captação de água não é antigo com menos de 7 anos de uso, não apresenta grande número de manutenções e é um motor de alto rendimento, tornando inviável a realização de sua substituição.

Para melhoria de eficiência energética desta unidade, no quesito relacionado a motores, pode-se citar a mudança do modo de acionamento do motor, onde tal acionamento é realizado até então por meio de partida compensadora, que já reduz a corrente de partida, porém nada comparado a eficácia do acionamento por meio do *soft-starter*, este tipo de partida suave reduz significativamente a corrente de partida do motor e ainda reduz o conjugado da máquina, gerando redução do consumo de energia.

### **6.1.3.3. Viabilidade de Implantação de Sistema Fotovoltaico como Fonte Alternativa de Energia**

Tendo em vista o consumo consideravelmente elevado desta unidade, se faz necessário realizar o estudo de viabilidade de implantação de uma fonte alternativa de energia. A fonte de energia com o menor custo de implantação e manutenção e com uma boa vida útil é a fotovoltaica. Tendo em vista que a unidade consumidora apresenta boa localização geográfica, localizada em local aberto e sem sombreamentos a energia fotovoltaica torna-se bem atrativa para este caso. Será realizado então o cálculo de viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico conectado a rede da distribuidora.

Primeiramente foi estimada a média do consumo mensal a partir dos valores do consumo dos seis meses disponíveis para análise, onde se obteve um consumo médio de 46,7kWh. Em seguida através da Eq.(1) calcula-se a potência do sistema.

$$P_s = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{hr} * \text{Dias}} = \frac{46700k}{5 * 31} = 301,3kW$$

Depois de realizado tal procedimento, escolheu-se quais equipamentos a serem utilizados para o projeto através de uma pesquisa de marcas e modelos para identificar qual teria melhor custo benefício, foram escolhidos então um painel solar fotovoltaico de 260Wp fabricado pela Canadian Solar e um inversor de 20kW fabricado pela Fronius. As especificações técnicas deste painel estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela das especificações técnicas do painel fotovoltaico.

<b>Especificações Técnicas do Painel escolhido</b>	<b>Valores</b>
Tolerância	0/5 Watts
Tensão de Máxima Potência (Vm)	30,4 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im)	8,56 Amps
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37,5 Volts
Corrente de curto circuito (Isc)	9,12 Amps
Tensão Máxima do sistema	1000 Volts
Eficiência do Painel	16,16%
Coefficiente de Temperatura da Potência (Pm)	0,41%/°C
Coefficiente de Temperatura da corrente (Isc)	0,053%/°C
Coefficiente de temperatura da Tensão (Voc)	0,31%/°C
Temperatura Nominal de Operação da Célula (TNOC/NOCT) :	45 ± 2 °C
Dimensão :	(1,638 X 0,982 X 0,04) m
Código IP da Caixa de junção:	IP 67, 3Diodos
Número de Células e tipo:	60, Silício Policristalino
Peso do módulo:	18Kg
Vidro, tipo e espessura:	Vidro Temperado de Alta Transmissividade, liga de alumínio anodizado, Vidro Temperado 3,2mm.

Fonte: Dados retirados do *Datasheet* do fabricante do painel. Tabela do Próprio Autor.

O inversor escolhido pertence à classe da tecnologia Grid Tie (Trabalha em sincronia com a rede) e pode ser instalado em área externa ou interna, o mesmo tem suas características técnicas apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Tabela das especificações técnicas do inversor.

Especificações Técnicas do Inversor Escolhido			
Entrada		Saída	
Voltagem máxima de entrada	1000 Vcc	Potência nominal de saída	20000W
Faixa de Voltagem do MPP	(420 Vcc a 800Vcc)	Tensão de saída (faixa)	154Vca a 264Vca
Voltagem mínima de entrada	200 Vcc	Frequência de saída	60Hz
Voltagem para inicialização	200 Vcc	Corrente máxima de saída	31,9A
Corrente máxima de entrada	33A / 27A		
Outras Características			
Eficiência Máxima	98,10%	Temperatura de Operação	-25°C a +60°C
Consumo interno (noite)	<1W	Frequência de saída	60Hz
Dimensões	(0,510 x 0,225 x 0,725)m	Peso	43,4Kg

Fonte: Dados retirados do *Datasheet* do fabricante. Tabela do Próprio Autor.

De acordo com ALMADA (2016), ao escolher quais equipamentos utilizar, calcula-se então o número inicial de módulos através da Eq.(2).

$$n = \frac{P_s}{P_m} = \frac{301300}{260} = 1158 \text{ módulos} \quad (2)$$

Em seguida através da Eq.(3) e Eq.(4) são realizadas as correções de dimensionamento para temperaturas extremas que são consideradas 70°C e -10°C.

$$V_{mpp}(T) = V_{mpp} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (3)$$

$$V_{mpp}(70^\circ\text{C}) = 30,4 * [1 - 0,0031(70 - 25)] = 26,16V$$

$$V_{mpp}(-10^\circ\text{C}) = 30,4 * [1 - 0,0031(-10 - 25)] = 33,7V$$

$$V_{voc}(T) = V_{voc} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (4)$$

$$V_{voc}(-10^\circ\text{C}) = 37,5 * [1 - 0,0031(-10 - 25)] = 41,57V$$

Feito isso, se realiza o calculo do número máximo e mínimo de painéis ligados em série através da Eq.(5), Eq.(6) e Eq.(7).

$$N_{\min(mpp)} = \frac{V_{mpp\_min}(inversor)}{V_{mpp}(70^\circ\text{C})(módulo)} = \frac{420}{26,16} = 16,05 \quad (5)$$

$$N_{\max(mpp)} = \frac{V_{mpp\_max}(inversor)}{V_{mpp}(-10^\circ\text{C})(módulo)} = \frac{800}{33,7} = 23,7 \quad (6)$$

$$N_{\max} = \frac{V_{dc\_max}(inversor)}{V_{voc}(-10^\circ\text{C})(módulo)} = \frac{1000}{41,57} = 24,05 \quad (7)$$

Utiliza-se então um número de 20 painéis ligados em série, pois tal número se encaixa no intervalo determinado. O passo seguinte é determinar o número de fileiras do projeto como visto na Eq.(8) e a correção do número final de módulos em série por fileiras através da Eq.(9).

$$f = \frac{n}{N_o} = \frac{1158}{20} = 58 \text{ fileiras} \quad (8)$$

$$N_f = \frac{n}{f} = \frac{1158}{58} = 20 \text{ módulos} \quad (9)$$

Em seguida realiza-se a correção do número final de módulos no projeto através da Eq.(10) e o cálculo da potência corrigida do sistema fotovoltaico para o novo número de módulos por meio da Eq.(11).

$$n_f = N_f * f = 20 * 58 = 1160 \text{ módulos} \quad (10)$$

$$P_{Corrigida} = n_f * P_m = 1160 * 260 = 301,6 \text{ kW} \quad (11)$$

Em seguida calcula-se o número de inversores necessários usando a Eq.(12).

$$N_i = \frac{P_{corrigida}}{P_i} = \frac{301,6}{20} = 15 \text{ inversores} \quad (12)$$

De acordo com ALMADA (2016), após realizados tais procedimentos, utiliza-se as Eqs.(13), (14), (15), (16) e (17) para verificar se todas as condições necessárias para um correto funcionamento estão sendo atendidas. As 5 condições testadas podem ser conferidas na tabela abaixo.

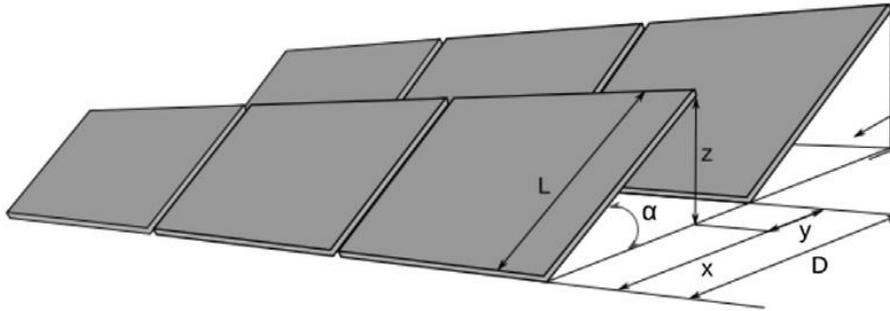
Tabela 4 – Tabela das condições exigidas para o funcionamento correto do sistema fotovoltaico.

	CONDIÇÃO	CÁLCULO	RESULTADO
1	$V_{mpp}(70^{\circ}C)(painel) \geq V_{mpp\_min}(inversor)$	$20 * 26,16V \geq 420V \rightarrow 523,2V \geq 420V$	ATENDIDA
2	$V_{mpp}(-10^{\circ}C)(painel) \leq V_{mpp\_max}(inversor)$	$20 * 33,7V \leq 800V \rightarrow 674V \leq 800V$	ATENDIDA
3	$V_{Voc}(-10^{\circ}C)(painel) \leq V_{dc\_max}(inversor)$	$20 * 41,57V \leq 1000V \rightarrow 831,4V \leq 1000V$	ATENDIDA
4	$\frac{f}{n_i} * I_{mpp\_max}(modulo) \leq I_{dc\_max}(inversor)$	$\frac{58}{15} * 8,5A \leq 33A \rightarrow 32,86A \leq 33A$	ATENDIDA
5	$0,7 < FDI < 1,2$	$0,7 < \frac{N_i * P_i}{n_f * P_m} < 1,2 \rightarrow 0,7 < \frac{15 * 20000}{1160 * 260} < 1,2$ $\rightarrow 0,7 < FDI = 0,99 < 1,2$	ATENDIDA

Fonte: Tabela do Próprio Autor.

Depois de realizados os procedimentos anteriores e verificado que todas as condições exigidas foram atendidas, parte-se para a verificação da área disponível para a instalação do número de equipamentos dimensionados. De acordo com a Tabela 2 com as especificações do painel as dimensões do mesmo são: 1,638 x 0,982 x 0,04. A Figura 19 mostra como os painéis devem ser enfileirados, sempre tomando um espaço de uma coluna para outra para que não haja sombreamento a partir do ângulo de inclinação dos painéis.

Figura 19 – Imagem de como os painéis devem ser dispostos.



Fonte: Ribeiro et al., 2015.

