



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA DA BIOMASSA



AUGUSTO CÉSAR LÚCIO DE OLIVEIRA

**Análise da Qualidade da Energia Elétrica Gerada Através de Biodigestores**

Rio Largo, AL  
2015

AUGUSTO CÉSAR LÚCIO DE OLIVEIRA

**Análise da Qualidade da Energia Elétrica Gerada Através de Biodigestores**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Energia da Biomassa.

Área de concentração: Biogás

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Roberta Vilhena Lopes

Coorientador: Prof. Dr. Elton Lima Santos

Rio Largo, AL  
2015

## **Folha de Aprovação**

AUGUSTO CÉSAR LÚCIO DE OLIVEIRA

### **Análise da Qualidade da Energia Elétrica Gerada Através de Biodigestores**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Energia da Biomassa pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Roberta Vilhena Lopes, Universidade Federal de Alagoas

#### **Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra, Universidade Federal de Alagoas

---

Prof. Dr. Ricardo Araújo Ferreira Júnior, Universidade Federal de Alagoas

---

Prof. Dr. Ulysses Victor Chaves, Faculdade Politécnica de Pernambuco

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram para a sua realização, principalmente a minha esposa, família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial aos meus Pais, João Lúcio Sobrinho, Gilvanete Lúcio de Oliveira, sempre presentes em minha vida.

A minha esposa Ana Paula Alves Lúcio, por sua amizade, carinho, auxílio e constante disposição em ajudar.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Roberta Vilhena Lopes, pela orientação desde os primeiros passos na pesquisa científica, pelo incentivo, confiança, paciência e amizade.

Ao Prof. Dr. Elton Lima Santos, pelo apoio, paciência e orientação.

Ao Centro de Ciências Agrárias e o Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra, pela infraestrutura e recursos oferecidos para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas, Analice, Kessyane, Manoel e Hélio que tanto me ajudaram.

Ao meu amigo Ulysses que sempre acreditou em mim e sempre me incentivou.

Aos membros da banca.

## RESUMO

A Qualidade da energia está diretamente ligada à alteração do padrão de energia gerada, ou seja, à alteração da senoide de frequência constante (60 Hz no Brasil), que por diversos motivos se modifica. Essa alteração pode ocorrer na amplitude e na frequência, seja através de interrupções, ruídos, distúrbios, geração e presença de outras frequências diferentes da fundamental (60 Hz). Todos esses distúrbios podem acarretar no mau funcionamento dos equipamentos e aparelhos, como também influenciar no fornecimento da energia elétrica. Por isso exige-se uma averiguação na qualidade de energia, afim de que sejam evitados todos os efeitos que tragam malefício aos equipamentos e usuários. Com o aumento do uso da biomassa como fonte energética, é necessário verificar a qualidade desse potencial elétrico gerado, pois o mesmo pode trazer mais perdas do que ganhos. Caso o potencial gerado possua uma carga elevada de distúrbios, várias anomalias irão ser geradas no sistema ou em equipamentos que recebam esse potencial, ocasionando desde a interrupção de fornecimento desse potencial, passando por um mau funcionamento e uma possível quebra dos equipamentos. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivos avaliar a interferência bioquímica dos objetivos envolvidos na conversão do biogás em eletricidade. Atualmente não existe nenhuma norma que trate de padrões básicos da energia gerada por produtores individuais, que especifique quais os valores básicos das grandezas envolvidas na geração, então as medições realizadas seguiram os parâmetros de qualidade de energia utilizados foram os do PRODIST, que trata da distribuição de energia elétrica e que é uma subdivisão da ANEEL. Nas medições realizadas foram constatadas diferenças de valores que são determinados como nominais pela ANEEL, e em grandezas básicas e primordiais para a geração, tais como a tensão elétrica, frequência e fator de potência. Fatores esses que podem trazer um prejuízo em curto prazo para o produtor individual, pois as cargas ligadas ao gerador e o próprio gerador podem ser danificados durante o processo de conversão.

**Palavras chave:** *Qualidade de energia*, Geração de energia elétrica, biogás.

## ABSTRACT

The Power quality is directly linked to the change of power generated pattern, ie the amendment of the frequency sinusoid (60 Hz in Brazil), who for various reasons changes. This change may occur in amplitude and frequency, either through interruption, noise, disturbance, generation and presence of other than the fundamental frequency (60 Hz) .All of these disorders can result in malfunction of the equipment and devices, but also influence the supply of electricity. So it requires is an investigation in power quality, so that are avoided all the effects that bring harm to equipment and users. With the increased use of biomass as an energy source, it is necessary to check the quality of this electrical potential generated, because it can bring more losses than gains .If the potential has generated a high load disturbances, various anomalies will be generated in the system or equipment receiving this potential resulting from the potential supply interruption that, through a malfunction and possible breakage of equipment. Thus, this study aimed to evaluate the interference of biochemical targets involved in the conversion of biogas into electricity. Currently there is no standard that addresses basic patterns of energy generated by individual producers that specifies what the basic values of the quantities involved in the generation , then the measurements followed the used power quality parameters were the PRODIST , which deals with distribution electricity and that is a subdivision of ANEEL.The measurements were found differences in values that are determined as rated by ANEEL , and basic and primordial quantities to generate , such as voltage , frequency and power. Factor these that can bring a short-term loss for the individual producer, because the loads connected to the generator and the generator itself may be damaged during the conversion process.

**Keywords:** *Power quality, power generation, biogas.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: CARGA LINEAR E NÃO LINEAR.....	22
FIGURA 2: TRANSFORMADOR.....	26
FIGURA 3:TURBINA PELTON.....	27
FIGURA 4: MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	29
FIGURA 5: MÁQUINA A VAPOR.....	30
FIGURA 6: TURBINA A VAPOR.....	31
FIGURA 7: BIODIGESTOR INDIANO.....	40
FIGURA 8: BIODIGESTOR CHINÊS.....	41
FIGURA 9: BIODIGESTOR DE LONA.....	41
FIGURA 10: SAG.....	46
FIGURA 11: SWELL.....	47
FIGURA 12: RUÍDO.....	49
FIGURA 13: FLICKER.....	50
FIGURA 14: NOTCHING.....	51
FIGURA 15: TRANSITÓRIO.....	52
FIGURA 16: HARMÔNICAS.....	57
FIGURA 17: FILTRO DO GÁS SULFÍDRICO.....	59
FIGURA 18: MEDIDOR DE VAZÃO DO GÁS.....	60
FIGURA 19: ESQUEMA DE ALIMENTAÇÃO DO BIODIGESTOR.....	60
FIGURA 20: GERADOR UTILIZADO PARA CONVERSÃO.....	61
FIGURA 21: CONEXÃO DO BIODIGESTOR COM O GERADOR.....	62
FIGURA 22: REGISTRADOR DE ENERGIA FLUKE 1735.....	64
FIGURA 23: ESQUEMA DE LIGAÇÃO MONOFÁSICA DO REGISTRADOR.....	67
FIGURA 24: SEQUÊNCIA DE INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO.....	68
FIGURA 25: TELA DO SOFTWARE POWER LOG.....	69
FIGURA 26: GRÁFICO DO COMPORTAMENTO DA TENSÃO ELÉTRICA.....	70
FIGURA 27:GRÁFICO DO COMPORTAMENTO DA TENSÃO ELÉTRICA.....	70
FIGURA 28: RELATÓRIO DE VALORES.....	71
FIGURA 29: GRÁFICO DA OSCILAÇÃO DA FREQUÊNCIA.....	71
FIGURA 30:GRÁFICO DA OSCILAÇÃO DA FREQUÊNCIA.....	72
FIGURA 31: VARIAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	73
FIGURA 32: VARIAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	73
FIGURA 33: VARIAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	73



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ROTAS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA.....	34
TABELA 2: EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA DO BIOGÁS .....	36
TABELA 3: PANORAMA DOS DISTÚRBIOS ELÉTRICOS.....	58
TABELA 4: DADOS DO GERADOR.....	62
TABELA 5: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO ANALISADOR DE ENERGIA FLUKE 1735 .....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CECA	Centro de Ciências Agrárias
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
WEC	World Energy Council
DDP	Diferença de potencial
RMS	Root main Square
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
PRODIST	Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica
ONS	Operador nacional do Sistema Elétrico
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Energia da Biomassa e o Biogás .....	13
1.2 Motivação.....	15
1.3 Objetivos .....	17
1.3.1 Objetivo Geral .....	17
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
1. 4 Organização do Trabalho.....	18
2. EMBASAMENTO TEÓRICO .....	19
2.1 Grandezas Elétricas Envolvidas na Geração de Energia Elétrica.....	19
2.2 Geração de Energia Elétrica .....	22
2.2.5 Tipos de Máquinas Geradoras .....	26
2.3 Biogás .....	34
2.3.2 Tecnologia dos Biodigestores .....	39
2.3.3 Sistemas de Conversão do Biogás .....	42
2.4 Distúrbios da Energia Elétrica .....	42
2.4.1 Tipos de Distúrbios .....	44
3. MATERIAL E MÉTODO .....	58
3.1 Biodigestor utilizado como fonte de conversão .....	59
3.2 Características do Sistema Gerador Utilizado.....	61
3.3 Uso de Ferramentas Para Análise de Energia .....	63
3.4 Especificação do Analisador de Qualidade de Energia Elétrica.....	63
3.5 Métodos de Detecção de Distúrbios .....	65
4. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	68
5. Considerações Finais.....	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Energia da Biomassa e o Biogás

A energia comporta-se como fator indissociável ao desenvolvimento de uma civilização. Mas em quais aspectos a sustentabilidade pode ser aplicada com essa grandeza, que hoje em dia qualifica a capacidade de produção industrial e o crescimento econômico de diversos países.

O avanço no desenvolvimento de fontes alternativas de energia se deve, inicialmente, aos efeitos da excessiva utilização de combustíveis fósseis, os quais acarretam diversos problemas ambientais.

Devido à crise hídrica que o Brasil enfrenta e com os atuais níveis dos reservatórios, tendo como um dos responsáveis as estiagens, tem início uma preocupação com o abastecimento de água potável para a população, mas também com a geração de energia elétrica, já que existe uma dependência quase que exclusiva da hidroeletricidade para o fornecimento de eletricidade aos consumidores.

Nestes momentos a diversificação da matriz energética é um dos fatores que contribuem para a não dependência de uma única fonte, mas também como forma de fortalecimento de todo o processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

O Brasil possui recursos energéticos para diversificar sua matriz, a qual é baseada em combustíveis fósseis e hidroeletricidade, dentre esses recursos encontra-se a biomassa.

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. (Atlas da Energia Elétrica do Brasil, ANEEL, 2009, p.65.).

Fonte de energia renovável, a biomassa apresenta vantagens ambientais inexistentes em qualquer combustível fóssil. Como não existem óxidos de nitrogênio e enxofre, e o CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera durante a queima é absorvido na fotossíntese, apresenta balanço zero de emissões.

Por consequência, “O uso da biomassa como fonte de energia é uma forma promissora na produção de energia e na redução das emissões de dióxido de carbono na atmosfera, possibilitando a geração descentralizada de energia” (ANTONELLI, 2014, p.1.).

Apesar de ser uma fonte promissora, ainda não existe um aproveitamento de seu potencial de forma efetiva.

Ainda segundo o WEC, na geração de energia elétrica a partir da biomassa, o líder mundial foi os Estados Unidos, que em 2005 produziu 56,3 TWh (terawatts-hora), respondendo por 30,7% do total mundial. Na sequência estão Alemanha e Brasil, ambos com 13,4 TWh no ano e participação de 7,3% na produção total. (ATLAS DA ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, ANEEL, 2009, p.66.)

Segundo a ANEEL (2009, p.67), “Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa”. A vantagem da biomassa em relação às outras fontes é que existem diversas maneiras de extração de seu potencial.

O modo mais simples de se obter o potencial elétrico gerado através da biomassa é a utilização de um biodigestor, o qual, através da digestão anaeróbica<sup>1</sup>, gera o biogás<sup>2</sup>.

Para Costa *et al.* (2001) *apud* PECORA( 2006, p.17), um sistema de geração de energia a partir do biogás possui 3 (três) componentes básicos: a captação do gás, o processamento e conversão do gás e o equipamento de interconexão que entrega a eletricidade, a partir da geração, ao usuário final.

As vantagens de utilização do biogás não terminam na transformação em energia elétrica. Além da facilidade de geração de energia elétrica, a utilização permite a redução dos poluentes, como também ajuda no combate à poluição do solo e dos lençóis freáticos. (ATLAS DA ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, ANEEL, 2009).

Com todas essas perspectivas, a previsão é que nos próximos anos exista um aumento da geração de energia elétrica resultante da biomassa, seja através do

---

<sup>1</sup> É um conjunto de processos em que os micro-organismos degradam a matéria orgânica biodegradável na ausência de gás oxigênio

<sup>2</sup> O biogás é produzido a partir da mistura de dióxido de carbono e metano, ele é usado como combustível para fogões, motores e geração de energia elétrica.

biogás ou qualquer outra forma de biomassa, mas uma questão importante não está tendo atenção especial, que é a qualidade desse potencial elétrico gerado. Por isso deve-se tentar obter uma energia elétrica gerada de qualidade, a qual não produza distúrbios para a rede elétrica e para os equipamentos.

Esta dissertação visa avaliar a qualidade da energia elétrica gerada a partir do biogás, para que seja possível verificar a existência de fatores bioquímicos que possam implicar na má qualidade da energia gerada através da biomassa.

## 1.2 Motivação

Atualmente, várias residências utilizam diversos dispositivos eletrônicos como forma de melhorar o desempenho do dia a dia de profissionais, empresas e usuários, o que se torna um fator preocupante, pois ao mesmo tempo em que são formas de garantir o conforto, são causadores de problemas de qualidade da energia gerada, poluindo e modificando os padrões de fornecimento de energia elétrica estabelecida como aceitáveis. Estes mesmos problemas que decorrem do uso de equipamentos eletrônicos podem surgir no processo de geração da energia elétrica.

A Qualidade da energia está diretamente ligada à alteração do padrão de energia gerada, ou seja, à alteração da senoide<sup>3</sup> de frequência<sup>4</sup> constante (60 Hz no Brasil), que por diversos motivos se modifica. Essa alteração pode ocorrer na amplitude e na frequência, seja através de interrupções, ruídos, distúrbios, geração e presença de outras frequências diferentes da fundamental (60 Hz).

O termo “qualidade da energia elétrica” abrange uma grande variedade de nomenclaturas que passam por inúmeras áreas do sistema de energia elétrica, desde geração, transmissão e distribuição até o consumo, passando por problemas relacionados com o funcionamento de equipamentos, comunicação, telefonia, dados etc. Na essência, o termo é usado para caracterizar qualquer variação na forma de onda ou qualquer deformação da forma de onda das grandezas elétricas, quer seja em condições de regime transitório ou permanente num sistema elétrico de energia que pode causar a falha ou o mau funcionamento dos equipamentos elétricos.

---

<sup>3</sup> Forma de onda cujo gráfico é idêntico ao da função seno generalizada.

<sup>4</sup> Número de oscilações, ondas ou ciclos por segundo que ocorre na corrente elétrica.

Diversos aspectos permitem a avaliação da qualidade do fornecimento de energia elétrica, entre eles existem a continuidade do fornecimento, nível de tensão, oscilações de tensão, desequilíbrios, distorções harmônicas de tensão e interferência em sistemas de comunicações. (MEHL, 2009, p.1).

Segundo Ferreira, (2010, p.2):

Os distúrbios elétricos, causadores de baixa qualidade de energia elétrica, independente da sua causa, podem gerar perdas consideráveis aos consumidores de energia, sendo as indústrias as mais afetadas, uma vez que tais distúrbios podem causar o funcionamento incorreto ou até mesmo a queima dos equipamentos conectados à rede elétrica e, conseqüentemente, interromper um processo de produção.

Quando a energia elétrica gerada possui uma carga elevada de distúrbios, várias anomalias são geradas no sistema ou em equipamentos que recebam essa energia, ocasionando desde a interrupção do fornecimento, passando por um mau funcionamento e uma possível destruição dos equipamentos. Além desses resultados de uma energia de baixa qualidade podem existir:

- Falhas intermitentes em equipamentos de computação;
- Falhas permanentes em equipamentos de computação;
- Interferência em equipamentos de comunicação de dados;
- Mau funcionamento em controladores de processos;
- Redução na vida útil de capacitores, transformadores e demais equipamentos dos sistemas elétricos;
- Inadequação de motores elétricos em operação e na partida;
- Sobrecarga em cabos, chaves, transformadores, etc.
- Imprecisão nas medições de energia;
- Operação inadequada de geradores de emergência;
- Risco de choque elétrico fatal.