A letra ‘L’ indica a largura do painel escolhido, o ‘α’ representa o ângulo de inclinação do painel que é definido a partir da localização do projeto, para a região em que se pretende instalar o sistema fotovoltaico o ângulo utilizado deve ser 5°. A letra ‘y’ indica o espaçamento que deve existir entre uma coluna e outra para que não haja sombreamento de algum módulo, a letra ‘x’ indica a real largura que cada fileira irá ocupar após ser inclinada na angulação definida e ‘z’ representa altura do painel após inclinado para que seja possível calcular a distância de espaçamento da coluna de painéis seguinte. Os cálculos são realizados através das seguintes equações.

$$x = \cos 5^\circ * \text{Comprimento} \quad (26)$$

$$x = \cos 5^\circ * 1,638 = 1,631m$$

$$z = \text{sen } 5^\circ * \text{Comprimento} \quad (27)$$

$$z = \text{sen } 5^\circ * 1,638 = 0,142m$$

$$y = z * 3,5 \quad (28)$$

$$y = 0,142 * 3,5 = 0,497m$$

$$\text{Área} = [N_f * (x + y)] * (f * \text{Largura}) \quad (29)$$

$$\text{Área} = [20 * (2,128)] * (58 * 0,982) = 2424 \text{ m}^2$$

Depois de realizado o dimensionamento e verificado que a área disponível para a implantação é superior a área mínima a ser utilizada, deve-se então calcular o valor a ser pago para implantação do sistema fotovoltaico. Como já dito anteriormente o custo de aquisição dos equipamentos do sistema fotovoltaico (painéis e inversores) valem 65% do custo total de implantação desse sistema. O orçamento foi feito a partir dos preços dos equipamentos escolhidos para o projeto e está disponível na Tabela 5.

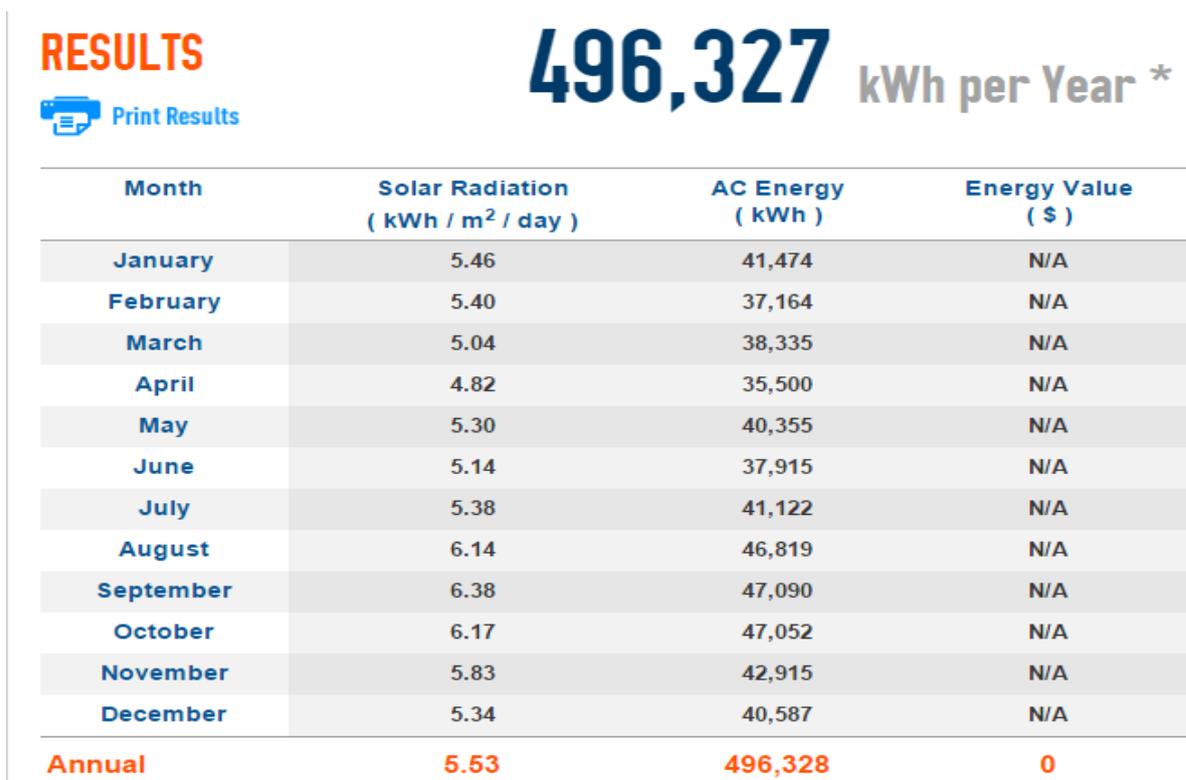
Tabela 5 – Tabela de Custos para Implantação do Sistema Fotovoltaico na unidade de Hidrolândia.

	Preços	Quantidade	Valor	
Painel (260 W)	R\$ 959,00	1160	R\$ 1.112.440,00	
Inversor (20000 W)	R\$ 31.390,00	15	R\$ 470.850,00	
			R\$ 1.583.290,00	65%
			R\$ 2.435.830,77	TOTAL (100%)

Fonte: Tabela do Próprio autor.

Ao realizar o orçamento para implantação deste projeto, verifica-se então o cálculo de produção de energia do empreendimento fotovoltaico, para que seja possível analisar sua viabilidade econômica. Para tal procedimento será utilizado o *software PVWatts*, disponível em < <http://pvwatts.nrel.gov/> >. Ao informar a potência do sistema e todas as características do local na plataforma do *software*, foi verificado o potencial de produção visto na Figura 20.

Figura 20 – Potencial anual de produção de energia fotovoltaica para unidade consumidora de Hidrolândia.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

A Figura 20 mostra o potencial de geração de energia fotovoltaica que o sistema projetado oferece. Podendo vir a gerar uma significativa redução no valor pago pela energia elétrica ao se aderir a um sistema conectado à rede da concessionária. Para verificar a viabilidade econômica da implantação desse sistema, coletou-se o valor do consumo dos seis meses nos quais foram disponibilizados através das telemedições e foram subtraídos do valor de potencial de geração referente a cada mês que o *software* indicou no cálculo de energia previsto, obtendo os valores de economia apresentados na Tabela 6 de acordo com o valor de tarifa de cada mês.

A tabela 6 irá apresentar a economia obtida através da redução no consumo de energia da unidade consumidora ao aderir o sistema fotovoltaico.

Tabela 6 – Tabela da Economia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês na unidade consumidora de Hidrolândia.

PERÍODO (Mês)	CONSUMO		ENERGIA PRODUZIDA		TARIFA DE CONSUMO		VALOR PAGO POR CONSUMO ANTES DA INSTALAÇÃO	VALOR PAGO POR CONSUMO APÓS INSTALAÇÃO	ECONOMIA MENSAL
	Hora de Ponta (kWh)	Fora de Ponta (kWh)	Hora de Ponta (kWh)	Fora de Ponta (kWh)	Hora de Ponta (R\$/kW)	Fora de Ponta (R\$/kW)			
Março	3.909	41.507	0	38.335	R\$ 1,47307	R\$ 0,37203	R\$ 21.200,08	R\$ 6.938,31	R\$ 14.261,77
Abril	3.289	36.359	0	35.500	R\$ 1,68684	R\$ 0,40728	R\$ 20.356,31	R\$ 5.897,87	R\$ 14.458,44
Maio	4.007	43.547	0	40.355	R\$ 1,67289	R\$ 0,40391	R\$ 24.292,34	R\$ 7.992,55	R\$ 16.299,79
Junho	4.493	43.180	0	37.915	R\$ 1,68935	R\$ 0,40789	R\$ 25.202,94	R\$ 9.737,79	R\$ 15.465,15
Julho	4.205	44.352	0	41.122	R\$ 1,67042	R\$ 0,40332	R\$ 24.912,16	R\$ 8.326,84	R\$ 16.585,33
Agosto	4.864	46.891	0	46.819	R\$ 1,62723	R\$ 0,39289	R\$ 26.337,85	R\$ 7.943,13	R\$ 18.394,72

Fonte: Tabela do próprio autor.

Resultando em uma economia semestral de R\$ 95.465,19, relacionando-se apenas ao consumo sem levar em conta uma possível redução na demanda contratada, por não ser disponibilizado nas telemedições os dados de consumo do ano inteiro e apenas dos seis últimos meses, para se calcular a economia anual gerada pela implantação do sistema fotovoltaico, será feita uma aproximação, onde será multiplicado por dois o valor de economia semestral obtido através dos dados que são disponibilizados, obtendo então uma economia anual de aproximadamente R\$ 190.930,38.

O passo seguinte será verificar qual o tempo de retorno ou *Payback* obtido pela aquisição do sistema fotovoltaico. Para tal procedimento fora utilizado uma tabela de *Payback* referente à Tabela 7, onde o sinal negativo presente na coluna do fluxo de caixa indica o investimento inicial para aquisição do sistema, já calculado anteriormente. O segundo valor da coluna de fluxo de caixa da Tabela 7 indica o valor de economia anual e os valores posteriores são obtidos ao considerar um reajuste anual de 10% em cima do valor de economia do ano anterior. Já os sinais negativos na coluna do *Payback* indicam que o valor do investimento ainda não foi atingido pela economia

gerada, e a primeira linha em que o sinal negativo não aparece no valor, equivale ao tempo (em anos) de retorno do investimento.

Tabela 7 – Tabela indicando o Payback do investimento fotovoltaico na unidade consumidora de Hidrolândia.

		PAYBACK
ANO	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CX ACUMULADO
0	-R\$ 2.435.830,77	-R\$ 2.435.830,77
1	R\$ 190.930,38	-R\$ 2.244.900,39
2	R\$ 210.023,42	-R\$ 2.034.876,97
3	R\$ 231.025,76	-R\$ 1.803.851,22
4	R\$ 254.128,33	-R\$ 1.549.722,88
5	R\$ 279.541,17	-R\$ 1.270.181,71
6	R\$ 307.495,28	-R\$ 962.686,43
7	R\$ 338.244,81	-R\$ 624.441,62
8	R\$ 372.069,29	-R\$ 252.372,32
<b>9</b>	<b>R\$ 409.276,22</b>	<b>R\$ 156.903,90</b>
10	R\$ 450.203,85	R\$ 607.107,75
11	R\$ 495.224,23	R\$ 1.102.331,98

Fonte: Tabela do próprio autor.

Observa-se que o tempo de retorno no *Payback* simples é de 9 anos, ou seja, passados 9 anos da aquisição do sistema fotovoltaico a unidade consumidora em questão irá lucrar com tal empreendimento, reduzindo consideravelmente o valor pago por energia elétrica para a concessionária. Portanto pode-se considerar viável a instalação de um sistema fotovoltaico para esta unidade consumidora, tendo em vista que o prazo de retorno obtido foi de em média 9 anos e sabendo que a vida útil dos equipamentos varia entre 25 e 30 anos, após esse período o sistema continua funcionando, porém tem uma queda de produção de em média 20%.

#### 6.1.4. Considerações Adicionais da Unidade Consumidora de Hidrolândia

Foi possível observar então durante o estudo nesta unidade, dos métodos avaliados, a viabilidade de implantação de banco de capacitores para correção do fator

de potência e a implantação do sistema fotovoltaico como fonte alternativa de energia, onde ambas visam redução de custos relacionados à energia. Para que se possa verificar o custo relacionado à aquisição destes métodos de melhorias e o valor de retorno obtido com o funcionamento dos dois métodos simultaneamente, a tabela abaixo exhibe os números da união destes dois métodos de eficiência energética.

Levando em conta o custo da implantação do banco de capacitores especificado que é em torno de R\$ 6.000,00 e o valor que deixa de ser pago por excedente reativo em um ano que é de R\$ 7.626,64. Considerou-se ainda o custo de aquisição do sistema fotovoltaico de R\$ 2.435.830,77, onde se deixará de pagar pelo consumo de energia um valor referente à R\$ 190.930,38 por ano. Somados os custos de aquisição se chegou a um valor de R\$ 2.441.830,77 e um valor de retorno anual de R\$ 198.557,02.

Tabela 8 – Tabela indicando o Payback da implantação dos métodos simultaneamente.

		<b>PAYBACK SIMPLES</b>	
<b>ANO</b>	<b>FLUXO DE CAIXA</b>	<b>FLUXO DE CX ACUMULADO</b>	
0	<b>-R\$ 2.441.830,77</b>	-R\$	2.441.830,77
1	R\$ 198.557,02	-R\$	2.243.273,75
2	R\$ 218.412,72	-R\$	2.024.861,03
3	R\$ 240.253,99	-R\$	1.784.607,03
4	R\$ 264.279,39	-R\$	1.520.327,64
5	R\$ 290.707,33	-R\$	1.229.620,31
6	R\$ 319.778,07	-R\$	909.842,24
7	R\$ 351.755,87	-R\$	558.086,37
8	R\$ 386.931,46	-R\$	171.154,91
<b>9</b>	<b>R\$ 425.624,61</b>	<b>R\$</b>	<b>254.469,70</b>
10	R\$ 468.187,07	R\$	722.656,77
11	R\$ 515.005,77	R\$	1.237.662,54

Fonte: Tabela do próprio autor.

Observou-se através da análise realizada um *Payback* de menos de 9 anos, evidenciando a atratividade e a viabilidade de implantação de métodos que gerem eficiência energética, pois por meio dos mesmos se obtém energia limpa, redução de custos e ampliação do lucros aumentando a competitividade da empresa que os adere.

## **6.2. Estudo de Eficiência Energética em Unidade Consumidora da Companhia CAGECE de Frecheirinha**

Do mesmo modo do tópico anterior, para que fosse realizado um estudo concreto da unidade consumidora se fez necessário elaborar um relatório de auditoria energética para a partir do levantamento de dados, identificar os possíveis pontos de deficiência e gerar um plano de ação a ser seguido.

### **6.2.1. Especificações da Empresa**

A unidade consumidora em questão está situada no sítio Angicos, pertencente à cidade de Frecheirinha. Próximo às margens do reservatório responsável pelo abastecimento de água da região. Nesta unidade consumidora é realizada a captação, o tratamento e o envio até o reservatório da empresa (Caixa d'água).

### **6.2.2. Estudos Energéticos**

Esta unidade detém de uma subestação aérea de 150 kVA e é tarifada através da modalidade horosazonal verde com uma demanda contratada de 105 kW. A carga instalada da mesma é formada por um motor de 50 CV responsável pela captação da água até a estação de tratamento, um motor de 60 CV para captar a água já tratada para o reservatório da empresa e dois motores de 15 CV responsáveis pela limpeza dos filtros. Totalizando uma somatória de 140 CV, correspondendo a uma potência de 103,04 kW.

O motor de 50 CV responsável pela captação da água fica situado em uma balsa flutuante como visto na figura 21.

Figura 21 – Foto do motor de 50CV acoplado a uma bomba responsável pela captação dá água do reservatório e transporte até a estação de tratamento de Frecheirinha. Motor fixado a uma balsa flutuante.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

O motor tem um rendimento de 92,5%, com um fator de potência de 0,85.

O motor de 60 CV responsável pela captação da água tratada até o reservatório da empresa tem um fator de potência de 0,9 e um rendimento de 92,5% e conta com um motor reserva com a mesma configuração para o caso de algum defeito.

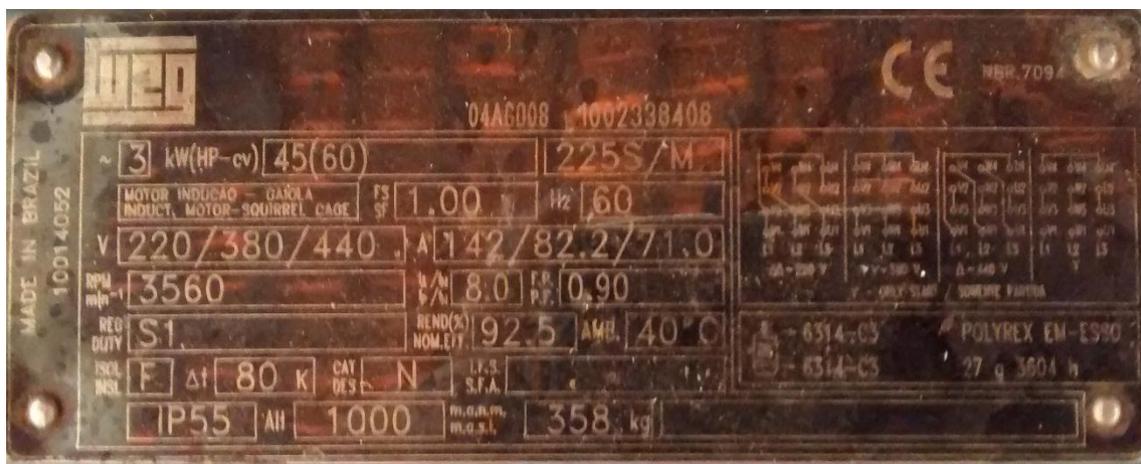
Figura 22 – Motor de 60CV responsável pela captação da água tratada e do transporte até o reservatório de distribuição da unidade de Frecheirinha. Foto do motor utilizado e motor reserva.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

Os dados de potência rendimento e fator de potência citados acima e alguns outros dados podem ser conferidos na placa do motor disponibilizada na figura a seguir.

Figura 23 – Placa de Dados do motor de 60CV na unidade de Frecheirinha.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

Os dois motores de 15 CV responsáveis pela limpeza de filtro e tem um rendimento de 88,6% com um fator de potência de 0,83. Existe ainda um terceiro motor de 15 CV com as mesmas configurações dos citados anteriormente, servindo de motor reserva em caso de algum problema. Os dados de placa e os motores de 15 CV podem ser vistos nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 – Foto dos Motores de 15CV responsáveis por realizar a limpeza dos filtros na unidade de Frecheirinha. Dois motores utilizados e um motor reserva.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

Figura 25 – Placa de Dados do Motor de 15CV da unidade de Frecheirinha.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

A unidade consumidora já conta em suas instalações, com um banco de capacitor para correção do fator de potência, sendo formado por um capacitor de 20 kVAr e outro de 25 kVAr, somando juntos uma potência de 45 kVAr. O banco instalado pode ser visto na figura 26.

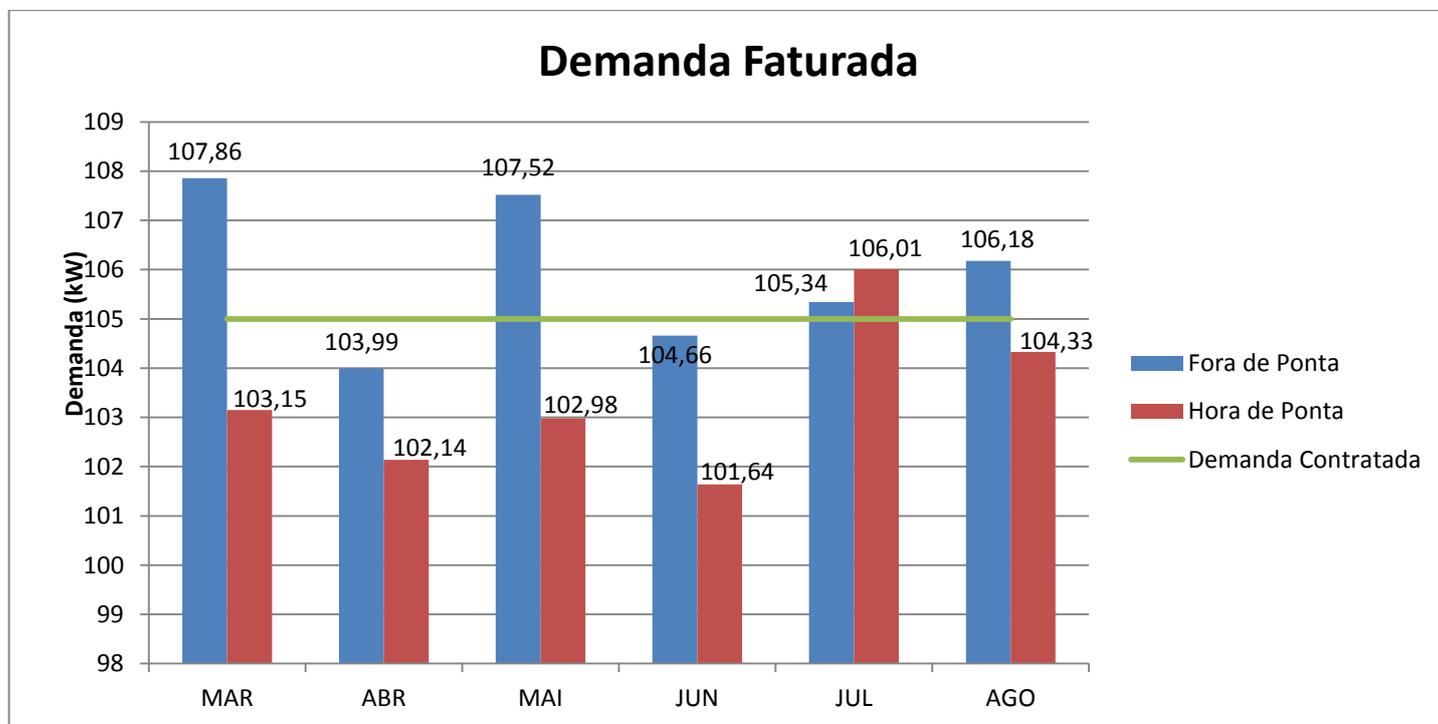
Figura 26 – Banco de Capacitor de 45kVAr instalado na unidade consumidora de Frecheirinha.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