Durante o processo de geração deve-se tentar obter uma energia elétrica de qualidade, a qual não produza distúrbios para a rede elétrica e para os equipamentos.

A geração própria de energia elétrica por meio de fontes alternativas não passa por nenhum crivo técnico. É passível de verificação dos parâmetros de qualidade, mas não está diretamente sujeita às verificações, já que não é fiscalizada pelos órgãos de controle, a menos que se utilizem as redes públicas para distribuição ou transmissão (MARTINHO, 2013).

Portanto, torna-se necessário entender quais características são resultantes dessa geração, pois se for uma energia de má qualidade, é possível que a utilização dessa energia não seja viável tecnicamente. Conhecendo quais os possíveis distúrbios gerados, existem atualmente, diversas formas de minimizar esses defeitos, utilizando técnicas desde um aterramento bem executado até a utilização de filtros.

Surge assim, a necessidade de se analisar a qualidade da energia elétrica resultante do biogás, para que seja possível ter uma visão clara acerca da possibilidade de danos aos sistemas e equipamentos que utilizam essa fonte de energia limpa, pois os equipamentos atualmente estão mais sensíveis às variações nos parâmetros da rede elétrica.

Com a informação sobre a qualidade da energia elétrica gerada pela conversão biogás, a intenção é aumentar a segurança dos equipamentos que utilizam essa energia.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Analisar a qualidade do potencial elétrico gerado através do biogás e verificar se as características bioquímicas do gás influenciam no produto final da conversão.



### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Análise da qualidade da energia elétrica gerada pelo biogás;
- Avaliar o resultado da medição e indicar se existem distúrbios durante o processo de geração;
- Indicar se existe influência bioquímica no processo de conversão do biogás em eletricidade.

### **1.4 Organização do Trabalho**

Para cumprir a finalidade dessa dissertação foram organizados quatro capítulos, incluindo este capítulo introdutório, que está subdividido em introdução do tema, motivação e objetivo.

No capítulo dois, será apresentado o embasamento teórico que envolve os princípios básicos de geração de energia elétrica, uma breve revisão sobre o biogás e seus objetos de conversão, finalizando com os principais aspectos que interferem na energia elétrica.

No capítulo três, serão apresentados os métodos utilizados durante o processo de medição, desde os substratos utilizados, até as ferramentas que irão realizar a medição dos mais importantes parâmetros elétricos.

No capítulo quatro, serão apresentados os resultados obtidos nas medições e quais medidas poderão ser tomadas de acordo com os distúrbios apresentados.

## 2. EMBASAMENTO TEÓRICO

### 2.1 Grandezas Elétricas Envolvidas na Geração de Energia Elétrica

Nesta seção serão descritos os conceitos básicos das grandezas envolvidas na geração de energia elétrica, parâmetros esses que devem seguir regras fundamentais para que o processo de geração discorra de forma normal.

#### 2.1.1 - Tensão Elétrica

Tensão elétrica, também conhecida como diferença de potencial (DDP), é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos ou a diferença em energia elétrica potencial por unidade de carga elétrica entre dois pontos. A diferença de potencial é igual ao trabalho que deve ser feito, por unidade de carga contra um campo elétrico para se movimentar uma carga qualquer. Sua unidade de medida é o volt ou em joules por Coulomb e é calculada por:

$$V_a - V_b = \int_a^b E \cdot dl = \int_a^b E \cos\phi dl \quad (1)$$

#### 2.1.2 - Tensão Eficaz

Tensão eficaz representa o valor de uma tensão contínua que produz a mesma dissipação de potência que a tensão alternada. É dada por:

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

#### 2.1.3 - Corrente Elétrica

A corrente elétrica é o fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica, ou também, é o deslocamento de cargas dentro de um condutor, quando existe uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades. Tal deslocamento procura restabelecer o equilíbrio desfeito pela ação de um campo elétrico ou outros

meios (reação química, atrito, luz, etc.). Sua unidade de medida é o Ampère e é calculada por:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (3)$$

#### **2.1.4 - Potência Elétrica**

Em sistemas elétricos, a potência instantânea desenvolvida por um dispositivo de dois terminais é o produto da diferença de potencial entre os terminais e a corrente que passa através do dispositivo, ou também, pode ser definida também como o trabalho realizado pela corrente elétrica em um determinado intervalo de tempo.

A potência elétrica é dividida em três: Potência Ativa, Potência Reativa e Potência Aparente. A expressão matemática é:

$$P = I \cdot U \quad (4)$$

#### **2.1.5 - Potência Ativa**

No caso da corrente alternada (CA) sinusoidal, a média de potência elétrica desenvolvida por um dispositivo de dois terminais, resulta o produto dos valores quadrados médios (ou RMS, em inglês) ou eficazes da diferença de potencial entre os terminais e da corrente que passa através do dispositivo com o cosseno do seu ângulo de defasamento. Sua unidade de medida é em Watts(W), e é determinada por:

$$P = Ue \cdot Ie \cdot \cos\varphi \quad (5)$$

#### **2.1.6 - Potência Reativa**

A integração temporal da potência reativa resulta numa energia reativa, que representa a energia que circula de forma oscilante nas instalações, mas não é

consumida por nenhum receptor. É medida em Volt-Ampère-reactivo (VAr). É expressa por:

$$Q = I_e \cdot U_e \cdot \sin \varphi \quad (6)$$

### 2.1.7 - Potência Aparente

É com base no valor desta potência (ou das correntes respectivas) que se faz o dimensionamento dos cabos e sistemas de proteção das instalações elétricas. Na contratação de fornecimento de energia elétrica é normalmente especificada a taxa de potência que depende da potência aparente máxima a ser disponibilizada pelo fornecedor. Tem sua medição exercida em Volt-Ampère (VA) e é calculada por:

$$S = V_e \cdot I_e \quad (7)$$

### 2.1.8 - Frequência Elétrica

A frequência elétrica é uma grandeza dada em Hertz (Hz), ela corresponde ao número de oscilações, ondas ou ciclos por segundo que ocorre na corrente elétrica. Alternativamente, o tempo decorrido pode ser medido em uma oscilação. Esse tempo em particular recebe o nome de período (T). Desse modo, a frequência é o inverso do período. É dada por:

$$f = \frac{1}{T} \quad (8)$$

### 2.1.9 - Fator de Potência

Razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das potências ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado. É expressa por:

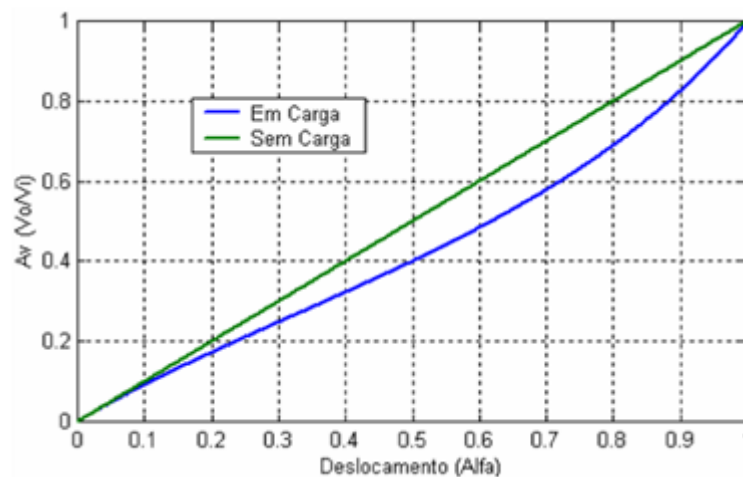
$$FP = \frac{P}{S} \quad (9) \quad \text{ou} \quad S^2 = P^2 + Q^2 \quad (10)$$

### 2.1.10 - Cargas Lineares e não lineares

A característica essencial de uma carga linear é que ela não altera seu valor ôhmico em função da tensão ou correntes aplicadas. Se a carga for resistiva pura, a frequência da tensão aplicada não afeta a corrente resultante e o valor da resistência não se altera com a variação da frequência. Resumindo, uma carga linear ao ser alimentada com tensão senoidal de frequência fixa, drena uma corrente também senoidal de mesma frequência.

Já uma carga não linear tem como característica que, se for aplicada uma tensão em seus terminais, ela drena da rede uma corrente que não é senoidal. Isto ocorre porque o valor da resistência ôhmica da carga muda ao longo da linha de carga. Nestas cargas, a lei de ohm não se aplica ao longo do tempo, mas apenas a instantes determinados ou para cada ponto individual da linha de carga. Uma carga é considerada não linear quando a corrente que ela absorve não possui a mesma forma de tensão que a alimenta. Na figura 1 é apresentado o comportamento das cargas lineares e não lineares

Figura 1: Carga Linear e não linear



Fonte: www.smar.com

## 2.2 Geração de Energia Elétrica

A energia exerce um papel fundamental em todas as atividades humanas, o que trás uma importância para o desenvolvimento de toda uma sociedade.

Neto (2012, p.15) afirma que “A energia representa um bem que pode concorrer, em combinação com outros bens e serviços, para a satisfação das necessidades do ser humano que vive em sociedade”.

Geração de energia elétrica é a conversão de outros tipos de energia em energia elétrica. Ocorre em duas etapas, sendo que na primeira, uma máquina primária transforma qualquer tipo de energia, podendo ser hidráulica, eólica ou térmica, em energia cinética de rotação. Já na segunda, um gerador elétrico acoplado à máquina primária transforma a energia cinética de rotação em energia elétrica.

As grandes usinas geradoras de energia elétrica utilizam o gerador rotativo que funciona segundo o princípio da indução eletromagnética<sup>5</sup>. As usinas são diferenciadas pela adoção da força motriz mecânica que irá ser aplicada ao gerador.

O gerador rotativo não pode gerar ou manter seu próprio movimento, logo ele precisa de outra fonte de energia mecânica que seja capaz de manter seu movimento, tais como: a energia do movimento das águas; a energia do movimento do ar; a energia do movimento do vapor d'água aquecido. Esse fornecimento é feito por meio de uma máquina motriz, que imprime ao rotor a rotação necessária para a produção da corrente e da tensão que se deseja.

Reis (2011) define que as fontes primárias usadas para geração de energia elétrica podem ser classificadas em renováveis e não renováveis, onde as renováveis tem uma reposição mais rápida do que a sua utilização energética. Já as não renováveis são passíveis de se esgotar por terem uma velocidade de utilização bem maior que sua reposição, o que pode levar milhares de anos.

A energia elétrica é produzida em estações ou usinas geradoras. A potência elétrica dessas usinas pode variar desde poucos watts até mais de um milhão de kW. As máquinas motrizes utilizadas nesses casos são, de preferência, turbinas ou máquinas a vapor ou turbinas hidráulicas. A corrente produzida é alternada.

Barros (2010) afirma que, no Brasil, a grande maioria das usinas elétricas de grande potência utiliza energia hidráulica, a qual corresponde a mais de 70% da

---

<sup>5</sup> É a produção de corrente elétrica por campos magnéticos

capacidade de geração nacional e é composta de usinas hidrelétricas que vão de grande porte até PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas).

O motivo da predominância de utilização da energia hidráulica se dá devido à existência de grandes rios, que são alimentados por chuvas tropicais e constituem uma das maiores reservas de água doce do mundo.

Além da hidroeletricidade, o Brasil tem recursos suficientes para suprir a necessidade energética com outras fontes, como a energia eólica, solar, biomassa, gás natural, carvão e óleo combustível. Devido ao avanço das tecnologias e maior adesão a fontes alternativas, os custos da geração dessas fontes estão competindo com os da geração convencional, o que as transforma numa alternativa viável.

Além da redução dos custos financeiros, há uma preocupação global em se tornar sustentável, principalmente nos processos de geração de energia. A utilização de fontes alternativas representa um grande passo para esse objetivo, pois contribui diretamente para a redução da participação de fontes não renováveis na matriz energética. Vários fatores contribuem para a expansão de novas fontes, como em períodos de estiagem combinado com o alto preço que se paga ao acionar as termelétricas para complementar a geração, incentivos para utilização de fontes alternativas, dificuldades econômicas e ambientais para a implantação de hidrelétricas de grande porte, fazem desse um momento único para a diversificação da matriz.

De acordo com a WEG (2006), o sistema de geração de energia elétrica é constituído por máquinas primárias, geradores, transformadores e sistemas de controle, comando e proteção.

### **2.2.1 - Máquina Primária**

É a responsável pela transformação de qualquer energia em energia cinética de rotação para ser utilizada pelo gerador. As principais máquinas são os motores e turbinas, que utilizam diversas formas de conversão (gás, vapor e eólicas).

### **2.2.2 - Geradores**

Conforme Cruz (2011, p.53), O gerador ou alternador é o dispositivo que produz energia elétrica a partir do movimento rotativo do rotor. O principal aspecto de um gerador é a transformação da energia mecânica em energia elétrica.

É uma máquina primária que transforma a energia cinética em energia elétrica. De acordo com o tipo de substância ou fluxo utilizado que será utilizado para acionar o gerador, um dimensionamento deverá ser realizado para um maior aproveitamento. De acordo com a velocidade de rotação, características como o número de polos do gerador são definidas.

De acordo com Guimarães (2014) geradores são regidos pela lei da indução eletromagnética, a qual relata como princípio básico de funcionamento que é baseado no movimento relativo entre uma espira e um campo magnético. Os terminais da espira são conectados a anéis e ligados a um circuito externo através de escovas, as quais mantêm a polaridade nas espiras mantendo o movimento das espiras entre o campo magnético.

### **2.2.3 - Transformadores**

Dispositivo que é capaz de alterar os valores de tensão e de corrente. Cruz (2011) define o transformador como um núcleo de material ferromagnético no qual são sobrepostos dois enrolamentos de fios esmaltados, mas isolados entre si. São regidos pelas leis do eletromagnetismo e da indução eletromagnética. É composto de três componentes básicos: Enrolamentos Primário e Secundário e o Núcleo.



Figura 2: Transformador



Fonte: [www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)

#### **2.2.4 - Geração Termoelétrica**

Pode ser descrita como a conversão de energia térmica em energia mecânica, a qual aciona geradores elétricos, e assim é realizada a transformação de calor para energia elétrica.

Reis (2011) afirma que a conversão da energia térmica em mecânica se dá por meio do uso de um fluido que em seu processo de expansão produzirá trabalho em turbinas térmicas.

É dividida em dois métodos de conversão: Combustão externa e interna. A combustão externa tem como principal característica o contato do combustível com o fluido de trabalho (em geral água). Já a combustão interna se efetua sobre uma mistura de ar e combustível.

Existem diversas formas de se obter calor, dentre elas estão: energia solar, combustíveis fósseis, nuclear, queima de resíduos e a biomassa.

Segundo Neto (2012) a geração termoelétrica apresenta diversas vantagens de utilização, dentre elas está na dispensa de grandes áreas para instalação da usina, maior mobilidade e alto grau de confiabilidade em relação à continuidade de serviço.

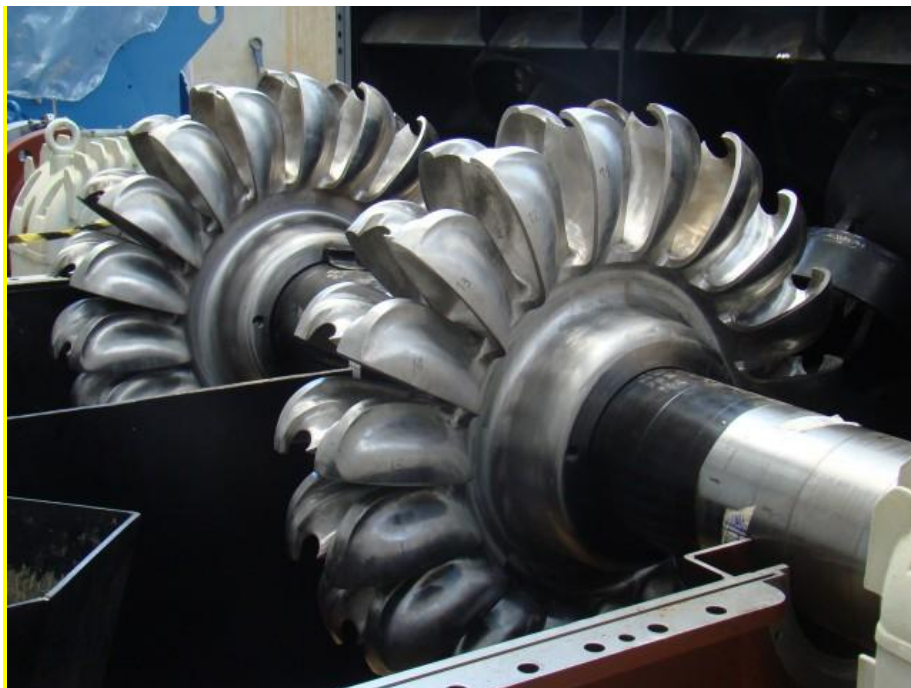
#### **2.2.5 Tipos de Máquinas Geradoras**

### 2.2.6 - Turbina Hidráulica

Turbina hidráulica é uma máquina com a finalidade de transformar a energia cinética do escoamento da água que a atravessa em trabalho mecânico. Podem ser equipadas com pás ou conchas (Turbinas Pelton). Ao serem atravessadas pelas águas que proporcionam o movimento das pás, as turbinas giram com grande força e velocidade, força essa que depende da altura da queda de água. Essa altura é proporcionada pelo acúmulo de águas dos rios em forma de barragem, ficando as turbinas localizadas nos pés das barragens, águas essas que são desviadas de seu curso natural e que após passarem pelas turbinas seguem o curso normal do rio.