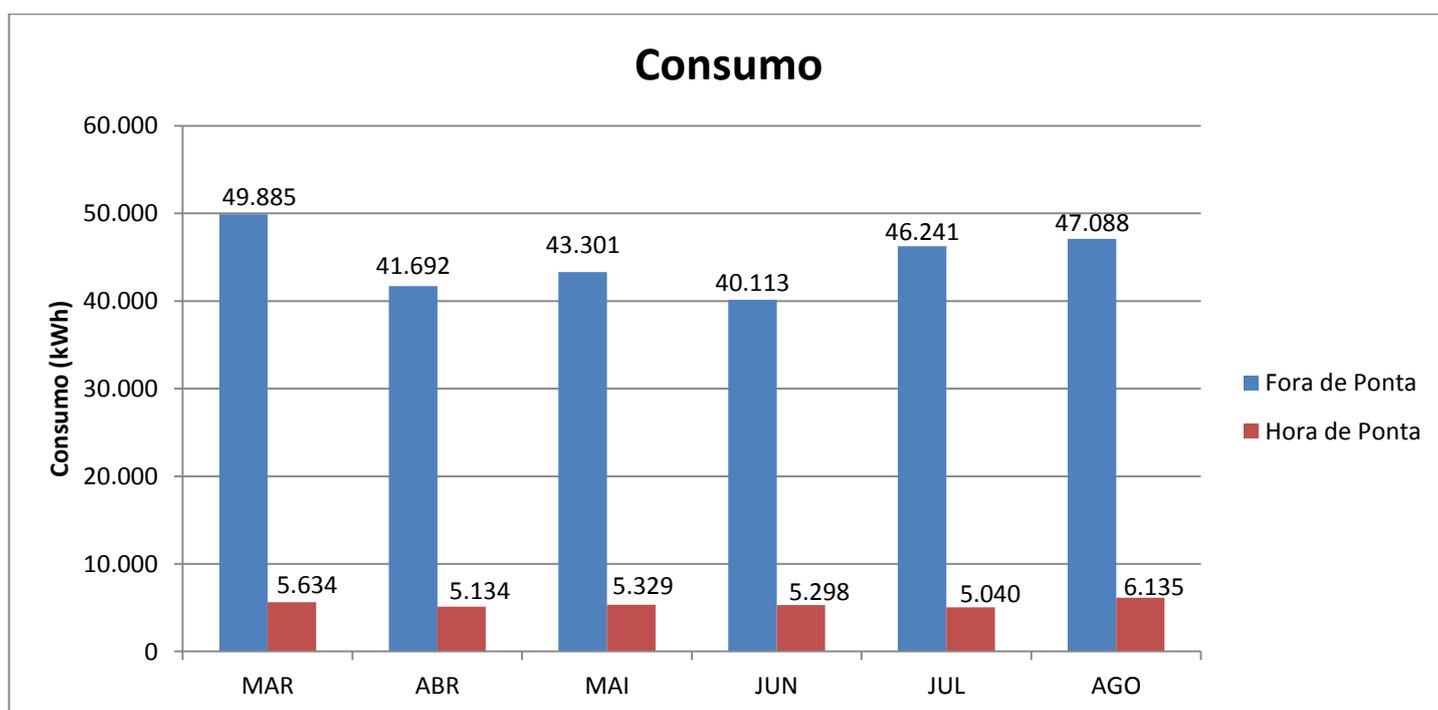
Foram obtidos através das telemedições da COELCE os históricos de demanda, consumo, fator de potência, e excedente de reativos da unidade dos últimos seis meses. A partir desses históricos foram gerados os gráficos vistos nas Figuras 27, 28, 29 e 30.

Figura 27 – Gráfico da Demanda Mensal da Unidade Consumidora de Frecheirinha.



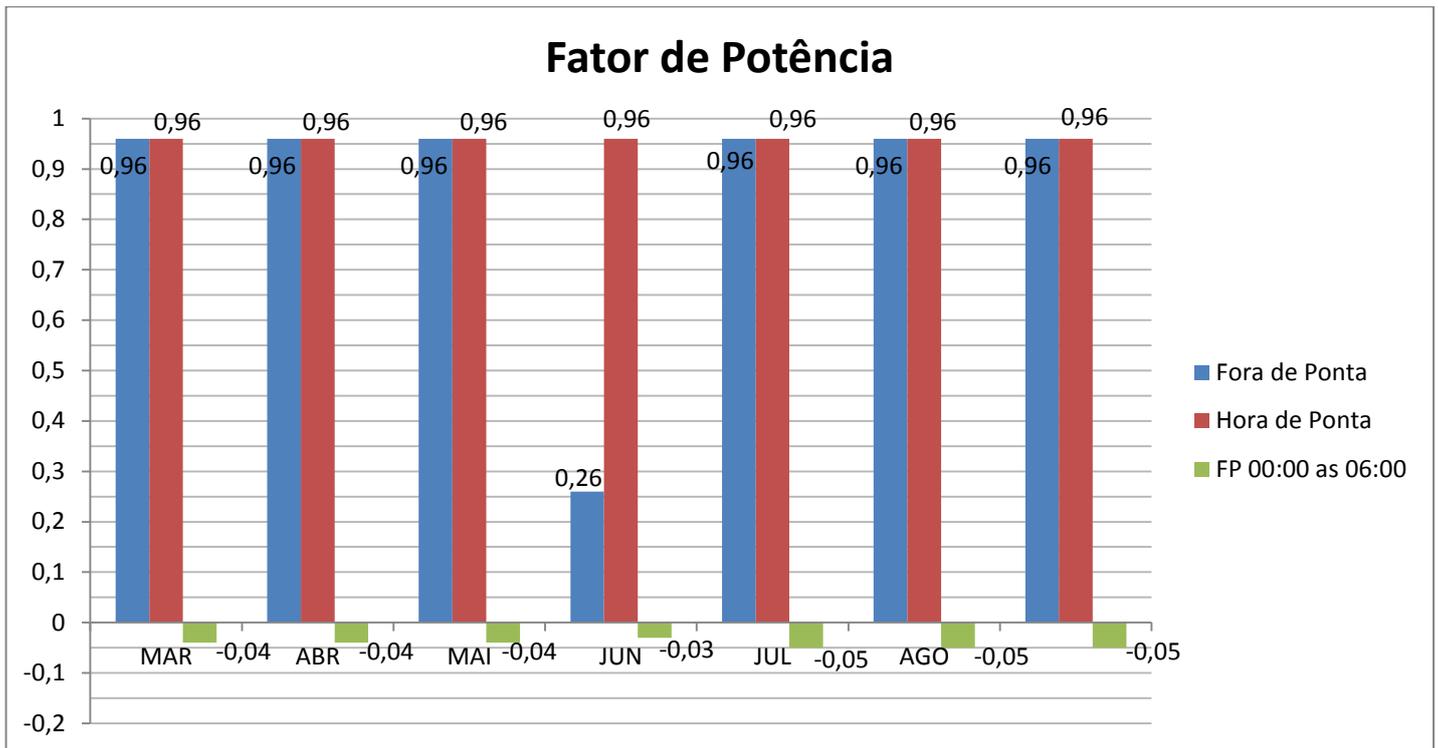
Fonte: Figura do Próprio Autor.

Figura 28 – Gráfico do Consumo Mensal da Unidade Consumidora de Frecheirinha.



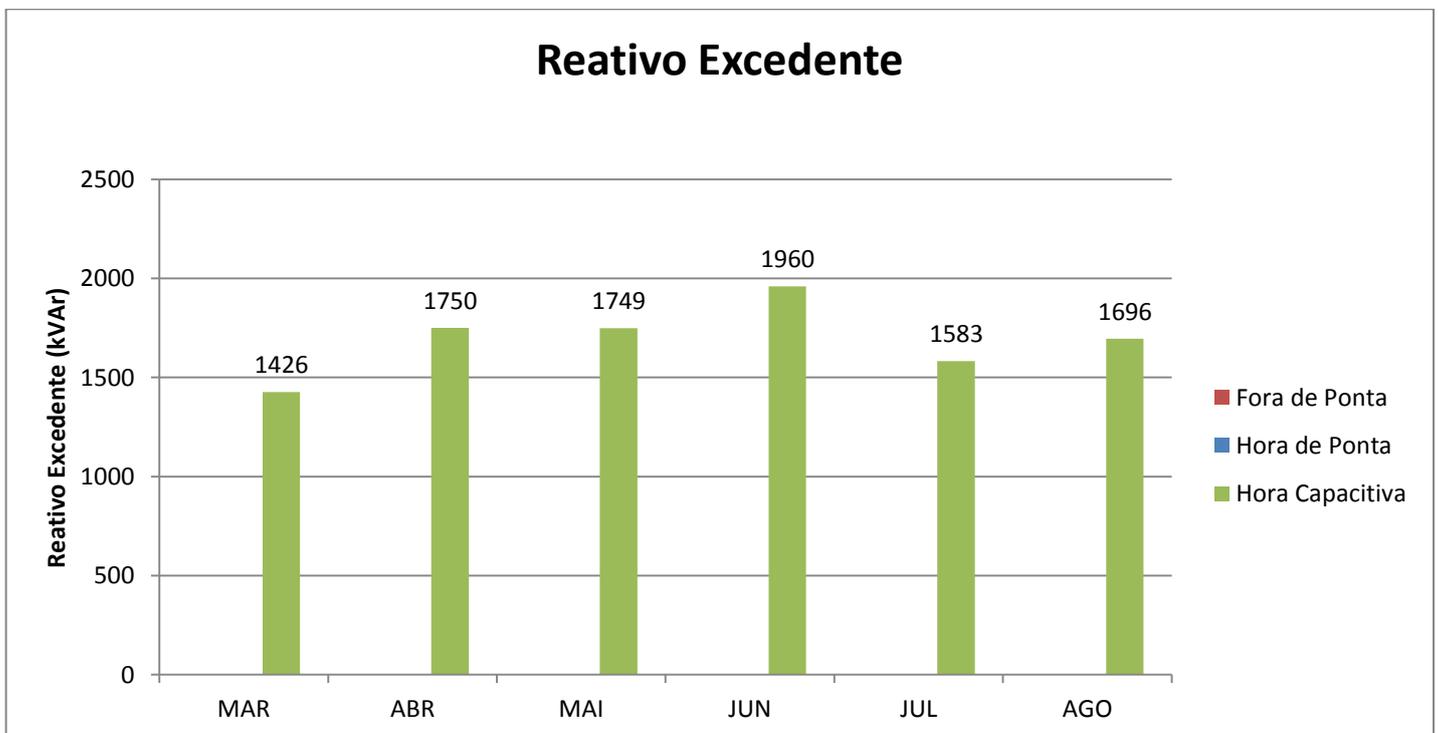
Fonte: Figura do Próprio Autor.

Figura 29 – Gráfico do Fator de Potência Mensal da Unidade Consumidora de Frecheirinha.



Fonte: Figura do Próprio Autor.

Figura 30 – Gráfico da Potência Reativa Excedente Mensal da Unidade Consumidora de Frecheirinha.



Fonte: Figura do Próprio Autor.

### **6.2.3. Análise de Racionalização de Energia**

Através dos dados obtidos, se fez possível verificar que a unidade consumidora em questão encontra-se com uma demanda contratada que se encaixa com a demanda solicitada pelas suas instalações, tendo em vista que a demanda durante os seis meses analisados, não ultrapassou o limite de 5% da demanda contratada que é de 105 kW, com essa demanda contratada a unidade consumidora poderia atingir uma demanda de 110,25 kW sem que houvessem cobranças adicionais. Foi verificado também que mesmo a unidade detendo em suas instalações de um banco de capacitor para correção de fator de potência, ainda há uma cobrança de reativos excedentes, verificando que o motivo de tal cobrança é o fato dos mesmos não serem desligados. Foi possível verificar que os motores presentes nesta instalação não são antigos e não passaram por muitas manutenções. O acionamento dos mesmos é realizado por meio de acionadores eletrônicos de partida suave, os softstarter que reduzem bastante a corrente de partida.

Os tópicos seguintes buscam solucionar o problema de eficiência energética desta unidade consumidora, realizando análises técnicas e estudos de viabilidade econômica em possíveis pontos de deficiência desta unidade.

#### **6.2.3.1. Correção do Fator de Potência**

Ao observar os gráficos obtidos através da telemedicação disponibilizada para esta unidade consumidora, foi possível verificar um elevado valor de potência reativa excedente como visto na Figura 30. O valor pago de multa por essa ultrapassagem de reativos nos meses disponibilizados pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9 – Excedente Reativo na unidade consumidora de Frecheirinha.

Mês	Excedente Reativo	Tarifa de Energia Reativa de Ponta (R\$/kW)	Valor Pago Por Excedente Reativo (Frecheirinha)
Março	1.426	R\$ 0,32326	R\$ 460,97
Abril	1.750	R\$ 0,33356	R\$ 583,73
Mai	1.749	R\$ 0,36245	R\$ 633,93
Junho	1.960	R\$ 0,37435	R\$ 733,73
Julho	1.583	R\$ 0,37016	R\$ 585,96
Agosto	1.696	R\$ 0,36059	R\$ 611,56
TOTAL			R\$ 3.609,87

Fonte: Tabela do próprio autor.

Ao se em falar cobrança por reativo excedente, vem em mente correção do fator de potência através da implantação de um banco de capacitores, porém para esta unidade consumidora essa cobrança está sendo feita mesmo com a presença de um banco de capacitores, como mostrado na Figura 26. Ao analisar o gráfico apresentado na Figura 29, verificou-se que tanto no horário de ponta correspondente ao intervalo entre 17h e 30min e 20h e 30min, quanto no horário fora de ponta correspondente aos intervalos entre 06h e 30min e 17h e 30min e ainda entre 20h e 30 min e 23h e 30min o fator de potência está acima do valor mínimo recomendado de 0,92 indutivo, porém está apresentando, durante o período da medição do fator de potência capacitivo correspondente ao intervalo de 23h e 30min e 06h e 30min, um fator de potência muito abaixo do exigido. Logo chegou a conclusão que a cobrança está sendo realizada apenas pelo fator de potência capacitivo, isso se dá pelo fato dos capacitores presentes na instalação não estarem sendo desligados durante o período de cobrança capacitiva especificado anteriormente.

Ao se analisar a instalação foi visto que os capacitores da Figura 26 foram ligados diretamente no barramento e estavam ligados durante as 24horas do dia, logo foi sugerido a implantação de um relé temporizado (timer), onde ele desativa e ativa os capacitores automaticamente no tempo certo, mediante uma programação pré-determinada em suas configurações.

A empresa já detinha este tipo de equipamento temporizado, a imagem do temporizador (Programador Diário/Semanal PDS-02. 40p) pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Imagem do Programador Diário/Semanal á ser utilizado.



Fonte: Foto do próprio autor.

Em uma pesquisa de preços de mercado, foi visto que o temporizador utilizado custa em média R\$ 150,00. Podendo então, a partir desse valor e do valor pago por reativos excedentes em cada mês, confirmar instantaneamente a sua viabilidade de implantação sem que seja necessário realizar qualquer estudo de viabilidade econômica, gerando uma economia anual de em média R\$ 7.100,00.

#### **6.2.3.2. Viabilidade de Substituição de Motores**

Nesta unidade consumidora será verificada ainda a possibilidade da substituição dos motores. Observa-se que todos os motores que estão em funcionamento na unidade apresentam um rendimento não tão baixo como visto nos dados de placa de cada um dos apresentados anteriormente e ainda são motores com apenas 8 anos de fabricação que não passaram por muitas manutenções, podendo ressaltar que os mesmos ainda seguem um funcionamento em regime de revezamento, onde cada vez que uma máquina é desligada e acionada outra é ligada fazendo o revezamento, para evitar o desgaste excessivo por trabalho ininterrupto.

Para verificar a viabilidade da troca de motores nesta unidade será verificado o consumo de cada um dos motores utilizados na unidade consumidora relacionando-os com o consumo de motores de alto rendimento através da Eq.(20) e da Eq.(21).

Primeiramente será realizada a análise para o motor de 15CV responsável pela limpeza dos filtros, sabendo que o mesmo tem uma potência elétrica de 11,04kW e trabalhando por apenas uma hora durante o dia (em hora fora de ponta) e com um rendimento de 88,6%. O Motor de alto rendimento sugerido para a troca tem a mesma potência elétrica, rendimento de 93% e custa em média R\$ 4.000,00, deve-se levar em conta o fato de que ao se entregar o motor usado como entrada, a maioria dos fabricantes, disponibiliza um desconto de cerca de 20% na compra do motor novo, logo o motor passa a custar em média R\$ 3200,00.

$$C_{m15} = \frac{P_{m1} * T_{m1}}{\eta_{m1}} = \frac{11,04 * 1}{0,886} = 12,46 kWh \quad (20)$$

$$C_{AR15} = \frac{P_{AR} * T_{AR}}{\eta_{AR}} = \frac{11,04 * 1}{0,93} = 11,87 kWh \quad (21)$$

Em seguida calcula-se o valor de retorno ao aplicar a Eq.(22) na Eq.(23).

$$Vr = (C_{m15} - C_{AR15}) * \text{Custo da Energia (R\$)} \quad (23)$$

$$Vr = (12,46 - 11,87) * 0,4 = R\$ 0,24$$

Gerando então uma economia muito pequena por conta do seu curto período de trabalho diário, essa economia diária de R\$ 0,24 equivale a apenas R\$ 87,60 de economia em um ano. Como são dois motores utilizados para limpeza de filtro essa economia seria de R\$ 175,20. Logo o investimento feito para aquisição desses motores seria em média R\$ 6.400,00.

A inviabilidade desta substituição pode ser confirmada através da tabela de *Payback* simples apresentada abaixo, onde mesmo ao considerar um reajuste de 10% ao ano na coluna do fluxo de caixa, o retorno só fora obtido em meados dos 17 anos após a substituição, esta inviabilidade pode ter sido acentuada pelo reduzido tempo de funcionamento em que este motor é submetido diariamente.

Tabela 10 - Tabela de Payback simples para substituição de motores de 15CV.

ANO	PAYBACK SIMPLES	
	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CX ACUMULADO
0	-R\$ 6.400,00	-R\$ 6.400,00
1	R\$ 175,20	-R\$ 6.224,80
2	R\$ 192,72	-R\$ 6.032,08
3	R\$ 211,99	-R\$ 5.820,09
4	R\$ 233,19	-R\$ 5.586,90
5	R\$ 256,51	-R\$ 5.330,39
6	R\$ 282,16	-R\$ 5.048,23
7	R\$ 310,38	-R\$ 4.737,85
8	R\$ 341,42	-R\$ 4.396,43
9	R\$ 375,56	-R\$ 4.020,88
10	R\$ 413,11	-R\$ 3.607,76
11	R\$ 454,42	-R\$ 3.153,34
12	R\$ 499,87	-R\$ 2.653,47
13	R\$ 549,85	-R\$ 2.103,62
14	R\$ 604,84	-R\$ 1.498,78
15	R\$ 665,32	-R\$ 833,46
16	R\$ 731,85	-R\$ 101,61
17	R\$ 805,04	R\$ 703,43

Fonte: Tabela do próprio autor.

O próximo passo é avaliar o motor de 50 CV. Este motor apresenta um rendimento de 92,5% e é responsável pela captação de água do reservatório para a estação de tratamento, o mesmo detém uma potência elétrica de 36,8 kW e trabalha cerca de 20 horas por dia, funcionando em hora de ponta. O Motor de alto rendimento sugerido para a troca tem a mesma potência elétrica, rendimento de 95% e custa em média R\$ 14.000,00. Ao considerar os 20% de descontos provenientes da política de troca de motores a adesão do motor passa a custar R\$ 11.200,00. Será repetido o mesmo procedimento realizado para o motor de 15CV. Será considerado das 20 horas de trabalho do motor, 17 horas seja em hora fora de ponta e as 3 horas restantes na hora de ponta.

$$C_{m50FP} = \frac{P_{m1} * T_{m1}}{\eta_{m1}} = \frac{36,8 * 17}{0,925} = 676,32kWh \quad (20)$$

$$C_{m50HP} = \frac{P_{m1} * T_{m1}}{\eta_{m1}} = \frac{36,8 * 3}{0,925} = 119,35kWh \quad (20)$$

$$C_{AR50HP} = \frac{P_{AR} * T_{AR}}{\eta_{AR}} = \frac{36,8 * 17}{0,95} = 658,52 kWh \quad (21)$$

$$C_{AR50FP} = \frac{P_{AR} * T_{AR}}{\eta_{AR}} = \frac{36,8 * 3}{0,95} = 116,21 kWh \quad (21)$$

$$Vr = [(C_{m50FP} - C_{AR50FP}) * \text{Custo da Energia FP(R\$)}] + [(C_{m50HP} - C_{AR50HP}) * \text{Custo da Energia HP(R\$)}]$$

$$Vr = [(676,32 - 658,52) * 0,4] + [(119,35 - 116,21) * 1,68] = R\$ 12,24 \quad (23)$$

Gerando uma economia diária de R\$ 12,24 que equivale a uma economia anual de R\$ 4526,00. Será calculado o tempo de retorno ao se realizar a substituição através da tabela de *Payback* simples abaixo, onde foi levado em conta o valor anual de retorno apresentado anteriormente e o valor de aquisição do motor, que é em torno de R\$ 11.200,00. A partir dos valores obtidos na tabela de *Payback* simples abaixo verifica-se que a substituição do motor de 50CV por outro de mesma potência e pertencente ao grupo de alto rendimento, apresenta uma boa viabilidade econômica mesmo se tratando de um motor de menos de 8 anos de fabricação, tendo em vista que o retorno obtido nesta troca gerará lucros antes de completar 3 anos do investimento.

Tabela 11 - Tabela de *Payback* simples para substituição de motores de 50CV.

		PAYBACK SIMPLES	
ANO	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CX ACUMULADO	
0	-R\$ 11.200,00	-R\$	11.200,00
1	R\$ 4.526,00	-R\$	6.674,00
2	R\$ 4.978,60	-R\$	1.695,40
3	R\$ 5.476,46	R\$	3.781,06

Fonte: Tabela do próprio autor.