A turbina hidráulica utiliza a energia cinética de rotação de seu rotor para girar o gerador ao qual está conectado. Um dispositivo elétrico chamado transformador converte a tensão de saída do gerador em tensões aproveitáveis pelas concessionárias. (WEG, 2006 p.20).

Figura 3: Turbina Pelton



Fonte: [www.hisa.com.br/produtos/turbinapelton](http://www.hisa.com.br/produtos/turbinapelton)

### 2.2.7 - Motores de Combustão Interna

Os motores de combustão interna são conhecidos também como motores alternativos e utilizados em veículos automotores.

Segundo Oast (2010), motores de combustão interna são vantajosos na utilização de baixa potência, até aproximadamente 2225 kW (300hp), devido ao baixo peso e custo são geralmente utilizados em automóveis. Os motores com ignição por compressão são mais usados onde grandes potências são necessárias e economia de combustível – como, por exemplo, em caminhões e ônibus.

O funcionamento dos motores de combustão interna se constitui da seguinte maneira: uma mistura explosiva, constituída por partes bem proporcionadas de ar e gasolina vaporizada, é introduzida num cilindro, semelhante ao de uma máquina a vapor. A mistura do ar com a gasolina vaporizada faz-se através do carburador. Essa mistura, depois de introduzida no cilindro, é inflamada por uma faísca, produzida pela vela.

A vela, que fica na cabeça do cilindro, possui dois eletrodos que são ligados a uma bobina especial, capaz de produzir tensões muito elevadas, gerando uma descarga entre os eletrodos. Essa faísca deve ser produzida em um determinado instante e é o distribuidor que regula o momento da ignição.

Os cilindros são abertos em uma das extremidades e possuem, na outra, duas válvulas: uma de admissão da mistura gasosa e a outra de escapamento dos gases queimados. O funcionamento desses motores realiza-se geralmente em 4 tempos.

É classificado em dois tipos: ciclo Otto e motores de ciclo Diesel. Pecora (2006) afirma que, a diferença entre eles é basicamente como a combustão ocorre. Os motores de ciclo Otto aspiram a mistura de ar e combustível antes de ser comprimida nos cilindros. Os motores de ciclo Diesel aspiram o ar e o comprimem nos cilindros antes de receber o combustível.

Figura 4: Motor de Combustão Interna



Fonte: [www.mundoeducacao.com.br/motor-combustao-interna](http://www.mundoeducacao.com.br/motor-combustao-interna)

### **2.2.8 - Motor Diesel**

Motor Diesel é uma máquina que transforma energia térmica em energia mecânica, e tem o mesmo funcionamento dos motores de combustão interna.

Os motores a Diesel diferem dos motores de combustão interna, essencialmente pelo fato de que a combustão da mistura inflamável se dá por compressão e não por meio da faísca. Além disso, “motores de combustão interna de ignição por compressão caracterizam-se pela realização da combustão à pressão constante” (FIGUEREIDO et al, 2013, p.146).

Nesse tipo de motor, não há velas e nem carburador, e a mistura é introduzida no interior do cilindro por meio de uma bomba especial, chamada injetor ou bomba injetora.

### **2.2.9 - Máquinas a vapor**

As máquinas a vapor foram as pioneiras a produzirem energia mecânica em processos industriais, tendo um papel fundamental para o acontecimento da revolução industrial. Após a descoberta da eletricidade tiveram um papel muito maior, o de geração de energia elétrica, visto que já existia o domínio da tecnologia.

Hugues (2003) explica que as plantas que trabalham com máquinas a vapor prezam pela geração de energia elétrica ou mecânica, podendo também ter a geração das duas em conjunto com o vapor. Existem duas formas de trabalho, circuito aberto ou circuito fechado, sendo o de circuito aberto mais utilizado quando se necessita de calor para os processos.

Nas máquinas a vapor, utiliza-se a força elástica do vapor d'água superaquecido, que é capaz de impelir um pistão móvel dentro do cilindro. O movimento do pistão é transmitido, por meio de um sistema de alavancas, a uma roda, ou volante, ligada direta ou indiretamente ao eixo de gerador.

Toda máquina a vapor pode ser dividida em três partes: a caldeira, onde se aquece a água para produção de vapor; o cilindro, onde se acha o pistão sobre o qual o vapor atua; e o sistema de transmissão de movimento rotativo.

Figura 5: Máquina a vapor



Fonte: [www.wikimedia.org/wiki/File:MaquinaVapor](http://www.wikimedia.org/wiki/File:MaquinaVapor)

### 2.2.10 - Turbinas a vapor

Sendo uma máquina de combustão externa, os gases que restam da queima do combustível não se misturam com o fluido que escoar no interior da máquina, resultando assim na conversão em potência no eixo. Devido a essa característica, “Apresentam uma flexibilidade em relação ao combustível a ser utilizado, podendo



usar inclusive aqueles que produzem resíduos sólidos (cinzas) durante a queima” (COSTA, 2006, p.60).

Turbinas a vapor são constituídas por um eixo motor, sobre o qual são fixadas rodas de vários diâmetros, contendo um grande número de aletas. O vapor que vem da caldeira atua sucessivamente sobre as aletas das várias rodas da turbina. As rodas da turbina são fechadas em compartimentos estanques, de maneira que o vapor atinge em primeiro lugar a roda de menor diâmetro, passando sucessivamente a outras de diâmetro cada vez maior. Depois de passar por todas as rodas, o vapor é lançado num condensador térmico, onde é transformado em água e novamente levado à caldeira.

As turbinas a vapor tem um rendimento muito maior que as máquinas a vapor. Sua velocidade de rotação, em geral, é muito elevada, sendo comumente utilizada em 3600 RPM.

Figura 6: Turbina a vapor



Fonte: [www.energy.siemens.com/bprtenergias-convencionaisturbinas-a-vapor](http://www.energy.siemens.com/bprtenergias-convencionaisturbinas-a-vapor)

### 2.2.11 - Turbina a Gás

As turbinas a gás são máquinas que, em geral, pertencem ao grupo de máquinas térmicas geradoras e cuja gama de funcionamento vai de baixa potência (30 KW para microturbinas) até 500 MW. Assim, pode competir com motores alternativos (ciclos termodinâmicos Otto e Diesel) e planta vapor com pequena e média potência.

Conforme Araújo (2014), suas principais vantagens são o baixo peso e volume em relação ao seu poder e flexibilidade de operação. Isso os torna máquinas cuja utilização para certas aplicações, especialmente aqueles relacionados à geração de eletricidade.

Em comparação com turbinas a vapor, turbinas a gás têm poucos requisitos de refrigeração, o que facilita muito a instalação. Além disso, sua baixa inércia térmica permite que eles cheguem a sua plena carga, as tornando ideais para certas aplicações, onde as variações de carga são necessárias.

Esta simplicidade em comparação com turbinas a vapor e motores alternativos dão a turbinas a gás duas vantagens adicionais: manutenção fácil em comparação com outros motores de calor e alta confiabilidade. Com efeito, a redução das necessidades de lubrificação e de refrigeração, a continuidade do processo de combustão e a ausência de movimentos alternativos, fazem com que a probabilidade de falha diminua.

Um sistema de geração de energia com base em uma turbina a gás pode facilmente atingir valores de mais de 95 % de disponibilidade e confiabilidade valores próximos a 99% se a instalação é bem desenhada, bem construído, bem operado e com um nível adequado de manutenção.

No entanto, eles também têm algumas desvantagens importantes, dentre as quais é importante destacar duas: a velocidade de rotação elevada e baixo rendimento (30-35%) em comparação com motores diesel alternativo (atualmente com 50 % de rendimento) ou com turbinas a vapor (40 %).

Normalmente, entende-se como turbina de gás o grupo formado pelos seguintes elementos:

- Compressor, responsável pelo aumento na pressão do fluido de trabalho;
- Sistema de entrada de calor para o fluido;
- Elemento expensor, ou turbina.

Um motor de combustão da turbina a gás é um motor de combustão interna rotativo, a partir da energia do combustível ocorre a conversão em energia mecânica e uma quantidade significativa de calor é gerada sob a forma de gases quentes, com uma elevada porcentagem de oxigênio.

A máquina é um ciclo aberto, uma vez que o fluido que passa através dele é continuamente renovado. De acordo com Costa (2006), o ar é aspirado da atmosfera e em seguida, comprimido e encaminhado para a câmara de combustão, onde se mistura com o combustível e a ignição ocorre. O gás quente, os produtos de combustão fluem através da turbina. As perdas de energia são libertadas como calor que tem de ser evacuado do sistema. Essas perdas não ultrapassam mais do que 3% da energia fornecida.

A tabela 1, fundamentada em Hugues (2003), demonstra algumas opções de tecnologias de conversão de biomassa em eletricidade.



Tabela 1: Rotas de Conversão da Biomassa

Conversão Primária	Conversão Intermediária	Conversão Final	Capacidade Elétrica	Eficiência	Nível de Desenvolvimento Tecnológico
Combustão	Geração de Vapor	Motor a Vapor	200 kW- 2 MW	10-12%	Comercial
	-	Turbina a Vapor	> 2 MW	15-40%	Comercial
	-	Motor Stirling	0,5 kW-100 kW	14-20%	Demonstração
	-	Turbina para gases quentes de exaustão	> 400 kW	25-30%	Demonstração, quase Comercial.
Gaseificação	-	Ciclo Combinado	>10MW	40-55%	Demonstração, quase Comercial.
	-	Motor de Combustão Interna	100 kW- 2MW	27-31%	Demonstração, quase Comercial.
	-	Microturbinas	5 kW-100 kW	15-25%	Conceitual
	Extração H <sub>2</sub>	Células de Combustível	20 kW-2MW	25-40%	Conceitual
Combustão + Gaseificação	-	“Co-firing”	>20 MW	-	Conceitual

Fonte: Hugues(2003)

### 2.3 Biogás

Devido à necessidade de uma renovação nas fontes de energia, o biogás, que antes era tratado apenas como um efeito indesejável dos resíduos urbanos e de animais tornou-se uma alternativa para a produção de combustível e energia. A utilização do biogás como combustível, ou conversão em eletricidade resolve alguns problemas como resíduos agrícolas, resíduos sólidos e também como tratamento de esgotos domésticos.

Anteriormente o biogás era utilizado apenas em países em desenvolvimento e que não tinham facilidade em distribuir energia a sua população. Barreira (2011) relata que a china, um dos países predecessores, com mais de um bilhão de habitantes e que se defronta com o desafio permanente de produzir alimentos em ampla escala, e a Índia, o outro país que mostrou interesse em utilizar o biogás, extremamente pobre e faminta, carente não só de alimentos, mas também de

energia, souberam tirar vantagem desse recurso natural, e ainda desenvolveram e aperfeiçoaram os modelos de biodigestor mais empregados no mundo.

A geração de biogás traz benefícios ambientais, tais como a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa. Além desses benefícios acarreta em diversas vantagens, tais como a produção de biofertilizante; melhoria das condições de higiene para os animais e pessoas; preservação da flora e fauna nativas (OAST, 2010).

O biogás é uma mistura de metano, gás carbônico e de outros gases em menor quantidade. Segundo Costa (2006, p.36), “esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa”.

De acordo com a nota técnica emitida pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2008, p.22):

O gás metano, principal componente do biogás, é 21 vezes mais potente que o dióxido de carbono em termos de efeito estufa. Assim, sua simples queima representa um benefício ambiental perante sua emissão. Em adição, o aproveitamento energético também evita a emissão decorrente da queima de combustível fóssil que poderia ser utilizado para ofertar a mesma quantidade de energia que o biogás.

O metano, principal componente do biogás que tem uma taxa em geral de 65%, é incolor, indolor e insípido. Mas os outros gases possuem cheiro desagradável de ovo podre, como o percentual desses outros gases é pequeno, o odor é muito discreto e quase sempre passa despercebido, principalmente após a queima, quando o cheiro desaparece totalmente.

Segundo Figueiredo (2011, p.20).

É composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Estes percentuais são variáveis e dependentes do tipo do resíduo, do tratamento e, de acordo com a eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80 % de metano.

A geração de metano por bactérias, denominada metanogênese, é o último estágio de degradação da matéria orgânica, quando micro-organismos devolvem os produtos dessa decomposição ao meio ambiente (Costa, 2006, p.37).

O metano é o responsável pelo alto poder calorífico que o biogás possui que pode variar entre 5000 e 7000 kcal por m<sup>3</sup>. Essa quantia pode variar de acordo com a pureza do metano. De acordo com Barreira (2011, P.10) o biogás altamente purificado pode alcançar até 12.000 kcal por metro cúbico.

A tabela 2, fundamentada em Pecora(2006), faz referência à equivalência energética do biogás com diversas fontes energéticas. O valor traz referência a 1(um) m<sup>3</sup> de biogás.

Tabela 2: Equivalência Energética do Biogás

<b>Fonte Energética</b>	<b>Quantidade</b>
Gás de cozinha	0,40 kg
Gás Natural	0,600 m <sup>3</sup>
Gasolina	0,61 a 0,70 litros
Óleo diesel	0,55 litro
Etanol	0,80 litro
Carvão Vegetal	0,74 kg
Querosene	0,58 litro
Energia Elétrica	1,25 s 1,43 kWh
Lenha	1,60 a 3,50 kg

Fonte: Pecora(2006)

Existem diversas aplicações para o biogás, dentre elas o uso para aquecimento de água e de animais em granjas, permitir o funcionamento de motores e geradores elétricos, entre outras utilidades. Pode também substituir o gás de cozinha e o acionamento de equipamentos com tempo determinado de funcionamento, para isso se faz necessário à conversão por meio de um gerador e um regulador de voltagem.

Costa (2006) garante que existem diversas formas de utilização de biogás, e dependendo da aplicação, exige ou não uma purificação contra gás sulfídrico,

dióxido de carbono e umidade, características que influenciam entre outros aspectos em seu poder calorífico.

Por ser extremamente inflamável, oferece mais de uma condição para aproveitamento energético. Podendo ser utilizado na queima direta para produção de calor ou utilizado em um sistema de conversão em eletricidade.

O biogás é uma fonte de energia produzida por biodigestores a partir da decomposição do lixo. O lixo orgânico é colocado em um biodigestor, que faz a sua decomposição e o transforma em combustível (gás metano).

O princípio de geração de energia elétrica, a partir do biogás, se dá, na maioria das vezes, acoplando-se um motor de combustão interna ou uma turbina a gás ao gerador elétrico.

### **2.3.1 - Biodigestão**

Um dos processos mais antigos de decomposição da matéria orgânica e conversão em energia é chamado de digestão ou biodigestão, existem dois tipos de digestão: aeróbica e anaeróbica.

As bactérias que realizam a digestão aeróbica conseguem sobreviver apenas na presença de oxigênio e neste processo existe uma liberação de calor, além da formação de CO<sub>2</sub> e água (H<sub>2</sub>O).

A digestão anaeróbica ocorre na ausência de oxigênio de diversas formas, tais como: águas paradas, ETE's e aterramentos sanitários. O produto desse processo é o biogás, que dentre vários gases, os que possuem um percentual maior é o metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Digestão anaeróbica (DA) pode ser definida como a conversão de material orgânico em dióxido de carbono, metano e lodo através de bactérias, em um gás pobre em oxigênio. (EPE, 2008, p.25).