Por fim se realiza a análise para o motor de 60CV responsável por enviar a água já tratada para o reservatório de distribuição. Este motor tem rendimento de 92,5%, potência elétrica de 44,16 kW e trabalha cerca de 20 horas por dia, considerando da mesma forma do exemplo dos motores passados, sendo 17 dessas horas no período fora de ponta e as 3 horas restantes na hora de ponta. O Motor de alto rendimento sugerido para a troca tem a mesma potência elétrica, rendimento de 95% e custa em média R\$ 21.000,00. Ao considerar os 20% de descontos provenientes da política de troca de motores a adesão do motor passa a custar R\$ 16.800,00. Será repetido o mesmo procedimento realizado para os exemplos anteriores.

$$C_{m60FP} = \frac{P_{m1} * T_{m1}}{\eta_{m1}} = \frac{44,16 * 17}{0,925} = 811,59 kWh \quad (20)$$

$$C_{m60HP} = \frac{P_{m1} * T_{m1}}{\eta_{m1}} = \frac{44,16 * 3}{0,925} = 143,22kWh \quad (20)$$

$$C_{AR60HP} = \frac{P_{AR} * T_{AR}}{\eta_{AR}} = \frac{44,16 * 17}{0,95} = 790,23kWh \quad (21)$$

$$C_{AR60FP} = \frac{P_{AR} * T_{AR}}{\eta_{AR}} = \frac{44,16 * 3}{0,95} = 139,45kWh \quad (21)$$

$$Vr = [(C_{m60FP} - C_{AR60FP}) * \text{Custo da Energia FP(R\$)}] + [(C_{m60HP} - C_{AR60HP}) * \text{Custo da Energia HP(R\$)}]$$

$$Vr = [(811,59 - 790,23) * 0,4] + [(143,22 - 139,45) * 1,68] = R\$ 14,87 \quad (23)$$

Obtendo assim uma economia diária de R\$ 14,87 que equivale a uma economia anual de R\$ 5430,32. A partir desses valores se utiliza a tabela de Payback simples abaixo para avaliar a viabilidade da substituição destes motores, levando em consideração o valor do motor novo que é em torno de R\$ 16.800,00. A partir dos valores obtidos na Tabela 12 observa-se que a substituição do motor de 60 CV por outro da classe de alto rendimento e de mesma potência do antigo, apresenta um retorno financeiro em menos de 3 anos do investimento, evidenciando a viabilidade da troca, mesmo não se tratando de um motor tão antigo e com tantas manutenções .

Tabela 12 – Tabela de Payback simples para substituição de motores de 60CV.

		PAYBACK SIMPLES	
ANO	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CX ACUMULADO	
0	-R\$ 16.800,00	-R\$	16.800,00
1	R\$ 5.430,32	-R\$	11.369,68
2	R\$ 5.973,35	-R\$	5.396,33
3	R\$ 6.570,69	R\$	1.174,36

Fonte: Tabela do próprio autor.

Fica comprovado então, com a ajuda das tabelas de *Payback* simples, que a substituição de motores convencionais por motores de alto rendimento promove a eficiência energética ao reduzir o consumo e promove a redução dos gastos com energia, desde que os motores não tenham baixíssimos tempos diários de funcionamento, como no caso mostrado para o motor de 15 CV desta unidade.

Outro fator que irá garantir a eficiência da unidade em questão é a dinâmica de revezamento no funcionamento dos motores já adotada pela mesma, aumentando a vida útil destas máquinas.

Um fator que garante a eficiência energética desta unidade consumidora é seu modo de acionamento dos motores, que é realizado em sua totalidade por *soft-starters*. Tanto os motores de 50 e 60 CV como os de 15 CV são acionados através dos acionadores eletrônicos de partida suave citado anteriormente, este procedimento reduz bastante a corrente de partida e quando necessário pode reduzir o conjugado da máquina, podendo assim, vir a gerar economia na energia consumida pela unidade. A Figura 32 mostra um dos painéis de controle onde os *soft-starters* estão localizados.

Figura 32 – Foto do painel de controle com *soft-starters* na unidade consumidora de Frecheirinha.



Fonte: Arquivos da Empresa CAGECE.

A Figura 32 mostra os *soft-starters* utilizados para acionar apenas um dos 3 motores de potências diferentes que entram em funcionamento diariamente, sendo que dos dois *soft-starters* apresentados acima, um é destinado ao motor que está em funcionamento e o outro destinado ao seu reserva de mesma potência.

### 6.2.3.3. Viabilidade de Implantação de Sistema Fotovoltaico como Fonte Alternativa de Energia

Tendo como base os dados obtidos através das telemedições foi verificado um consumo consideravelmente elevado desta unidade consumidora. Se faz necessário então observar a possibilidade de implantação de uma fonte alternativa de energia. Pela boa localização geográfica, por estar situada em local de temperatura ambiente elevada e com uma grande área aberta, sem pontos de sombreamento, a energia fotovoltaica se torna bastante atrativa para esta unidade. Será realizado então o a análise técnica e o cálculo de viabilidade econômica para implantação de um sistema fotovoltaico conectado a rede da distribuidora, por esse sistema apresentar os atrativos acima citados, e ainda apresentar boa vida útil e menores custos de aquisição e manutenção quando comparados a outros métodos de geração alternativa de energia como a eólica e a biomassa.

A partir dos dados de consumo foi retirada uma média de consumo mensal desta unidade entre os seis meses nos quais os dados foram disponibilizados, obtendo um consumo médio de 46,5 kWh. Em seguida através da Eq.(1) calcular a potência do sistema.

$$P_s = \frac{\text{Energia Consumida}}{\text{hr} * \text{Dias}} = \frac{46500k}{5 * 31} = 300kW \quad (1)$$

Depois de realizado tal procedimento, escolheu-se os mesmos equipamentos utilizados no estudo de caso da unidade consumidora anterior por terem apresentado de potência semelhantes e levando em conta o custo benefício que tais equipamentos apresentaram. Os painéis serão de 260 Wp fabricado pela Canadian Solar e os inversores de 20 kW fabricado pela Fronius. As especificações técnicas dos equipamentos escolhidos podem ser conferidas no estudo de caso anterior, tópico 6.1.3.3.

Ao escolher quais equipamentos utilizar para o projeto, e seguindo os cálculos já citados por ALMADA (2016), calcula-se então o número inicial de módulos por meio da Eq.(2).

$$n = \frac{P_s}{P_m} = \frac{300000}{260} = 1154 \text{ módulos} \quad (2)$$

Em seguida através da Eq.(3) e Eq.(4) são realizadas as correções de dimensionamento para temperaturas extremas que são consideradas 70°C e -10°C.

$$V_{mpp}(T) = V_{mpp} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (3)$$

$$V_{mpp}(70^\circ C) = 30,4 * [1 - 0,0031(70 - 25)] = 26,16V$$

$$V_{mpp}(-10^\circ C) = 30,4 * [1 - 0,0031(-10 - 25)] = 33,7V$$

$$V_{voc}(T) = V_{voc} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (4)$$

$$V_{voc}(-10^\circ C) = 37,5 * [1 - 0,0031(-10 - 25)] = 41,57V$$

Depois disso se realiza o cálculo do número máximo e mínimo de painéis ligados em série utilizando as Eq.(5), Eq.(6) e Eq.(7).

$$N_{\min(mpp)} = \frac{V_{mpp\_min}(inversor)}{V_{mpp}(70^\circ C)(módulo)} = \frac{420}{26,16} = 16,05 \quad (5)$$

$$N_{\max(mpp)} = \frac{V_{mpp\_max}(inversor)}{V_{mpp}(-10^\circ C)(módulo)} = \frac{800}{33,7} = 23,7 \quad (6)$$

$$N_{\max} = \frac{V_{dc\_max}(inversor)}{V_{voc}(-10^\circ C)(módulo)} = \frac{1000}{41,57} = 24,05 \quad (7)$$

Utiliza-se então um número de 21 painéis ligados em série. O passo seguinte é determinar o número de fileiras do projeto por meio da Eq.(8) e a correção do número final de módulos em série por fileiras através da Eq.(9).

$$f = \frac{n}{N_o} = \frac{1154}{21} = 55 \text{ fileiras} \quad (8)$$

$$N_f = \frac{n}{f} = \frac{1154}{55} = 21 \text{ módulos} \quad (9)$$

Em seguida realiza-se a correção do número final de módulos no projeto utilizando a Eq.(10) e o cálculo da potência corrigida do sistema fotovoltaico para o novo número de módulos por meio da Eq.(11).

$$n_f = N_f * f = 21 * 55 = 1155 \text{ módulos} \quad (10)$$

$$P_{Corrigida} = n_f * P_m = 1155 * 260 = 300,3 \text{ kW} \quad (11)$$

Em seguida calcula-se o número de inversores necessários através da Eq.(12).

$$Ni = \frac{P_{corrigida}}{P_i} = \frac{300,3}{20} = 15 \text{ inversores} \quad (12)$$

Segundo ALMADA (2016), passados estes procedimentos, utiliza-se as Eqs.(13), (14), (15), (16) e (17) para verificar se todas as 5 condições para um correto funcionamento estão sendo atendidas. Estas condições estão dispostas na Tabela 12.

Tabela 13 – Tabela das condições exigidas para o correto funcionamento do sistema fotovoltaico.

	CONDIÇÃO	CÁLCULO	RESULTADO
1	$V_{mpp}(70^{\circ}C)(painel) \geq V_{mpp\_min}(inversor)$	$21 * 26,16V \geq 420V \rightarrow 549,36V \geq 420V$	ATENDIDA
2	$V_{mpp}(-10^{\circ}C)(painel) \leq V_{mpp\_max}(inversor)$	$21 * 33,7V \leq 800V \rightarrow 707V \leq 800V$	ATENDIDA
3	$V_{Voc}(-10^{\circ}C)(painel) \leq V_{dc\_max}(inversor)$	$21 * 41,57V \leq 1000V \rightarrow 872,97V \leq 1000V$	ATENDIDA
4	$\frac{f}{ni} * I_{mpp\_max}(modulo) \leq I_{dc\_max}(inversor)$	$\frac{55}{15} * 8,5A \leq 33A \rightarrow 31,16A \leq 33A$	ATENDIDA
5	$0,7 < FDI < 1,2$	$0,7 < \frac{Ni * Pi}{nf * Pm} < 1,2 \rightarrow 0,7 < \frac{15 * 20000}{1155 * 260} < 1,2$ $\rightarrow 0,7 < FDI = 0,999 < 1,2$	ATENDIDA

Fonte: Tabela do próprio autor.

Depois de realizados os procedimentos anteriores e verificado que todas as condições exigidas foram atendidas, parte-se para a verificação da área disponível para a instalação do número de equipamentos dimensionados. As dimensões do painel sugerido para o projeto são (1,638 x 0,982 x 0,04). Os painéis devem ser enfileirados, sempre tomando um espaço de uma coluna para outra para que não haja sombreamento a partir do ângulo de inclinação dos painéis.

Os cálculos para verificar a área disponível são realizados por meio das Eqs.(26), (27), (28) e (29).

$$x = \cos 5^{\circ} * Comprimento \rightarrow x = \cos 5^{\circ} * 1,638 = 1,631m \quad (26)$$

$$z = \sin 5^{\circ} * Comprimento \rightarrow z = \sin 5^{\circ} * 1,638 = 0,142m \quad (27)$$

$$y = z * 3,5 \rightarrow y = 0,142 * 3,5 = 0,497m \quad (28)$$

$$\text{Área} = [N_f * (x + y)] * (f * Largura) \quad (26)$$

$$\text{Área} = [21 * (2,128)] * (55 * 0,982)$$

$$\text{Área} = 2414 m^2$$

Ao verificar que a área disponível para a implantação é superior à área mínima a ser utilizada, deve-se então calcular o valor a ser pago para implantação do sistema fotovoltaico, tendo em vista que o custo de aquisição dos equipamentos do sistema fotovoltaico (painéis e inversores) valem 65% do custo total de implantação desse sistema e os outros 35% são destinados aos gastos com transporte, condutores, mão de

obra entre outros. O orçamento foi feito a partir dos preços dos equipamentos escolhidos para o projeto e foi disponibilizado na Tabela 14.