Apesar da variedade de locais onde a biodigestão pode ocorrer, o processo não é tão simples. Granato (2003, p.19) relata que a degradação anaeróbica da matéria orgânica é quimicamente um processo bastante complicado, envolvendo muitos compostos e reações, produzidas por enzimas e catalisadores específicos.

Quando as bactérias realizam a degradação das moléculas que compõem a matéria orgânica, essa degradação é realizada após a quebra das ligações entre as unidades básicas, função essa realizada pelas enzimas que as bactérias liberam, a

qual transformam em açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. Após esse processo, a decomposição é dividida em três principais fases: acidogênica, metanogênica e acetogênese.

Granato (2003, p.20) define a fase acidogênica da seguinte maneira:

“Na fase acidogênica, os compostos gerados na etapa anterior, uma vez encorpados no interior da célula, são convertidos (pelas bactérias formadoras de ácidos) em ácidos voláteis, álcoois, dióxido de carbono, hidrogênio molecular e amônia”.

No mesmo documento, Granato conceitua a segunda fase assim:

“Na fase metanogênica, compostos simples como o dióxido de carbono, hidrogênio molecular, ácido acético e metanol, gerados na etapa anterior, são metabolizados pelas bactérias metanogênicas, havendo desassimilação de metano e dióxido de carbono” (GRANATO, 2003, p.20).

Por sua vez, Pecora (2006, p.22), trata da terceira fase dessa forma:

“Na terceira fase (acetogênese), As bactérias acetogênicas desempenham um papel entre a acidogênese e a metanogênese. Bactérias acetogênicas, produtoras de hidrogênio são capazes de converter ácidos graxos com mais de 2 carbonos a ácidos acéticos, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> que são os substratos para as bactérias metanogênicas”.

Na última fase, os compostos gerados na primeira fase são consumidos por bactérias anaeróbias, dando origem assim ao metano e ao gás carbônico (PECORA, 2006).

Um biodigestor em operação não pode sofrer alterações bruscas de temperatura ou de mudanças na matéria orgânica, o que acarretaria em uma diminuição de produção do biogás, juntamente com um aumento de acidez, efeito esse que pode comprometer totalmente todo o processo.

Outro fator importante que pode comprometer a qualidade do biogás é o pH. Costa (2006, p.40) apresentou que, “Em meio ácido, a atividade enzimática das

bactérias é anulada. Num meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio”.

### 2.3.2 Tecnologia dos Biodigestores

O equipamento responsável pela transformação do biogás é chamado de biodigestor. Basicamente trata-se de uma câmara fechada onde a biomassa é fermentada anaerobicamente, e o biogás resultante é canalizado para uso diverso.

De acordo com Granato (2003, p.28).

“Os digestores consistem basicamente numa câmara de fermentação, onde é processada a biodigestão da matéria orgânica, numa campânula que armazena o gás produzido ou, simplesmente, numa saída para esse gás, numa entrada do substrato a ser fermentado e numa saída para o efluente produzido pelo processo. É uma tecnologia simples, cuja principal preocupação é a manutenção das propriedades fermentativas da biomassa bacteriana”.

O processo que realiza a produção do biogás é chamado de fermentação<sup>6</sup>. Este processo ocorre diariamente na natureza pelas bactérias, que decompõem diversas substâncias das plantas. Estas bactérias são divididas em dois tipos: aeróbias e anaeróbias.

As bactérias aeróbias necessitam de oxigênio do ar para realizar trabalho, as anaeróbias que só conseguem executar sua função na ausência de oxigênio e que vivem nos intestinos dos animais, são as responsáveis pela fermentação dos excrementos na qual é gerado o metano após todo o processo. O biodigestor funciona a partir do trabalho das bactérias anaeróbias.

Além da geração do biogás, o biodigestor realiza a limpeza dos resíduos que não são aproveitados, nesse processo é gerado o biofertilizante<sup>7</sup>, o qual é tratado como uma solução para uma maior produtividade e recuperação do solo desgastado.

De acordo com Barreira (2011), a aplicação dos efluentes dos biodigestores como biofertilizantes mostram que os biofertilizantes além de serem um adubo orgânico, são condicionadores do solo, melhoram as propriedades físico-químicas e biológicas do solo.

---

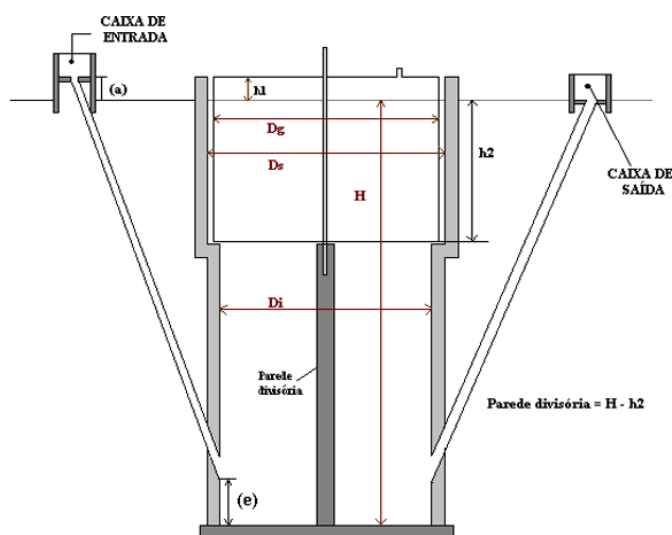
6 Transformação enzimaticamente controlada de um composto orgânico

7 É o resíduo líquido da fermentação anaeróbia de esterco e vegetais em biodigestor, um fertilizante vivo, pleno de micro-organismos.

Existem diversos modelos de biodigestores. O modelo escolhido dependerá do local, disponibilidade e tipo de matéria orgânica. Dentre os mais utilizados no mundo são o Indiano, o chinês e o de lona.

O modelo indiano é construído em alvenaria ou pedras e enterrado no solo. O material a ser digerido é misturado com água, em proporções que dependem do tipo de matéria orgânica. O material se movimenta verticalmente em duas câmaras de fermentação. Barreira (2011) informa que à medida que o biogás é produzido, uma campânula, que pelo seu próprio peso funciona como gasômetro, movimenta-se verticalmente armazenando o gás, o que permite um controle da pressão de saída pela adição ou remoção de pesos a essa estrutura móvel. A figura 7 detalha os aspectos construtivos do biodigestor indiano.

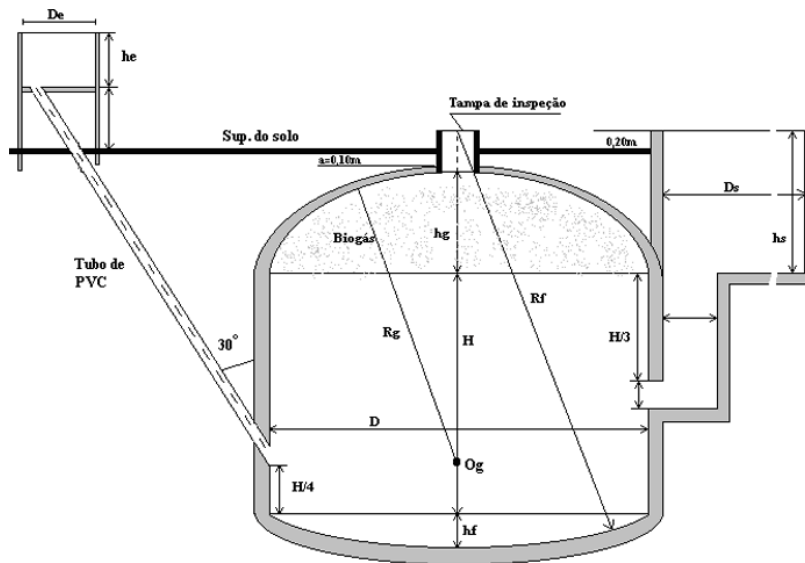
Figura 7: Biodigestor Indiano



Fonte: [www.proceedings.scielo.br](http://www.proceedings.scielo.br)

O modelo chinês possui apenas uma câmara de fermentação e não necessita de um gasômetro, mas devido à ausência do mesmo, o controle da pressão torna-se limitado. A Construção da cobertura do biodigestor requer uma mão de obra bem qualificada. Barreira (2011) detalha que como característica desse modelo exige que se esgote o gás com mais frequência, a fim de evitar o desperdício de gás. O processo de limpeza nesse tipo de reator é mais trabalhoso. A figura 8 detalha os aspectos construtivos do biodigestor chinês.

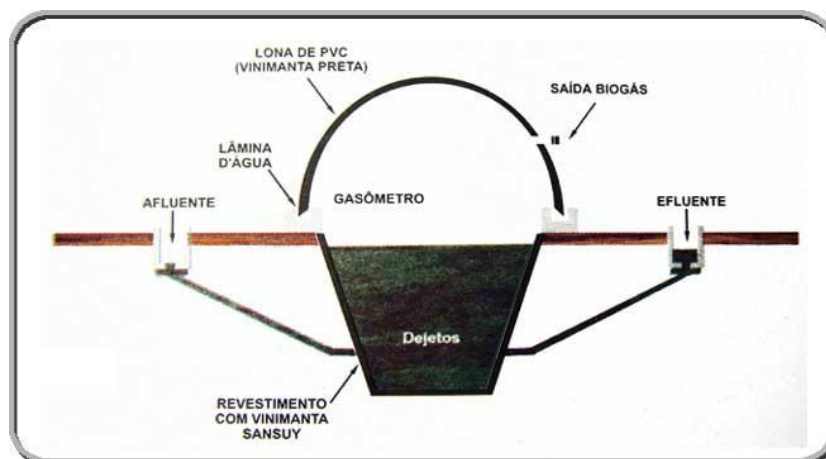
Figura 8: Biodigestor Chinês



Fonte: [www.proceedings.scielo.br](http://www.proceedings.scielo.br)

O modelo canadense possui uma maior produção de biogás devido à área de exposição ao sol ser muito maior. É um modelo do tipo horizontal, que tem a largura maior que a profundidade. A cúpula é de plástico, do tipo PVC, que infla com a produção de gás. É muito utilizada em propriedades com uma maior disponibilidade de matéria orgânica, como a suinocultura (NETO, 2012). Na figura 9, é possível ver como é constituído um biodigestor de lona.

Figura 9: Biodigestor de Lona



Fonte: [www.proceedings.scielo.br](http://www.proceedings.scielo.br)



Os biodigestores são classificados em relação ao processo e alimentação, no quais são conhecidos como Batelada e Contínuo. No tipo batelada, o material orgânico é introduzido de uma só vez. Durante o processo, o biodigestor deverá ser mantido hermeticamente fechado e, após um tempo, a produção de gás inicia e segue até consumir todo o material. Após o material ter sido fermentado, o biodigestor deverá ser descarregado para que possa ser carregado novamente.

Já no processo contínuo, cada carga diária corresponde a uma carga de volume semelhante ao material fermentado. A biomassa no interior do biodigestor se movimenta por diferencial de carga hidráulica, entre a entrada do substrato e a saída do biofertilizante. Uma desvantagem desse modelo é a necessidade de trituração dos resíduos vegetais e diluição da matéria prima, a fim de evitar entupimentos e formação de crostas.

### **2.3.3 Sistemas de Conversão do Biogás**

Para a geração de energia elétrica a partir do biogás, existem basicamente dois tipos de tecnologias disponíveis comercialmente: turbinas a gás e grupos geradores de combustão interna (Ciclo Otto). (COSTA, 2006, P. 56)

Ciclo Otto é um ciclo termodinâmico, que idealiza o funcionamento de motores de combustão interna de ignição por centelha (Figueiredo et al, 2013, p.146).

No caso do biogás, a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica (COELHO et al, 2006, p.3).

## **2.4 Distúrbios da Energia Elétrica**

O desenvolvimento tecnológico trouxe muitos benefícios aos consumidores em geral, sejam residenciais, comerciais e industriais de energia elétrica, ao possibilitarem a utilização de equipamentos que trazem um conforto maior para o dia a dia.

Esses mesmos equipamentos que proporcionam conforto e aumento de produtividade, impõem distúrbios à rede elétrica. (BARROS, 2010, p.31)

A preocupação com a qualidade de energia elétrica pelos mais diversos agentes e segmentos envolvidos cresce diariamente, desde a geração, transmissão, distribuição e finalmente ao consumo final.

Esses equipamentos possuem uma sensibilidade, a qual gera fenômenos associados à QEE e que além de preocupar os consumidores, levam receio também às concessionárias e distribuidoras de energia.

Oleskovicz (2006) afirma que a QEE constitui na atualidade um fator crucial para a competitividade de praticamente todos os setores industriais e de serviços.

De acordo com a IEEE, a definição de QEE é fornecer e estabelecer a alimentação de um equipamento elétrico sensível de forma adequada ao seu funcionamento.

No geral, QEE é interpretado como a qualidade de serviço que é efetuado pelas concessionárias, onde três aspectos são importantes: confiabilidade, qualidade da energia oferecida e provisão de informação. Ferreira (2010, p.1) define que “O aparecimento de deformidades nas formas de onda da tensão e corrente caracteriza a falta de qualidade da energia elétrica”.

A qualidade da energia elétrica depende de uma série de fatores que partem da geração, transmissão, distribuição e a forma de utilização do próprio consumidor.

O módulo 8 do Procedimento de Distribuição (PRODIST) da ANEEL determina os seguintes parâmetros de qualidade do produto:

- Tensão em regime permanente;
- Fator de Potência;
- Harmônicos;
- Desequilíbrio de Tensão;
- Flutuação de Tensão;
- Variação de Tensão de Curta Duração;
- Variação de Frequência

Antigamente pouco se falava sobre QEE, pois os equipamentos utilizados anteriormente não eram afetados por esses distúrbios. Com a evolução da microeletrônica, onde diversos componentes eletrônicos constituem a maioria dos equipamentos eletroeletrônicos, foram observados que esses itens são totalmente sensíveis a essas perturbações, o que além de poder trazer inoperância ao equipamento, pode danificá-lo por completo.

Dentre as causas mais comuns encontra-se: o aumento de cargas não lineares, como computadores, aparelhos eletroeletrônicos e demais, a utilização de equipamentos construídos com componentes eletrônicos mais sensíveis à qualidade de alimentação elétrica, e crucialmente a necessidade de redução de prejuízos provenientes de paradas de produção e danos a equipamentos.

Conforme afirma Lopez (2013) fontes alternativas de energia podem causar vários distúrbios, entre eles: distorção e instabilidade na tensão, causadas por picos de correntes e a falta de sincronismo na carga.

#### **2.4.1 Tipos de Distúrbios**

Nesta seção, os principais distúrbios elétricos serão definidos. Informações como o que eles produzem de efeitos negativos, as causas geradoras e as soluções a serem aplicadas serão detalhadas.

#### **2.4.2 - Variação de Tensão**

Modificação do valor de tensão previamente definido como padrão, conhecido também como tensão nominal. Essa variação pode ocorrer para mais ou menos de seu valor original. A ONS (2009, p.18) a define como “um evento aleatório de tensão caracterizado por desvio significativo, por curto intervalo de tempo, do valor eficaz da tensão”.

Um aspecto importante a ser observado e que acompanha a variação de tensão é a duração em que essa variação ocorre. Basicamente existem dois tipos de variação de tensão: variação de tensão de curta duração e variação de tensão de longa duração. A distinção de tempo entre as duas é que qualquer interrupção de

fornecimento entre 10 segundos até 1 minuto é considerado de curta duração, e acima de 1 minuto é considerado de longa duração.

Segundo Martinho (2012) a variação de tensão é normalmente expressa pelo valor de porcentagem ou pu<sup>8</sup> do valor nominal e definida como variação de tensão dentro de determinados limites, acima disso o distúrbio causado muda de nome e passa a ter outras características.

A adoção de valores mínimos de tensão é definida para que o usuário tenha uma garantia de fornecimento, pois os equipamentos (principalmente os eletrônicos) necessitam de um valor determinado de tensão para que possa funcionar. Caso o valor seja abaixo o aparelho não funciona, e se for acima o equipamento será danificado.

Os valores de variação permitidos de tensão aplicados às concessionárias giram em torno de 95 e 105% do valor nominal. Com esses valores de variação, os fabricantes de equipamentos podem realizar ajustes que façam com que essa variação não prejudique seus produtos.

Os valores mínimos e máximos de tensão são regulados e fiscalizados pela ANEEL através de sua resolução de nº 505. (citação ANEEL).

As causas da variação de tensão são diversas. Dentre as mais comuns estão o chaveamento de cargas de potência elevada, que quando são ligadas necessitam uma quantidade de energia grande da rede, o que acarreta em uma queda de tensão, e quando são desligadas devolvem essa energia para a rede de uma vez só, acarretando em uma elevação da tensão por um determinado tempo. Outro motivo é o acionamento de banco de capacitores, que ao serem acionados exigem uma corrente maior da rede para serem completamente energizados, o que ocasiona uma redução de tensão significativa.

Os efeitos desse distúrbio são vários, dentre as quais são destacadas:

---

8 O sistema “por unidade” ou, mais brevemente sistema pu, consiste na definição de valores de base para as grandezas (tensão, corrente, potência etc.), seguida da substituição dos valores variáveis e constantes (expressas no Sistema Internacional de Unidades) pelas suas relações com os valores de base predefinidos.

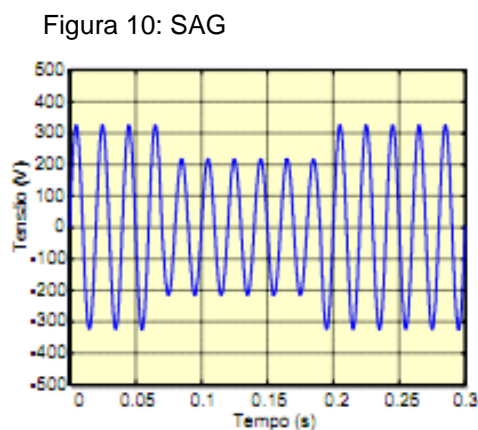
- Desligamento de lâmpadas de descarga;
- Desligamento de dispositivos de proteção;
- Redução de potência nos motores;
- Abertura das bobinas de contadores e relés;
- Perda da programação em CLPs em processos industriais;
- Variação de velocidade de motores.

### 2.4.3 - Variação de Curta Duração

Segundo Ferreira (2010, p.12) “As variações de tensão de curta duração são caracterizadas pela elevação (SWELL), ou redução (SAG) da amplitude da tensão no sistema durante um curto intervalo de tempo”.

### 2.4.4 - Afundamento de Tensão (SAG)

É uma redução do valor eficaz por um período de curta duração, seguido do retorno do fornecimento. De acordo com a ANEEL, é um “evento em que o valor eficaz da tensão do sistema se reduz, momentaneamente, para valores abaixo de 90% da tensão nominal de operação, durante intervalo inferior a 3 segundos”.



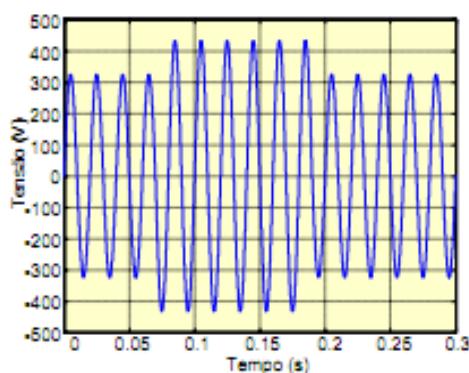
Fonte: [www.osetorelétrico.com](http://www.osetorelétrico.com)

#### 2.4.5 - Elevação de Tensão (SWELL)

É um distúrbio caracterizado pelo aumento da tensão de alimentação acima de seu valor nominal

Segundo a ONS (2009), Elevação momentânea de tensão (EMT) é um evento em que o valor eficaz da tensão é superior a 10% da tensão nominal, durante um intervalo de tempo com duração superior ou igual a um ciclo (16,67 ms) e inferior ou igual a 3(três) segundos.

Figura 11: SWELL



Fonte: [www.asetoreletrico.com](http://www.asetoreletrico.com)

#### 2.4.6 - Variação de Longa Duração

A outra forma de variação de tensão é a de longa duração, que também pode ser SAG ou SWELL, a diferença é na duração que ocorrem que é superior a 1 minuto.

Existem outros termos para diferenciar da variação de curta duração, sendo sobretensão, quando o valor pode varia entre 10 a 20 % da tensão nominal e, subtensão que normalmente atinge valores inferiores a 90 % da tensão nominal.

As causas dessas variações basicamente são as mesmas da variação de curta duração, assim como, tais como: falha em transformadores; distância; fator de potência e etc.

Conforme orienta Martinho (2012), Problemas na geração, proveniente de geração própria ou cogeração, também fazem parte dos causadores das variações de tensão, assim como falhas em dispositivos de segurança, entre outras situações. Este mesmo autor explica que, "Controle da tensão em sistemas de energia

alternativa também deve ser avaliada, pois pode ser a causa do distúrbio” (MARTINHO, 2012, p.53).

As soluções para minimizar os efeitos de variação de tensão, tanto os de curta como os de longa duração, vão desde o uso de condicionadores de energia, separação dos circuitos causadores do problema e eliminação de cargas geradoras.

#### **2.4.7 - Ruído**

É considerado um dos distúrbios mais difíceis de tratar, pois sua origem advém de diversas fontes. Além de afetar substancialmente os equipamentos, a solução necessita de um aprofundamento maior em relação a outros distúrbios. Sarmanho (2005, p.60) a define como “Basicamente o ruído consiste de distorções do sinal da rede elétrica que não podem ser classificados como distorções harmônicas ou transitórios”.

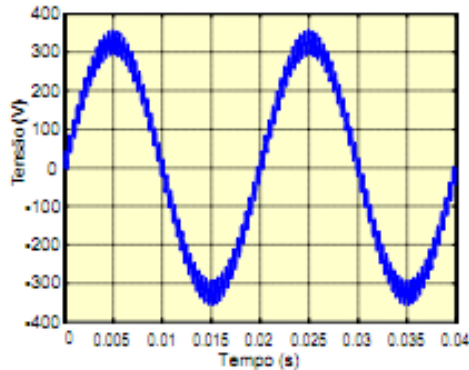
Em sua definição mais simples, é considerado como um sinal elétrico com frequência menor que 200 kHz, que se sobrepõe aos sinais de potência, corrente ou tensão elétrica, que tem sua circulação por condutores de uma instalação elétrica, o que traz problemas a rede.

Dentre as causas de geração desses ruídos estão a de natureza interna, que ocorre quando o ruído está incorporado ao sinal transmitido; ou por alguma influência externa, como a proximidade de um equipamento eletromagnético ao sistema, que não esteja blindado, indução de um motor, até mesmo um aterramento que não tenha sido bem executado pode influenciar na geração de ruídos.

Segundo Lopez (2013) o ruído é dividido em duas categorias: ruído de modo comum, o qual ocorre entre neutro e terra; e ruído de modo normal, que ocorre entre fases.

Como solução, é indicado o uso de filtros específicos para ruído. A descoberta do ponto onde se inicia o ruído seguido da separação física da fonte geradora da parte prejudicada e um aterramento bem executado, fornecendo uma equalização de potenciais.

Figura 12: Ruído



Fonte: [www.osetoreletrico.com](http://www.osetoreletrico.com)

#### 2.4.8 - Cintilação ou flicker

Flutuações de tensão entre 0,5 e 25 Hz, que resulta em variações do fluxo luminoso nas lâmpadas, fato esse que pode ser confirmado visualmente e que acarreta fadiga aos usuários no ambiente iluminado. É um fenômeno de cintilação luminosa e que ocasiona em pequenas e repetitivas quedas de tensão que são causadas por cargas elevadas que solicitam altas correntes por breves períodos.

Lopez (2013, p.115) define a cintilação como, “a existência de pequenas e repetitivas quedas de tensão que são causadas por cargas elevadas que solicitam altas correntes por breves e repetidos períodos”.

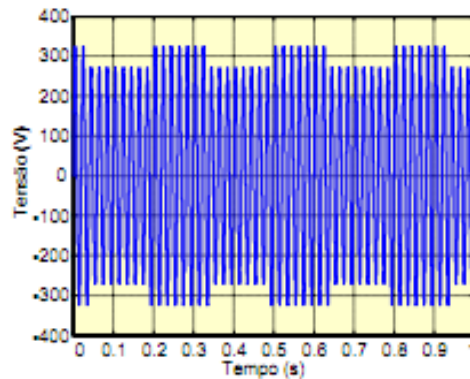
Essa cintilação é resultado das flutuações rápidas de pequena amplitude de tensão de alimentação, que são geradas por chaveamento de cargas de elevada potência, manobra de banco de capacitores, operação de máquinas de solda fornos a arco, dentre outros.

Além de trazer prejuízos à saúde dos usuários, o flicker pode causar uma preocupação maior quando cargas pesadas são manobradas ou quando a impedância do circuito é alta.

Como solução está à separação de alimentação de cargas pesadas, realizando assim o fornecimento por um transformador individual; divisão das cargas e a redução da impedância da fonte.



Figura 13: Flicker



Fonte: [www.asetoreletrico.com](http://www.asetoreletrico.com)

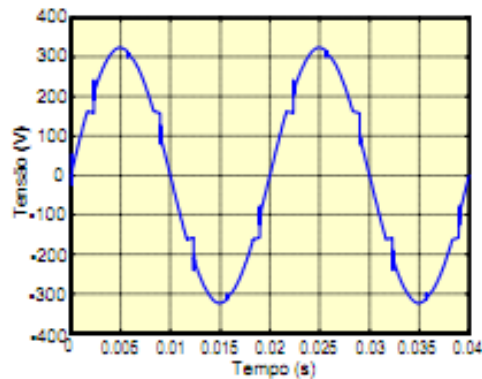
#### 2.4.9 - Notching

É considerado um distúrbio periódico de tensão, ocasionado pela má operação de alguns equipamentos, quando a corrente elétrica é comutada entre as fases. É conhecido também como microvariações que ocorrem durante uma senoide, pois no momento de transição entre as fases, ocorre um curto-circuito, que leva a tensão elétrica ao menor valor permitido (próximo de zero). Lopez (2013) afirma que as principais fontes causadoras são as cargas não lineares, onde as correntes não variam linearmente em relação à tensão aplicada.

Entre as suas causas, interfere diretamente em altas frequências, o que pode afetar equipamentos sensíveis, acarretando em paradas, travamento de dispositivos de armazenamento e etc. Como sua frequência é muito alta, são necessários equipamentos especiais.

Para solucionar essa anomalia, a forma mais simples é a separação da carga geradora do efeito das cargas afetadas, além da substituição dos equipamentos que causam esse efeito.

Figura 14: Notching



Fonte: [www.asetoreletrico.com](http://www.asetoreletrico.com)

#### 2.4.10 - Transitório

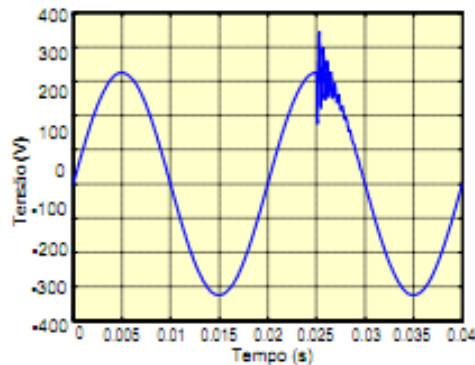
É caracterizado por um distúrbio de curta duração que ocorre na forma da onda. Martinho (2012, p.65) o define como “a manifestação ou resposta elétrica local ou nas adjacências que se origina em alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica”.

Ocorrem de forma rápida, contudo, como os equipamentos conectados à rede são submetidos a grandes esforços de tensão e/ou corrente, o tratamento desse distúrbio se faz necessário, com o intuito de evitar problemas. É dividido em dois tipos: impulsivo e oscilatório.

Dentre as causas estão às descargas atmosféricas, manobras das concessionárias e o acionamento de grandes cargas e bancos de capacitores.

Podem acarretar em travamentos gerando uma perda de memória e erros de processamento, além da queima de placas eletrônicas e a danificação de matérias de isolamento e de equipamentos.

Figura 15: Transitório



Fonte: [www.osestoreletrico.com](http://www.osestoreletrico.com)

#### 2.4.11 - Surto de Tensão ou Spike

É o aumento drástico e instantâneo da tensão da rede elétrica, tendo como principal causa as descargas atmosféricas. Manobras de cargas de chaveamento na rede entre os circuitos de transmissão e distribuição também podem ser considerados como um surto de tensão.

Lopez (2013) o define como ruídos constituídos por pulsos repetitivos de amplo espectro de frequências que ocorrem na rede elétrica continuamente. Podem acarretar entre outros problemas travamento de equipamentos como computadores e chiados e interferência em equipamentos de áudio e vídeo.

A forma de proteção contra essa perturbação é a utilização de dispositivos específicos contra esses surtos, sendo o mais utilizado o DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos), além de uma equipotencialização bem realizada.

É dividido em duas formas: Surto induzido ou indireto, que podem ocorrer quando alguma descarga atinge alguma linha de transmissão ou distribuição de energia, ou por meio da indução da ocorrência de descarga em elementos próximos à rede.

A outra forma é o surto conduzido ou direto, que acontece quando a descarga incide diretamente na instalação e circuitos, ou em locais muito próximos. A diferença de potencial entre o eletrodo de aterramento e eletrodos de serviços públicos, tais como o da concessionária de energia, também pode ser considerada uma forma de surto direto.

#### **2.4.12 - Variação de Frequência**

Acontece nos sistemas de geração de energia elétrica e em seus controladores de velocidade, uma vez que a frequência do sistema de potência está associada à velocidade de rotação dos geradores. Segundo Martinho (2012, p.70) "o grande desafio está nos sistemas isolados, ou de geração própria, que a regulamentação não pode fiscalizar". O maior problema é que esses sistemas individuais consigam uma velocidade constante, atendendo assim os valores de frequência solicitados pelos equipamentos.

Lopez (2013) afirma que essa variação de velocidade pode ser causada pela saída de um bloco de carga, saída de operação de uma grande fonte de geração ou por falta em sistemas de transmissão em AT.

Um sistema de controle de frequência deve ser utilizado, com a função de corrigir a velocidade, para assim manter a frequência nominal, permitindo uma variação máxima para mais e para menos de 0,5 Hz.

De acordo com a ONS (2009), a monitoração da frequência do sistema é fundamental para a determinação da qualidade da operação da rede básica, avaliar as condições de estabilidade do sistema elétrico e prevenir a abertura das interligações entre subsistemas.

#### **2.4.13 - Desequilíbrio de tensão**

Corresponde à anomalia decorrente da assimetria de cargas ligadas ao sistema, provocando diferentes quedas de tensão entre cada fase.

Tem sua ocorrência em sistemas trifásicos, mas podem ocorrer em sistemas monofásicos em que exista uma má distribuição das correntes nos circuitos elétricos.

Entre as origens do desequilíbrio estão as conexões frouxas e maus contatos, motores mal reparados e até mesmo por correções inadequadas de fator de potência (Martinho, 2012).

Segundo Ferreira (2010, p.14) Um sistema elétrico trifásico 'ideal' deve satisfazer às seguintes condições de operação em regime permanente:

- Tensões e correntes alternadas, com formas senoidais;
- Amplitudes constantes, nos valores nominais;
- Frequência constante, no valor síncrono;
- Tensões trifásicas equilibradas;
- Fator de potência unitário nas cargas;
- Perdas nulas na transmissão e distribuição.

Um dos problemas causados por essa anomalia é o aquecimento em um motor, o que além de provocar desperdício de energia e reduzir a vida útil do motor, pode chegar a acarretar um ponto de ignição de um incêndio. Esse distúrbio também gera danos aos condutores da instalação elétrica, o que acarreta em um esforço dos condutores, os quais são submetidos a tensões e temperatura diferentes que implica diretamente na vida útil desses componentes, interferindo até nos dispositivos de proteção que estão interligados nesses condutores.

#### **2.4.14 - Baixo Fator de Potência**

Conforme Barros (2014, p.72) “Fator de potência é um número adimensional que representa a quantidade de potência que gera trabalho (potência ativa) em comparação com a potência total (potência aparente)”.

Existem diversas consequências para o baixo fator de potência, dentre elas:

- Surgimento de queda de tensão acentuada em razão do aumento da corrente elétrica;
- Necessidade de maiores investimentos na instalação elétrica, devido à necessidade de condutores com seções transversais maiores;
- Aumento da conta de energia, resultado do pagamento de multas por baixo fator de potência.

Dentre os fatores que ocasionam o baixo fator de potência está o de motores e transformadores operando em vazio (sem carga alguma ligada à sua saída) ou operando com pequenas cargas, o motivo se dá devido à absorção de energia reativa que estes equipamentos fazem do sistema, a qual é necessária para a

magnetização de seus núcleos, diferentemente da energia ativa, que absorve potencial ativa proporcionalmente com a carga aplicada no eixo do motor.

Outros motivos são a grande quantidade de lâmpadas de descarga, devido ao uso de reatores e cargas com elevado consumo de potência reativa.