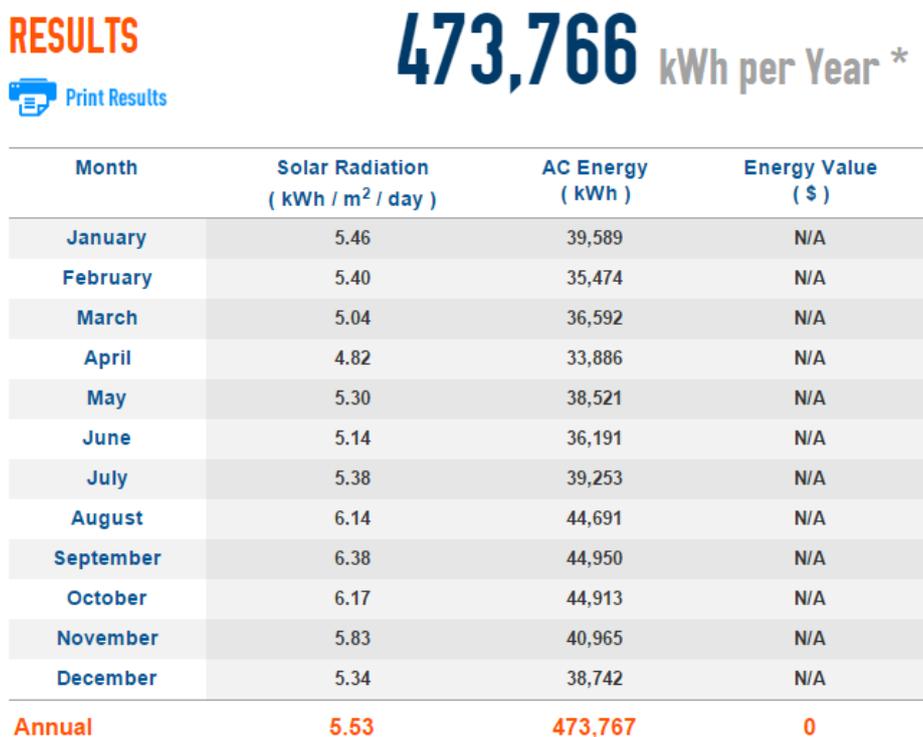
Tabela 14 – Tabela de custos para Implantação do sistema fotovoltaico na unidade de Frecheirinha.

	Preços	Quantidade	Valor	
Painel (260 W)	R\$ 959,00	1155	R\$ 1.107.645,00	
Inversor (20000 W)	R\$ 31.390,00	15	R\$ 470.850,00	
			R\$ 1.578.495,00	65%
			R\$ 2.428.453,85	TOTAL (100%)

Fonte: Tabela do próprio autor.

Depois de feito o orçamento para execução deste projeto, verifica-se o potencial de produção fotovoltaica do local do projeto para verificar a viabilidade econômica de implantação do mesmo. Para realização deste procedimento será utilizado novamente o *software PVWatts*. Ao informar a potência do sistema e algumas características do local na plataforma do *software*, foi verificado o seguinte potencial de produção.

Figura 33 - Potencial anual de produção de energia fotovoltaica para unidade consumidora de Frecheirinha.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

A Figura 33 apresenta o potencial de geração fotovoltaica ao longo do ano para o local em que se deseja implantar o sistema, onde se observa que é possível obter uma boa economia referente ao valor pago pelo consumo de energia, ao implantar um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica da concessionária. A tabela 15 apresenta a economia, onde foi coletado na mesma o valor de consumo dos seis meses nos quais foram disponibilizados pelas telemedições, e foi realizada a subtração dessa energia consumida pela energia que pode ser produzida neste local, fornecida pelo *software* utilizado, obtendo a economia em cada mês.

Tabela 15 – Tabela da Economia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês na unidade consumidora de Frecheirinha.

PERÍODO (Mês)	CONSUMO		ENERGIA PRODUZIDA		TARIFA DE CONSUMO		VALOR PAGO POR CONSUMO ANTES DA INSTALAÇÃO	VALOR PAGO POR CONSUMO APÓS INSTALAÇÃO	ECONOMIA MENSAL
	Fora de Ponta (kWh)	Hora de Ponta (kWh)	Hora de Ponta (kWh)	Fora de Ponta (kWh)	de Ponta (R\$/kW)	Fora de Ponta (R\$/kW)			
Março	49.885	5.634	0	36.592	R\$ 1,47307	R\$ 0,37203	R\$ 26.857,99	R\$ 13.244,67	R\$ 13.613,32
Abril	41.692	5.134	0	33.886	R\$ 1,68684	R\$ 0,40728	R\$ 25.640,55	R\$ 11.839,46	R\$ 13.801,09
Maio	43.301	5.329	0	38.521	R\$ 1,67289	R\$ 0,40391	R\$ 26.404,54	R\$ 10.845,52	R\$ 15.559,02
Junho	40.113	5.298	0	36.191	R\$ 1,68935	R\$ 0,40789	R\$ 25.311,87	R\$ 10.549,92	R\$ 14.761,95
Julho	46.241	5.040	0	39.253	R\$ 1,67042	R\$ 0,40332	R\$ 27.068,84	R\$ 11.237,32	R\$ 15.831,52
Agosto	47.088	6.135	0	44.691	R\$ 1,62723	R\$ 0,39289	R\$ 28.483,46	R\$ 10.924,81	R\$ 17.558,65

Fonte: Tabela do próprio autor.

Resultando em uma economia semestral de R\$ 91.125,54. Pelo fato de não ter sido disponibilizado os dados de telemedição do ano todo, a análise foi realizada para apenas os seis meses mostrados na Tabela 15, onde para se chegar à economia anual gerada pela implantação do sistema fotovoltaico, será feita uma aproximação multiplicando o valor de economia semestral de R\$ 91.125,54 por dois, obtendo então uma economia anual de aproximadamente R\$ 182.251,08.

Em seguida para que se possa concluir a análise de viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico foi realizado o estudo de retorno do investimento empregado para instalação do sistema. Para tal procedimento fora utilizado uma tabela de *Payback* referente à Tabela 16, onde o sinal negativo presente na coluna do no fluxo de caixa

indica o investimento inicial para aquisição do sistema, já calculado anteriormente. O segundo valor da coluna de fluxo de caixa da Tabela 8 indica o valor de economia anual e os valores posteriores são obtidos ao considerar um reajuste anual de 10% em cima do valor de economia do ano anterior. Já na coluna do fluxo de caixa acumulado os sinais negativos indicam que o valor do investimento feito para aquisição do sistema ainda não foi atingido pela economia gerada em cada ano, e na primeira linha em que o sinal negativo não aparece no valor do fluxo de caixa acumulado, equivale ao tempo (em anos) de retorno do investimento.

Tabela 16 – Tabela indicando o Payback do investimento fotovoltaico na unidade consumidora de Frecheirinha.

		<b>PAYBACK SIMPLES</b>	
<b>ANO</b>	<b>FLUXO DE CAIXA</b>	<b>FLUXO DE CX ACUMULADO</b>	
0	-R\$ 2.428.453,85	-R\$	2.428.453,85
1	R\$ 182.251,09	-R\$	2.246.202,76
2	R\$ 200.476,19	-R\$	2.045.726,57
3	R\$ 220.523,81	-R\$	1.825.202,76
4	R\$ 242.576,20	-R\$	1.582.626,56
5	R\$ 266.833,81	-R\$	1.315.792,75
6	R\$ 293.517,20	-R\$	1.022.275,55
7	R\$ 322.868,92	-R\$	699.406,63
8	R\$ 355.155,81	-R\$	344.250,83
9	R\$ 390.671,39	R\$	46.420,56
10	R\$ 429.738,53	R\$	476.159,09
11	R\$ 472.712,38	R\$	948.871,47

Fonte: Tabela do próprio autor.

Observa-se então a partir dos dados obtidos na Tabela 16, que para o empreendimento fotovoltaico em questão fora apresentado um *Payback* menor que 9 anos, ou seja, será reduzido o valor pago pelo consumo de energia elétrica de tal forma que em 9 anos o empreendimento “se pagará” apenas com a economia gerada. Podendo então confirmar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico com tais dimensões para esta unidade consumidora, pois a vida útil dos equipamentos fotovoltaicos escolhidos é em média 25 e 30 anos, e passado esse tempo estes equipamentos apenas reduzem a sua capacidade de produção em 20%, continuado a produzir energia.

#### 6.2.4. Considerações Adicionais da Unidade Consumidora de Frecheirinha

Ao longo do estudo realizado na unidade consumidora de Frecheirinha foi possível observar a viabilidade de implantação de alguns métodos de eficiência energética, dos métodos testados todos obtiveram uma boa prospectiva de retorno, com o intuito de evidenciar a viabilidade da implantação destes métodos nesta unidade a tabela abaixo irá apresentar o custo total de aquisição de todos os métodos estudados e o retorno simultâneo que os mesmos podem vir a gerar. Foi levado em conta o custo de aquisição do sistema fotovoltaico que é de R\$ 2.428.453,85 e o valor que deixa de ser pago pelo consumo desta unidade com esta melhoria que é de R\$ 182.251,85 por ano. Foi observado ainda a viabilidade de substituição dos motores presentes na unidade por motores de alto rendimento, onde apenas os motores de 50CV e 60CV apresentaram viabilidade de substituição. O custo para aquisição do motor de 50CV é de R\$ 11.200,00 gerando, como visto anteriormente, uma economia anual de R\$ 4.526,00. Já o motor de 60CV custa R\$ 16.800,00 gerando uma economia anual de R\$ 5.430,32. Com a aquisição do temporizador que controla o acionamento dos capacitores obtém-se uma redução anual de R\$ 7.219,60 com um custo de aquisição do mesmo de apenas R\$ 150,00. Estas melhorias somam juntas um custo de R\$ 2.456.603,85 e um valor de retorno anual de R\$ 199.427,77.

Tabela 17 - Tabela indicando o Payback da implantação dos métodos simultaneamente.

ANO	FLUXO DE CAIXA	PAYBACK SIMPLES	
		FLUXO DE CX ACUMULADO	
0	-R\$ 2.456.603,85	-R\$	2.456.603,85
1	R\$ 199.427,77	-R\$	2.257.176,08
2	R\$ 219.370,55	-R\$	2.037.805,53
3	R\$ 241.307,60	-R\$	1.796.497,93
4	R\$ 265.438,36	-R\$	1.531.059,57
5	R\$ 291.982,20	-R\$	1.239.077,37
6	R\$ 321.180,42	-R\$	917.896,95
7	R\$ 353.298,46	-R\$	564.598,49
8	R\$ 388.628,31	-R\$	175.970,19
9	R\$ 427.491,14	R\$	251.520,95
10	R\$ 470.240,25	R\$	721.761,20

Fonte: Tabela do próprio autor.