Com o intuito de instruir e normatizar um valor mínimo de fator de potência o DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) publicou a Portaria nº 1.569, de 23/12/1993 fixando o fator de potência em 0.92.

Dessa forma, para que o limite estabelecido seja cumprido, é possível realizar uma compensação reativa para adequação do fator de potência, mais conhecida como correção de fator de potência.

A correção de fator de potência se mostra vantajosa não apenas por reduções nas faturas de energia em clientes de AT e indústrias e corrente reativa na instalação elétrica, mas proporciona uma também um aumento na vida útil da instalação e seus componentes elétricos, além é claro de aumentar a eficiência energética da empresa.

Martinho (2012) indica que a inserção de banco de capacitores para correção do fator de potência fará com que a energia seja restabelecida e reduzirá as perdas e qualquer situação inerente ao baixo fator de potência.

O manual de correção de fator de potência da WEG (2009) detalha várias formas de correção, mas todas passam pela instalação de uma célula capacitiva, que podem ser instaladas diretamente nas cargas que apresentem um valor abaixo do estabelecido pela norma, ou instalada no quadro de alimentação geral da instalação. Para tal é necessário um levantamento de dados sobre as cargas envolvidas, além de um estudo detalhado do comportamento e parâmetros envolvidos das cargas.

#### **2.4.15 - Harmônicas**

Martinho (2012) as define como uma distorção de uma forma de onda senoidal, isto é, uma senoide com frequência fundamental de 60Hz, se for distorcida, pode conter componentes harmônicas. Os sinais harmônicos, como são conhecidos, tem sua classificação numeradas em ordem, frequência e sequência.

Devido ao avanço da eletrônica, em meados de 1950, as cargas que em sua maioria eram lineares, cargas de características não lineares foram introduzidas nas

instalações. Essas cargas apresentam na saída uma corrente que sua forma de onda é bastante distorcida se comparada a senoide ideal.

Segundo Mehl (2009, p.4) “Os interharmônicos (harmônicos não múltiplos de 60 Hz) costumam originar-se em cargas com formas de corrente não periódicas em 60 Hz (por exemplo, cicloconversores e fornos a arco)”.

Os harmônicos de sequência positiva, em sua maioria, provocam aquecimentos indesejados em condutores, motores, transformadores e demais equipamentos. Esse aquecimento reduz a vida útil dos componentes devido ao acréscimo da temperatura e danificação dos materiais responsáveis pela isolação.

Já os harmônicos de sequência negativa provocam um efeito de inversão do sentido de rotação de motores, o que acarreta também em um aquecimento inconveniente.

Os harmônicos de sequência zero ou sequência nula, não provocam efeitos no sentido de rotação, mas podem criar uma corrente de terceira ordem no condutor neutro<sup>9</sup>, o que resultaria em aquecimentos excessivos desse condutor.

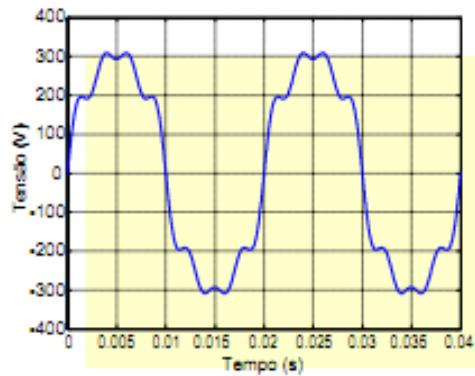
Os distúrbios provocados pela presença de harmônicos são diversos, os principais são:

- Sobrecarga e aquecimento excessivo em motores;
- Sobrecarga, envelhecimento e queima de capacitores e fusíveis;
- Falha ou operação indesejada de disjuntores;
- Sobrecarga em condutores;
- Deficiência no funcionamento de dispositivos de controle.

---

<sup>9</sup> Condutor neutro, num circuito elétrico é um elemento que apresenta, em regime permanente, tanto corrente elétrica como diferença de potencial elétrico nulo por definição de projeto.

Figura 16: Harmônicas



Fonte: [www.asetoreletrico.com](http://www.asetoreletrico.com)

Lopez (2013) afirma que as soluções para as harmônicas passam desde a utilização de filtros ativos e passivos de harmônicas para controlar a frequência específica causada por elas, utilização de transformadores projetados para tolerar os efeitos provocados pelas harmônicas, aplicar fontes de alimentação com controle interno de harmônicas e a correção de fator de potência.

A tabela 3, baseada em Lopez (2013) resume os principais distúrbios, suas causas efeitos e soluções.



Tabela 3: Panorama dos Distúrbios Elétricos

Distúrbio	Descrição	Causas	Efeitos	Soluções
Interrupções	Interrupção total da alimentação elétrica	Curto- Circuito, descargas atmosféricas e manobras provenientes de acidentes.	Queda do sistema. Danificação de Componentes. Perda de Produção	UPS Geradores de Emergência (Interrupções de Longas Durações)
Transientes	Distúrbio na curva senoidal, resultando em rápido e agudo aumento de tensão.	Descargas atmosféricas. Manobras das concessionárias e bancos de capacitores	Travamento e perda de memória. Queima de placas eletrônicas, danificação de materiais isolantes.	Supressores de transientes e transformadores de isolamento
SAG/SWELL	Subtensões (SAGS) ou sobretensões (SWELL)	Queda/partida de grandes equipamentos. Falha em equipamentos em manobras da concessionária	Perda de dados e erros de processamento. Diminuição da vida útil de motores decorrentes de oscilações	Reguladores de tensão
Ruídos	Sinal indesejado de alta frequência que altera o padrão da onda senoidal	Interferência em estações de rádio e TV. Operação de equipamentos eletrônicos.	Travamento, perda de dados e erros de processamento. Recepções de áudio e vídeo distorcidas	Filtros de linha e transformadores de isolamento
Harmônicos	Alteração do padrão normal da onda senoidal, causada por frequências múltiplas.	UPS, reatores eletrônicos, inversores de frequência e outras cargas não lineares.	Sobreaquecimento de cabos e equipamentos. Falsa operação de dispositivos de proteção. Diminuição do desempenho dos motores	Filtros de harmônicas. Reatores de linha. Transformadores de isolamento e melhorias na fiação e aterramento

Fonte: Lopez (2013)

### 3. MATERIAL E MÉTODO

Para que seja possível a detecção de distúrbios elétricos, a medição e o monitoramento do sistema são importantes para uma avaliação da qualidade da energia elétrica de qualquer sistema elétrico, seja predial, comercial ou industrial.

Até o momento não existe norma no Brasil estabelecendo critérios e métodos para a realização de medições de qualidade da energia elétrica nos sistemas de distribuição (MAGALHÃES, 2010, p.53).

O submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema (ONS) trata do gerenciamento dos indicadores relacionados aos fenômenos de flutuação, desequilíbrio e distorção harmônica de tensão da Rede Básica.

Por não existirem até o momento procedimentos de medição para os sistemas de distribuição que indique a melhor forma de como uma mensuração deve ser realizada, a medição foi realizada em um único dia com a produção de biogás que estava sendo armazenado há 1 dia. A medição teve início às 12h00min do dia 05 de dezembro de 2015 e término às 12h55min.

Foram realizadas três etapas de medição. A primeira e a última medição tiveram uma duração de 5 minutos e a segunda foi com 30 minutos. Para obter uma média dos resultados, a primeira e última etapa foram descartadas, tendo como dados observados a segunda medição.

Neste capítulo serão descritas as características do biodigestor, o substrato utilizado, características do gerador, especificações do aparelho que irá realizar a medição, os procedimentos e as metodologias aplicadas durante as medições.

### **3.1 Biodigestor utilizado como fonte de conversão**

O biodigestor utilizado encontra-se instalado no setor de suinocultura do CECA. A alimentação é do tipo batelada, e é abastecido pelos dejetos dos animais criados no setor, destes, encontram-se caprinos, equinos e suínos. No biodigestor foi instalado um filtro para retirada do gás sulfídrico e um medidor para acompanhar a produção de gás, conforme as figuras 17 e 18.

Figura 17: Filtro do Gás Sulfídrico



Fonte: Autor

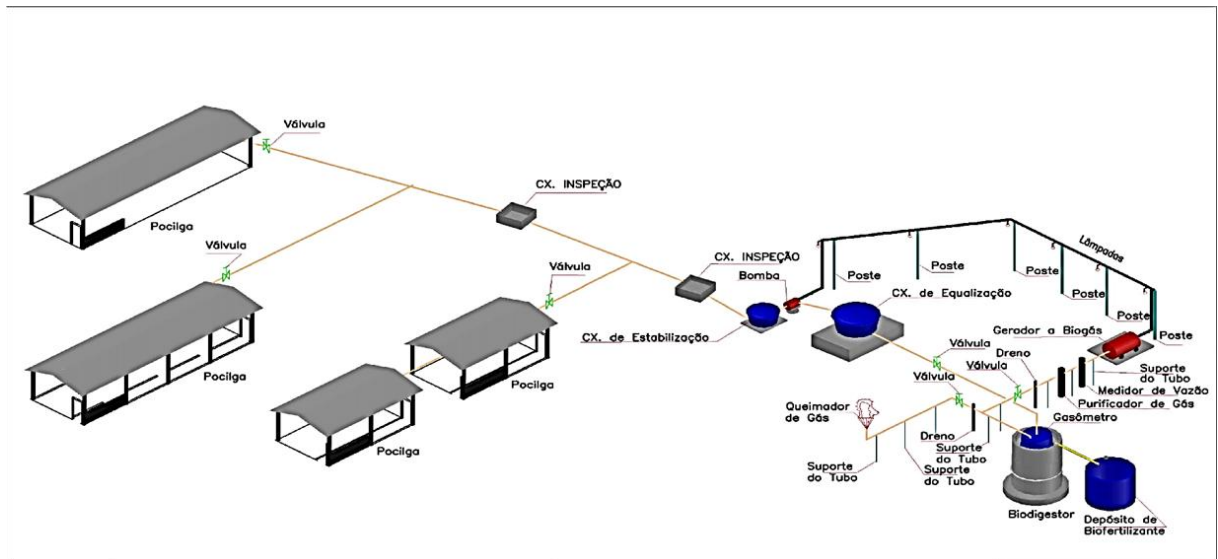
Figura 18: Medidor de Vazão do Gás



Fonte: Autor

Na figura 19 segue um esquema da alimentação do biodigestor.

Figura 19: Esquema de Alimentação do Biodigestor



Fonte: Autor

### 3.2 Características do Sistema Gerador Utilizado

O gerador utilizado para a conversão do biogás é da marca BRANCO, modelo B 4T-5000 LE. O gerador consome 2m<sup>3</sup> de biogás por hora de trabalho, tem um sistema de filtro integrado que permite a conexão do gerador diretamente no gasômetro do biodigestor e sistema de partida manual e elétrica, esse sistema permite selecionar qual fonte combustível utilizar pelo gerador podendo ser gasolina ou biogás. Foi realizada uma adaptação na saída de 220 V, a qual foi interligada a um módulo de extensão de tomadas para facilitar a utilização do potencial elétrico gerado. Na figura 20 o gerador utilizado é demonstrado.

Figura 20: Gerador Utilizado para Conversão



Fonte: Autor

A tabela 4 apresenta os dados técnicos do gerador em questão.

Tabela 4: Dados do Gerador

<b>Potência Máxima</b>	4,0 kW
<b>Potência Nominal</b>	3,6 kW
<b>Corrente</b>	8,3 A
<b>Frequência</b>	60 HZ
<b>Rotação</b>	3600 rpm
<b>Tensão de Saída</b>	110/220

Fonte: Manual do Gerador

Para a realização de testes de geração do biodigestor e medições realizadas no período noturno, o gerador é conectado a quatro lâmpadas para a utilização da energia elétrica que é resultado do biogás proveniente do biodigestor. Na figura 21 é possível visualizar a conexão do gerador com as lâmpadas.

Figura 21: Conexão do Biodigestor com o Gerador



Fonte: Autor

### **3.3 Uso de Ferramentas Para Análise de Energia**

Em uma medição da qualidade de Energia é possível à visualização de como um sistema suporta a operação e ao fornecimento da alimentação de cargas. Um distúrbio de energia ou evento pode envolver tensão, corrente ou frequência. Distúrbios de energia podem originar consumo de sistemas de energia e de cargas.

O equipamento utilizado tem a função de captar, armazenar e possibilitar uma análise, ciclo a ciclo, das grandezas da energia elétrica. Além de Oscilografar as formas de ondas elétricas

O principal diferencial de um analisador de energia é sua capacidade de analisar os parâmetros de energia elétrica, ou seja, medir a qualidade do abastecimento, intensidade e também eventuais falhas que possam colocar em risco o fornecimento no local. O dispositivo também permite captar os eventos de tensão e gerar relatórios precisos sobre a situação, assim como registrar e armazenar dados por longos períodos.

Outro ponto diferencial para medir a qualidade de energia elétrica com um analisador é a capacidade de monitorar as necessidades da rede que abastece o local e, com isso, apontar eventuais medidas para ajustar falhas. Com a medição também é possível medir a distorção harmônica provocada por cargas eletrônicas, captar elevações e quedas de tensão e configurar os equipamentos de acordo com formas de onda e tendências.

### **3.4 Especificação do Analisador de Qualidade de Energia Elétrica**

O equipamento utilizado para as medições da qualidade da energia elétrica proveniente do biogás é o registrador de energia da Fluke 1735. O registrador de energia é um medidor de potência que realiza análises de energia e registros de qualidade de energia básicos. Na figura 22 é possível visualizar o equipamento.



Figura 22: Registrador de Energia Fluke 1735



Fonte: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

Um analisador de qualidade de energia mede a maioria dos parâmetros e harmônicos de energia elétrica e capta eventos de tensão. O registrador de energia conduz tensão, corrente, potência e realiza estudos para determinar as cargas. O equipamento utilizado além de um registrador é também uma ferramenta de qualidade de energia de uso geral que revela a qualidade de um fornecimento de tensão em qualquer ponto de uma rede de distribuição. A tabela 5, baseada no manual do fabricante, representa as principais características do registrador.

Tabela 5: Principais Características do Analisador de Energia Fluke 1735

<b>Medição de potência (P - Ativa, S - Aparente, Q - Reativa, D - De distorção)</b>	<b>Erro intrínseco:</b>	$\pm (0,7\% \text{ do valor medido} + 15 \text{ dígitos})$
	<b>Resolução:</b>	1 kW
	<b>Erro de funcionamento:</b>	$\pm (1,5\% \text{ do valor medido} + 20 \text{ dígitos})$ A gama típica com gama de tensão de 230 V com ligação em estrela e gama de corrente de 150 A é de 34,50 KW.
	<b>Erro intrínseco:</b>	$\pm (0,7\% \text{ do valor medido} + 15 \text{ dígitos})$
	<b>Resolução:</b>	1 W a 10 W
	<b>Erro de funcionamento:</b>	$\pm (1,5\% \text{ do valor medido} + 20 \text{ dígitos})$ Os erros dos sensores de corrente não foram tidos em conta.
<b>Medição de energia (kWh, KVAh, kVARh)</b>	<b>Erro intrínseco:</b>	$\pm (0,7\% \text{ do valor medido} + \text{erro de variação } F^* + 15 \text{ dígitos})$
	<b>Resolução:</b>	1 W a 10 W
	<b>Erro de funcionamento:</b>	$\pm (1,5\% \text{ do valor medido} + \text{erro de variação } F^* + 20 \text{ dígitos})$ *Erro de variação de frequência
<b>PF (Fator de potência)</b>	<b>Gama:</b>	0,000 a 1,000
	<b>Resolução:</b>	0,001
	<b>Precisão:</b>	$\pm 1\% \text{ da escala total}$
<b>Medição de frequência</b>	<b>Gama de medição:</b>	46 Hz a 54 Hz e 56 Hz a 64 Hz
	<b>Erro intrínseco:</b>	$\pm (0,2\% \text{ do valor medido} + 5 \text{ dígitos})$
	<b>Erro de funcionamento:</b>	$\pm (0,5\% \text{ do valor medido} + 10 \text{ dígitos})$
	<b>Resolução:</b>	0,01 Hz
<b>Harmônicos</b>	<b>Gama de medição:</b>	Até ao 50º harmônico (< 50% do valor nominal)
	<b>Eventos</b>	Deteção de descidas, subidas e interrupções de tensão com uma resolução de 10 ms e erro de medição do rms da onda sinusoidal de meio ciclo.
	<b>Erro intrínseco:</b>	$\pm (1\% \text{ do valor medido} + 10 \text{ dígitos})$
	<b>Erro de funcionamento:</b>	$\pm (2\% \text{ do valor medido} + 10 \text{ dígitos})$
	<b>Resolução:</b>	0,1 V

Fonte: Manual do Registrador Fluke 1735

### 3.5 Métodos de Detecção de Distúrbios

A definição dos fenômenos eletromagnéticos tem grande relevância devido a enorme quantidade de informações extraídas do acompanhamento de um sistema elétrico e principalmente, possibilitando o reconhecimento da fonte do distúrbio, em relação ao ponto de medição (BASIC MEASURING INSTRUMENTS, 1993).

De acordo com as orientações da ONS (2013, p.6) que trata de instruções para realização de estudos e medições de QEE, basicamente, os estudos que tratam das avaliações de qualidade de energia e desempenho, verificam fatores quantitativos à distorção harmônica e flutuação de tensão, podendo ter uma atenção



em casos como instalações com fornos a arco onde, poderá ser necessário avaliar o aspecto do desequilíbrio de tensão.

Os principais métodos utilizados para detectar os fenômenos eletromagnéticos são os baseados no cálculo do Valor RMS e nas transformadas de Fourier e Wavelet (Ando. 2009). Segundo Theodoridis e Koutrombas (1999) o cálculo do valor RMS consiste no acompanhamento dos valores de tensão RMS em tempo real do sistema com a finalidade de detectar diversos distúrbios, entre eles sobretensão, subtensão e interrupções.

Segundo Ando (2009) a expressão para o cálculo do valor RMS de um sinal de entrada com  $x(n)$  com N amostras é dada por:

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u(n)^2} \quad (11)$$

Onde  $u(n)$  é o valor instantâneo da tensão da amostra número n.

Com base nas orientações contidas nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional- PRODIST, Módulo 8-Qualidade de Energia da ANEEL (2010) e nas características do aparelho utilizado para medição, os distúrbios analisados foram:

- Fator de potência
- Harmônicos
- Interrupção de tensão
- Variação de frequência
- Variação de Tensão, (SAG e SWELL)

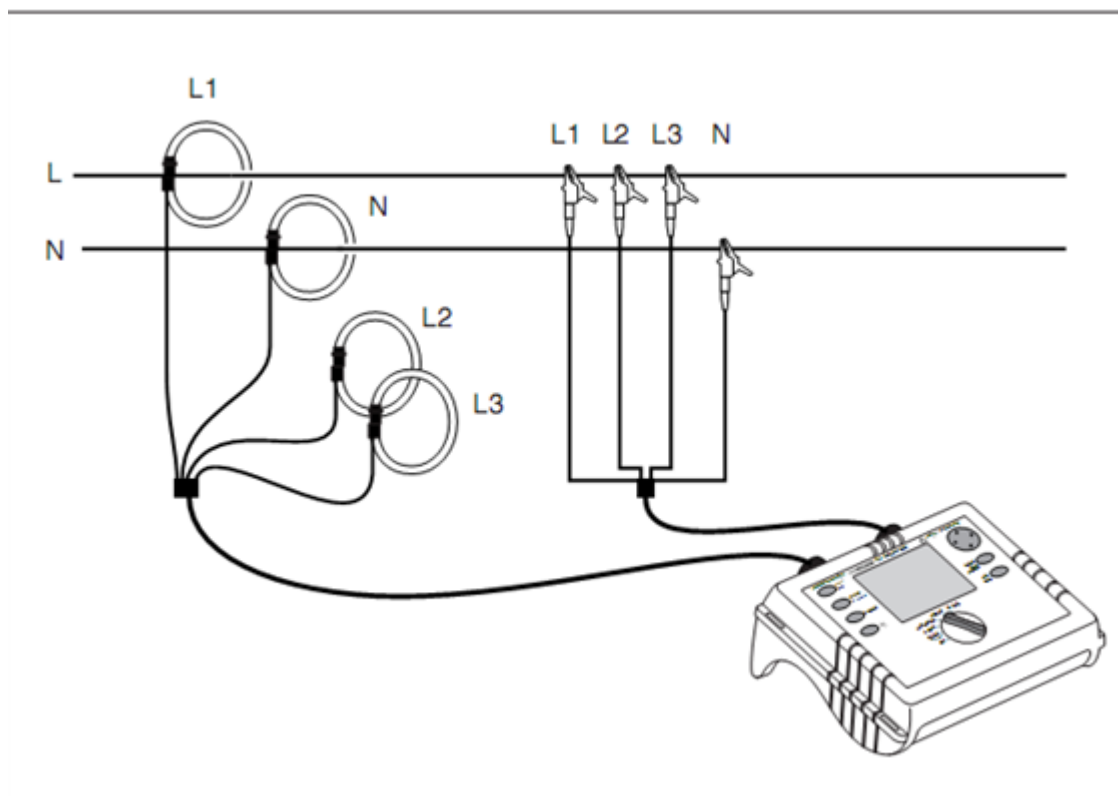
Nesta medição foram utilizados os métodos do valor RMS, o qual o registrador de energia fundamenta as medições, e o método proposto pela ANEEL (2010).

As medições foram armazenadas na memória do instrumento e posteriormente foram transferidas ao computador através de comunicação do próprio equipamento via USB.

Depois de transferir os dados registrados para o PC para avaliação gráfica e tabular, com software Power Log da Fluke, que acompanha o equipamento, os dados puderam ser exportados para uma planilha possibilitando a geração e a impressão de relatórios. Desta forma as medições podem ser transformadas em gráficos em função do tempo.

O gerador utilizado para converter o biogás em eletricidade é monofásico e tem em sua saída tensões de 110/220 V. Dessa maneira, Os conectores de sinal de tensão e sensores de corrente do registrador foram instalados na saída do gerador de acordo com a figura 23.

Figura 23: Esquema de Ligação Monofásica do Registrador



Fonte: Manual do Equipamento

Em termos de recursos materiais, a figura 24 mostra a sequência de instalação dos instrumentos para o monitoramento.

Figura 24: Sequência de Instalação do Equipamento



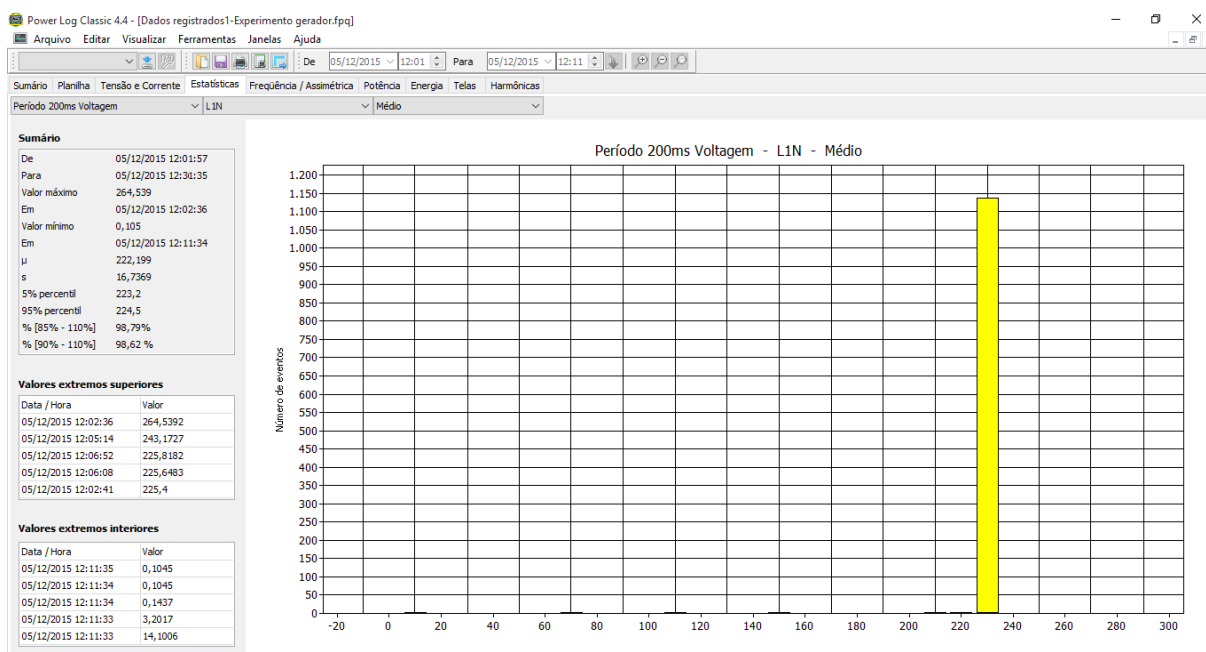
Fonte: Autor

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Diante desse contexto, este capítulo irá apresentar os resultados de medições para avaliar a qualidade da energia elétrica oriunda da transformação do biogás, resultante de um biodigestor. Por fim os resultados das medições serão comparados aos limites recomendados pelo PRODIST.

Após a instalação de toda instrumentação para a monitoração, conforme descrito anteriormente, os dados foram descarregados através de um computador portátil. Toda análise de valores e apresentação gráfica é realizada através do software Power Log, fornecido pelo próprio fornecedor do equipamento de medição da RMS. A Figura 25 ilustra uma das telas do software Power Log.

Figura 25: Tela do Software Power Log



Fonte: Software Power Log Fluke

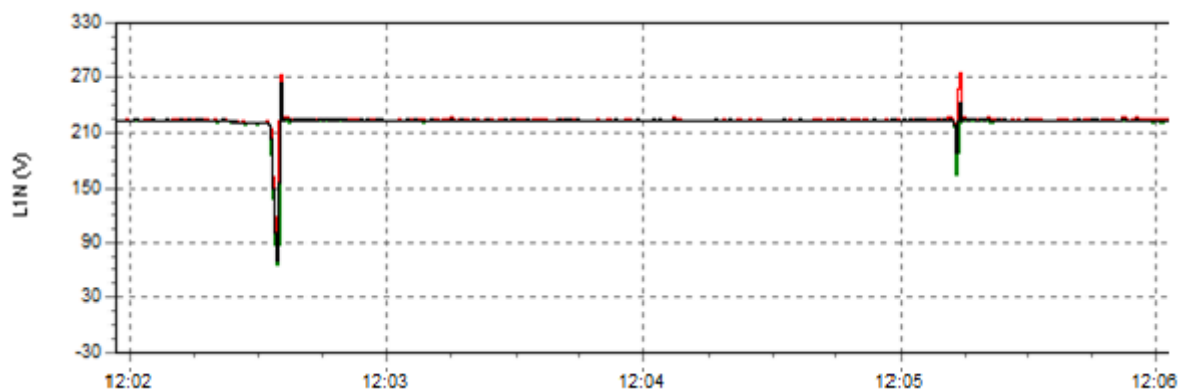
Através do analisador Power Log, torna-se possível verificar as diversas grandezas elétricas colhidas no ponto de monitoramento. Com o equipamento é possível observar o comportamento da tensão, da corrente, da potência ativa e reativa, do fator de carga, das distorções harmônicas e variação de frequência durante todo o período de medição.

## 4.1 Casos com a presença de distúrbios

### 4.1.1 Variação de Tensão Elétrica

Analisando os dados de tensão e corrente, foi comprovado que os níveis de tensão não estavam dentro da faixa considerada como adequada, de 201 V a 231 V, conforme PRODIST. As figuras 26 e 27 ilustram o comportamento da tensão, onde é possível visualizar em que houve uma elevação de tensão (SWELL) e conseqüentemente uma redução de tensão (SAG) entre intervalos de um minuto. Os valores de tensão ultrapassam consideravelmente, chegando a um valor próximo de 270 V. E diminuem para menos de 90 V.

Figura 26: Gráfico do Comportamento da Tensão Elétrica



Fonte: Software Power Log

Figura 27: Gráfico do Comportamento da Tensão Elétrica



Fonte: Software Power Log

Na figura 28, é possível visualizar um relatório de valores extremos superiores e inferiores, valores esses que são determinados pelo PRODIST, com a exceção que o programa considera que acima de 220 V, a qual foi a tensão selecionada como valor nominal, é um valor extremo superior. O mesmo acontece com valor abaixo de 220 V. Mas os valores apresentados estão em desacordo com o valor regulamentado pela ANEEL.

Figura 28: Relatório de Valores

Valores extremos superiores		Valores extremos interiores	
Data / Hora	Valor	Data / Hora	Valor
05/12/2015 12:02:36	264,5392	05/12/2015 12:02:10	84,5392
05/12/2015 12:05:14	243,1727	05/12/2015 12:13:34	182,5314
05/12/2015 12:16:52	225,8182	05/12/2015 12:16:34	26,1727
05/12/2015 12:26:08	225,6483	05/12/2015 12:21:33	203,2017
05/12/2015 12:32:41	225,4	05/12/2015 12:31:33	125,8182

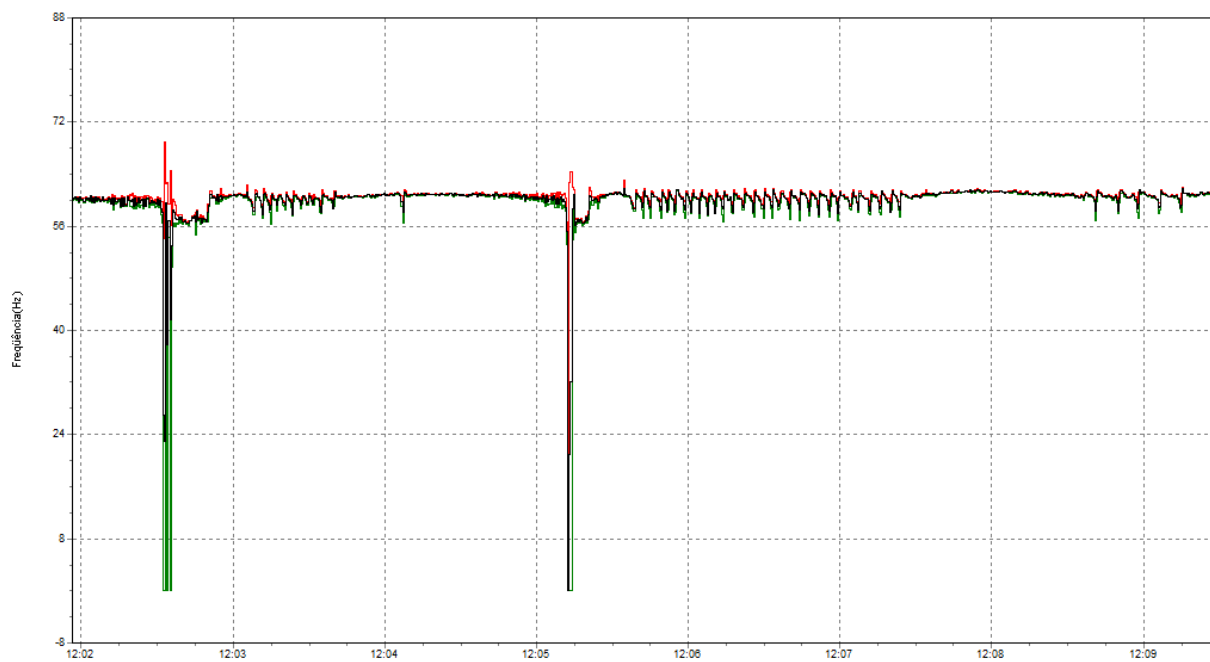
Fonte: Software Power Log

#### 4.1.2 Variação de Frequência Elétrica

Conforme o PRODIST, Em relação à frequência, as condições normais de operação e em regime permanente, a operação que se caracteriza dentro dos limites de frequência situados é entre 59,9 Hz e 60,1Hz (ANEEL, 2010).