Observou-se através da análise realizada um *Payback* de menos de 9 anos, evidenciando mais uma vez a atratividade e a viabilidade de implantação destes métodos que promovem a eficiência energética.

## 7. CONCLUSÃO

Por meio da consultoria energética realizada nas unidades consumidoras foram verificados, coincidentemente, problemas bem parecidos, onde em ambos os casos ocorre um pagamento elevado pela demanda e pelo consumo de energia mensal, fato esse que é consideravelmente amenizado com a implantação de um sistema fotovoltaico capaz de suprir a necessidade de cada unidade, levando o consumo faturado a valores bem menores e tornando possível reduzir a demanda contratada da unidade consumidora. A redução do consumo faturado apresenta números consideravelmente satisfatórios nos gastos relacionados ao valor pago pela energia como apresentados nas Tabelas 6 e 15. Esta redução no consumo ficou evidenciada por meio das Tabelas 7 e 16, onde as mesmas apresentam que em menos de 9 anos poderia se pagar o valor da aquisição de ambos os sistemas fotovoltaicos apenas com o valor que deixará de ser pago pelo consumo de energia após a implantação em cada unidade.

A questão relacionada ao fator de potência foi outro fato em comum observado nas unidades, em ambas foi constatado o elevado pagamento por reativos excedentes na rede, onde no caso da unidade de Hidrolândia foi possível através do estudo de consultoria energética mensurar o quanto de reativos estava sendo ultrapassado mensalmente, além do valor pago por estes excedentes e dimensionar o banco de capacitor necessário para solucionar tal situação. A implantação do banco de capacitor para esta unidade consumidora se tornou evidente ao verificar que o valor pago pela implantação de um banco, suficiente para sanar o problema de reativos excedentes desta unidade, é menor que o valor que deixará de ser pago por reativos excedentes após a implantação dos capacitores em um ano. Já na unidade de Frecheirinha foi verificado na consultoria que a mesma já detinha de um banco de capacitor e mesmo com a adesão deste equipamento os gastos com reativos excedentes eram altos, foi observado que tanto no horário de ponta correspondente ao intervalo entre 17h e 30min e 20h e 30min, quanto no horário fora de ponta correspondente aos intervalos entre 06h e 30min e 17h e 30min e ainda entre 20h e 30 min e 23h e 30min o fator de potência apresenta um valor acima do valor mínimo recomendado de 0,92 indutivo, porém durante o período correspondente ao intervalo de 00h e 06h, um fator de potência muito abaixo do exigido de 0,92 capacitivo, constatando então que os capacitores presentes nesta unidade estavam ligados diretamente no barramento do quadro, sem serem desligados na hora

devida, que é no período referente ao intervalo entre as 00h e as 06h de cada dia. Portanto para esta unidade foi proposto a aquisição de um temporizador programado responsável por acionar e retirar da rede estes capacitores na hora devida, reduzindo completamente o valor pago por excedentes reativos.

Das análises realizadas a única vertente do estudo que foram verificados resultados diferentes foi no que se diz respeito à substituição de motores, onde apenas na unidade consumidora de Frecheirinha foi constatada a viabilidade de troca destes equipamentos, diferindo da unidade consumidora de Hidrolândia na qual já detinha de um motor de alta eficiência. Na unidade onde se verificou viabilidade desta troca os motores que funcionam por mais tempo durante o dia que são os de 50 e 60CV foram os únicos que foram propícios de substituição, onde os motores de 15CV que permanecem ligados apenas uma hora por dia não apresentaram resultados viáveis para troca. A substituição dos motores de 50CV e 60CV por motores de mesma potência pertencentes ao grupo de alto rendimento proporciona elevada redução no consumo de energia relacionado a estas máquinas. A economia do consumo de energia é evidenciada através das Tabelas 11 e 12, onde o valor que deixa de ser pago por esta energia economizada é capaz de pagar a troca destes equipamentos em menos de 3 anos.

Foi analisada a economia anual esperada para a unidade consumidora de Hidrolândia ao aderir simultaneamente à implantação do sistema fotovoltaico e a correção do fator de potência através do banco de capacitores, onde se obteve um valor anual de R\$ 198.557,02. Através deste valor foi possível verificar o tempo de retorno do investimento relacionado à aquisição dos 2 métodos de promover eficiência energética, onde se chegou a um tempo de retorno inferior a 9 anos, como mostrado na Tabela 08. Esta implantação simultânea se torna ainda mais viável por conta destes equipamentos apresentarem uma boa vida útil quando não expostos a condições extremas ou adversas.

Foi analisada ainda a economia anual esperada para a unidade consumidora de Frecheirinha os 3 métodos de eficiência energéticos abordados(implantação do sistema fotovoltaico, substituição dos motores de 50 e 60CV e utilização do temporizador programado no banco de capacitores), onde se obteve um valor anual de R\$ 199.427,77. Ao ter posse deste valor é possível verificar por meio da Tabela 17 um tempo de retorno após a aquisição dos 3 métodos capazes de promover eficiência energética de menos de 9 anos. Mostrando mais uma vez a viabilidade desta implantação simultânea de vários métodos de promoção de eficiência que podem vir a trazer maiores lucros para empresa

que os adere. Ao reduzir os gastos com energia elétrica a empresa que pretende promover a eficiência energética pode destinar aquele valor pago com energia á outros setores, como investir na expansão da empresa, na aquisição de um maior número de matéria prima, na automação de seus processos entre inúmeras vantagens proporcionadas pelo consumo eficiente de energia.

Foi possível observar ao longo do estudo realizado, que para promover eficiência energética se faz necessário realizar uma abordagem aprofundada, porém que necessita de cálculos simples para identificação das perdas e dos pontos críticos de cada unidade consumidora. Todavia esta abordagem acerca dos insumos energéticos de uma unidade consumidora não pode ser realizada uma única vez, pois as más condições de uso, expansões de equipamentos, aumentos de produção, o tempo de fabricação e outros fatores relacionados aos equipamentos que compõem a unidade, alteram o cenário energético da mesma, tornando necessário que este estudo composto pelo conjunto de análises possíveis no ramo da eficiência energética seja refeito constantemente de forma iterativa. Vale ressaltar que a consultoria energética realizada continuamente deve sempre ser acompanhada pelos estudos de atratividade econômica e de viabilidade técnica, pois esses requisitos são os responsáveis por demonstrar os resultados esperados e as vantagens na aquisição de cada método capaz de promover eficiência energética.

## 8. REFERÊNCIAS

Agência Nacional De Energia Elétrica. ANEEL. **Cadernos Temáticos ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída.** Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília - DF. 2014.

Agência Nacional De Energia Elétrica. ANEEL. **Resolução Normativa N° 414, de 9 de setembro de 2010.** Brasília – DF. 2010

ALMADA, J.B. **Fontes Alternativas de Energia. Energia Solar Fotovoltaica.** Notas de Aula. Universidade Federal do Ceará. Sobral - CE. 2016.

ALMADA, J.B., MARTINS, L.L.F., OLIVEIRA, A.I.S., PEREIRA, L.S. **Análise da Eficiência Energética a Partir da Substituição de Motores Antigos em Operação: Estudo de Caso em Uma Indústria de Borrachas.** Artigo científico publicado em *International Conference on Industry Applications - INDUSCON*. Curitiba – PR. 2016.

ALMADA, J.B., MARTINS, L.L.F., OLIVEIRA, A.I.S., PEREIRA, L.S. **Eficiência Energética por Meio da Substituição de Motores Velhos em Operação: Estudo de Caso em Uma Indústria de Máquinas de Costura.** Artigo científico publicado em Congresso Brasileiro de Automática-CBA. Vitória – ES. 2016.

ALMEIDA, M.S.V., BORTONI, E.C., CORTEZ, J.A., DIAS, M.V.X., FERREIRA, C., GAMA, P.H.R.P., GUARDIA, E.C., HADDAD, J., LORA, E.E.S., MARQUES, M.C.S., MARTINS, A.R.S., MENDES, P.P.C., NOGUEIRA, F.J.H., NOGUEIRA, L.A.H., PIRANI, M.J., SANTOS, A.H.M., SILVA, V.F., SIMÕES, A.A., TEIXEIRA, F.N., VENTURINI, O.J., VIANA, A.N.C., YAMACHITA, R.A. **Conservação de Energia de Equipamentos e Instalações.** 3ª Ed. Itajubá-MG. 2006. 593p.

AROUCA, M.C., COELHO, D.M., RIBEIRO, A.E.D. **Geração de Energia Elétrica Em Pequena Escala a Partir da Energia Solar e Eólica no Brasil: A Influência da Localização, Área e Forma.** Artigo científico publicado em *Renewable Energy, Elsevier*. Rio de Janeiro-RJ. 2015

BITTENCOURT, T.F. **Estudo Comparativo do Aproveitamento da Energia Solar Fotovoltaica em Relação À Rede de Distribuição na Eletrificação Rural do Estado de Tocantins.** Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras-MG, 2011.

BORTONI, E.C., DIAS, M.V.X., GUARDIA, E.C., HADDAD, J., NOGUEIRA, F.J.H., NOGUEIRA, L.A.H., PIRANI, M.J., SANTOS, A.H.M., VENTURINI, O.J., YAMACHITA, R.A. **Eficiência energética. Teoria e Prática.** 1ª Ed. Itajubá-MG. 2007. 222p

BORTONI, E.C., HADDAD, J., NOGUEIRA, F.J.H., NOGUEIRA, L.A.H., VENTURINI, O.J., VIANA, A.N.C., YAMACHITA, R.A. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. 1ª Ed. Campinas-SP. 2012. 314p

GUEDES, J.C.S. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. Eletrobrás e PROCEL. Rio de Janeiro – RJ. 2011

JUNIOR, N.M. **Estudo de Eficiência Energética em Uma Planta Industrial**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2011.

MARINOSKI, L. *et al.* **Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC**. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável.

X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo. 2004.

MICERINO, F.J. **Impacto da Utilização de Motores de Alto Rendimento e Sua Aplicação no Leilão de Eficiência Energética**. São Paulo – SP. 2012.

Ministério de Minas e Energia. MME. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília –DF. 2007

NOGUEIRA, L.A.H. **Auditoria Energética. Notas de Aula**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá-MG. 1990.

SANTOS, F.F. **Utilização da Energia Fotovoltaica Para a Eficiência Energética de Uma Moradia**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP. Portugal. 2011.

SHAYANI R.A. **Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais**. V Congresso Brasileiro do Planejamento Energético. Brasília-DF, 2006.

WEG. **Manual Para Correção do Fator de Potência**. Disponível em:

<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>

Acessado em 06/09/2016.

WEG. **Redimensionamento de Motores**. Disponível em:

<<http://www.weg.net/eficienciaenergetica/redimensionamento-de-motores>>

Acessado em 01/09/2016.