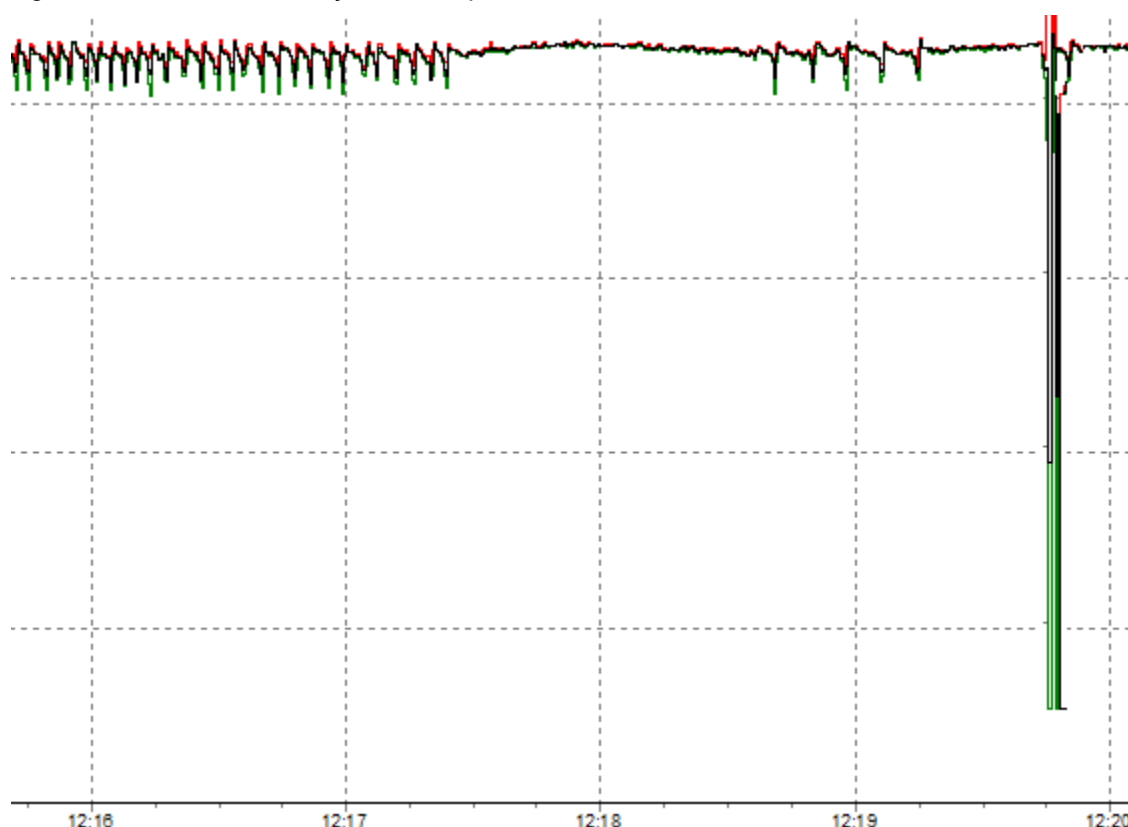
Analisando os gráficos e valores apresentados após a medição pelo Power Log, é possível ver que em momentos distintos há variação de frequência. As Figuras 29 e 30 representam graficamente essa oscilação.

Figura 29: Gráfico da Oscilação da Frequência



Fonte: Software Power Log

Figura 30:Gráfico da Oscilação da Frequência



Fonte: Software Power Log

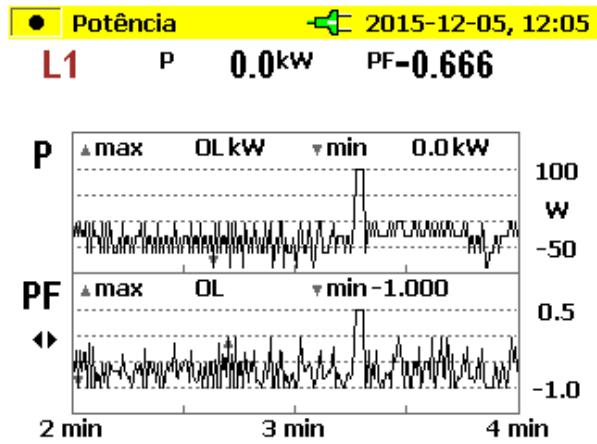
Os valores apresentados da frequência elétrica são muito abaixo do que a ANEEL recomenda, os quais os valores são entre 59,9 Hz e 60,1Hz. Como é possível visualizar nas figuras 29 e 30, a oscilação é muito grande, tendo valores um valor médio de 58 Hz, chegando a ter picos de rebaixamento próximo à zero. Há também uma variação para acima do valor determinado, entrando na casa dos 61 Hz.

#### 4.1.2 Variação do Fator de Potência

Para a ANEEL, o valor do fator de potência deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente. Uma das regulamentações vigentes foi proposta pelo, o qual através da Portaria nº 1.569, de 23/12/1993 fixou o fator de potência em 0.92.

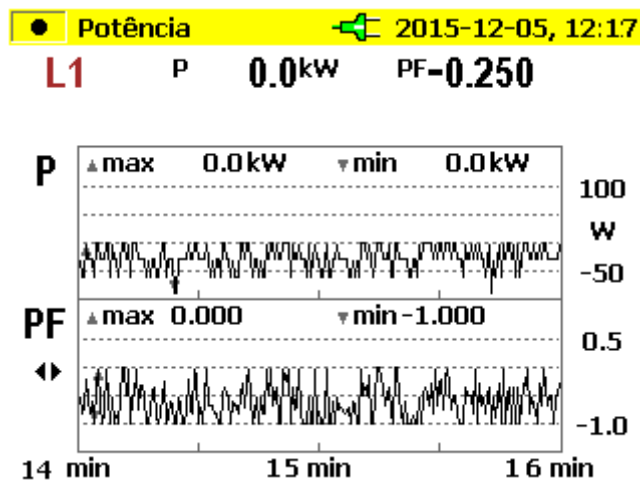
Nas figuras 29, 30 e 31, é possível visualizar a variação do fator de potência.

Figura 31: Variação do Fator de Potência



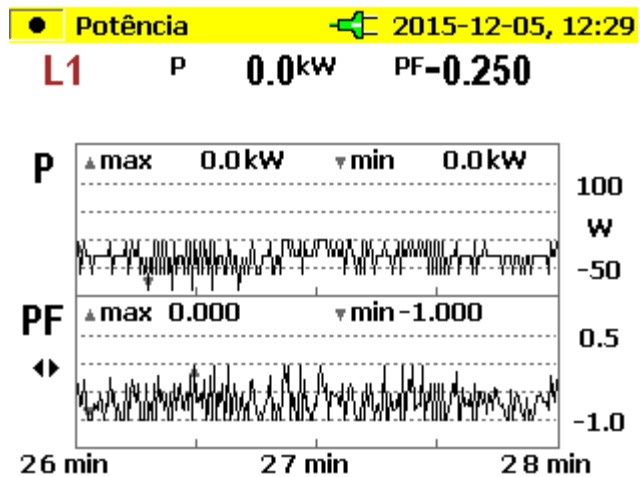
Fonte: Software Power Log

Figura 32: Variação do Fator de Potência



Fonte: Software Power Log

Figura 33: Variação do Fator de Potência



Fonte: Software Power Log



Segundo Silva (2013) o fator de potência com que o gerador trabalha depende exclusivamente da característica da carga a ele ligada. Todo o gerador deve, assim, ser capaz de fornecer a potência nominal dentro dos limites de fator de potência estabelecidos pelo fabricante. A faixa de valores para o de fator de potência se situa em geral entre 0.8 e 1.0.

## 5. Considerações Finais

Com o crescente número de equipamentos eletroeletrônicos, estes que são cada vez mais sensíveis a distúrbios que possam ocorrer na rede elétrica, as concessionárias de energia estão preocupando-se mais com a qualidade da energia elétrica fornecida, pois a manifestação de distúrbios na rede elétrica acabam prejudicando de alguma forma a energia enviada pelas distribuidoras e podem vir a lesar os consumidores danificando os equipamentos elétricos que estão sendo alimentados por esta energia.

Mas, atualmente no Brasil não existe qualquer norma regulamentadora que demonstre preocupação com a qualidade da geração própria de energia elétrica, seja ela solar, eólica ou biomassa. Com isso os produtores individuais de energia supõe que podem utilizar esse potencial elétrico sem mais problemas.

A proposta desse trabalho foi evidenciar que qualquer forma de produção de energia necessita de um acompanhamento tanto teórico como prático. A produção própria de energia elétrica não é incentivada no Brasil, mas além desse incentivo é necessário o compartilhamento de conhecimentos e desenvolvimento de soluções factíveis e eficientes para os problemas enfrentados na geração, como o trabalho evidenciou.

Houve uma evolução regulatória que trouxe incentivos à pesquisa e desenvolvimento científico na análise da qualidade de energia, mas esses resultados não são satisfatórios que se trata do produtor individual que enfrenta muitas barreiras para conseguir produzir energia elétrica, este que muitas vezes não é agraciado com a utilização da energia gerada pelas hidroelétricas.

Nesse contexto, esse trabalho teve por objetivo a análise de um problema encoberto pelos paradigmas teóricos e práticos sustentados no setor elétrico e que enaltecem esse isolamento de conhecimento das entidades atuantes nesse mesmo setor, e também para aqueles que tentam contribuir com a diversificação da matriz energética.

À luz dos resultados, o problema apresentado nesse estudo se torna simples em sua concepção, pois a teoria envolvida é um conhecimento acessível, mas não explanado como deveria. No entanto, a solução se demonstra complexa, devido a negligência dos órgãos regulamentadores, que além de não incentivarem a produção individual de energia, não dão suporte aos que o praticam.

Como visto, nas três grandezas básicas que compõem a geração de energia elétrica, os fatores determinados como nominais pela ANEEL estão em desacordo com os valores referenciais, acarretando em perdas de energia, possíveis danos aos equipamentos que utilizam esse potencial e danos ao equipamento conversor, o gerador.

Espera-se que este trabalho venha contribuir com uma maior atenção a qualidade da energia elétrica por produtores individuais, onde seja possível a detecção desses fenômenos, a monitoração e análise da QEE e possíveis soluções padrões para os que não possuem qualificação profissional possam aplicar em suas residências.

Como sugestões para trabalhos futuros, a determinação da influência da qualidade química do gás gerado no resultado final da conversão, que é a energia elétrica, onde os distúrbios ocorrem sequencialmente e que podem trazer prejuízos para equipamentos e o próprio gerador utilizado. Sugere-se também ampliar esta metodologia para a classificação de cada componente bioquímico que interfere na qualidade da energia elétrica gerada, possibilitando futuramente, a modificação de quaisquer características a fim de melhorar o potencial elétrico gerado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJHAR, M.; WENS, B.; STOLLENWERK, K.H.; SPALDING, G.; YÜCE, S.; MELIN, T. **Suitability of Tedlar gas sampling bags for siloxane quantification in landfill gas.** Talanta. Vol. 82, 1, 92–98. 2010.

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos.** Dissertação (Mestrado em Energia). Programa Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ALCARDE, A. R. **Geração de Energia Elétrica.** Embrapa, Brasília. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01\\_107\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_107_22122006154841.html)> Acesso em: 07 maio 2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIOMASSA.** Brasília. Disponível em: < [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf) > Acesso em 14 maio 2011.

FERREIRA, F. M. et al. **Cogeração no setor sucroalcooleiro em Goiás.** 2010. Monografia (MBA em Gestão Sucroalcooleira) – Centro Universitário de Lins – Unilins.

LOPES, A. G.; BRITO, E. C. **Cogeração de energia elétrica derivada da queima do bagaço da cana-de-açúcar.** 2009. Monografia (Curso Sequencial de Gestão Ambiental) – Centro Universitário de Lins – Unilins.

L. M. MEHL, Ewaldo. **Qualidade da energia elétrica.** Disponível em:<<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>>.Acesso em: 23 de novembro de 2014.

R. Aldabó. **Qualidade na energia elétrica.** São Paulo: Artliber, 2001.

COSTA, D.F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto.** Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo. 194 p. São Paulo, 2006.

COSTA, D. F.; FERLING, F. F.; NOGUEIRA, F. G. **Produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos.** FAAP. São Paulo, 2001.

ANEEL– Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil.**3.ed.2009.DISPONÍVEL EM <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf)> Acesso em: 16 Junho 2014.

ANEEL– Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST.**2010. Disponível em

<[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8\\_V2.PDF](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_V2.PDF)> Acesso em: 16 Agosto 2015

ALVAREZ, R.; Gunnar, L. **Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste**. *Renewable Energy*, v.33, p.726-734, 2008.

HUGUES, J. **Wood-fuelled cogeneration-technologies and trends worldwide. Cogeneration and On-Site Power Production**, v.4, n.4, Jul.-Ago, 2003, p. 61-70.

Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – Brasil. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.

BARROS, Benjamin Ferreira de. **Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo de Energia Elétrica**. —1. ed.—São Paulo: Érica, 2014.

BARROS, Benjamin Ferreira de. **Gerenciamento de Energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica**. —1.ed.—São Paulo: Érica, 2010.

BORGES Neto, Manuel Rangel. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. — 1 .ed.—São Paulo:Érica,2012.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. —2. ed.rev.e atual.—Barueri,SP:Manole 2011.

GUIMARÃES, Carlos Henrique Costa. **Sistemas Elétricos de Potência e seus Principais Componentes**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA. 2014.

CAPELLI, Alexandre. **Energia elétrica para sistemas automáticos da produção**. — 2.ed.—São Paulo:Érica,2010.

CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Instalações Elétricas: Fundamentos, prática e projetos em instalações residenciais e comerciais**. —1.ed. — São Paulo:Érica,2011.

EMATER PR, **Biogás**. Disponível em: (<http://www.emater.pr.gov.br>). Acesso em 27 mai 2015.

OAST, Ana Paula, et al. Análise dos sistemas de conversão de energia através do biogás produzido pelo esgoto cloacal. **1ª Semana Acadêmica-Engenharia de Produção-FAHOR**. Horizontina, Rio Grande do Sul. 16 a 19 de Novembro de 2010.

Empresa de Pesquisa Energética–EPE; Ministério de Minas e Energia–MME. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes**  
[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208_1.pdf)>. Acesso em 14 de Setembro de 2014.

PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP – Estudo de Caso.** 2006. 152 p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo - PIPGE.

COELHO, S. T. et. al. **Sewage Biogas Conversion into Electricity.** 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural - AGRENER GD 2006, 06 a 08 de junho de 2006, Campinas, SP, Brasil.

ANTONELLI, J. et.al. **Microgeração de Energia Elétrica com Gás de Síntese Utilizando Pinus Elliottii como Material de Alimentação.** II Simpósio de Bioenergia e Biocombustíveis do Mercosul, 25 e 26 de Setembro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

CORTEZ, I.A.B.; LORA, E.E.; GÓMEZ, E.O. Biomassa para energia. Campinas, SP. Editora UNICAMP, 2008.

FIGUEIREDO, Fabrício L. et.al. **Performance analysis of electric power group of 50 kVA with MWM engine adapted to Otto cycle, using natural gás.** Seminário: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 34, n. 2, p. 145-154, jul./dez. 2013. Londrina, PR, Brasil.

MAGALHÃES. C.M.S DE. **Análise do Impacto de Conversores de Frequência na Qualidade da Energia do Sistema de Distribuição de Uma Indústria de Petróleo.** 2010. 125 p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia Elétrica da Universidade Federal do Pará. UFPA. 2010

WEG. **Manual de Correção do Fator de Potência.** Jaraguá do Sul, SC, 2009.

GRANATO. E.F. **Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça.** 2003. 139 p. Dissertação de Mestrado-Engenharia Industrial-Faculdade de Engenharia da UNESP. 2003

FERREIRA. D.D. **Análise de Distúrbios Elétricos em Sistemas de Potência.** 2010. 233 p. Tese de Doutorado-Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica– COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2010.

OLESKOVICZ. M. et.al. **Estudo comparativo de ferramentas modernas de análise aplicadas à qualidade da energia elétrica.** Sba Controle & Automação vol.17 nº.3 Campinas July/Sept.2006. Disponível em <  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-7592006000300007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-7592006000300007)>>. Acesso em 18 de Setembro de 2014.

WEG. **Módulo 4-Geração de Energia.** Jaraguá do Sul, SC, 2006.

SARMANHO. U.A.S. **Influência dos Distúrbios Elétricos em Média Tensão na Qualidade de Energia - Estudo em um Ambiente Universitário.** 2005. 377 p.

Dissertação de Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2005.

BARREIRA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3ª Ed.-São Paulo: Ícone Editora, 2011.

ONS. Submódulo 2.8 – **Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes**, 05 de Agosto de 2009. Disponível em < <http://www.ons.org.br> > Acesso em: 18 de Outubro de 2014.

ANDO. O.H.J. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Identificar e Quantificar Distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica**. 2009. 188 p. Dissertação de Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009.

THEODORIDIS, S.KOUTROUMBAS, K. **Pattern Recognition**. San Diego: Academic Press, 1999.

BRANCO. **Manual de Instruções de Geradores a biogás**. Araucária, PR, 2007.

FLUKE. **Fluke 1735 Three-Phase Power Logger**. Eerett, WA, USA, 2006.

BASIC MEASURING INSTRUMENTS. **Handbook of Power Signatures**,USA,1993.

SILVA, S.R. **Introdução à Máquina Síncrona**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2013. 11 f. Apostila.