



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Departamento de Engenharia Elétrica e Informática

Trabalho de Conclusão de Curso  
**Quantificação do Consumo de Energia**

Yuri Loia de Medeiros

Campina Grande, PB  
Agosto de 2018

Yuri Loia de Medeiros

## **Quantificação do Consumo de Energia**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador: Edmar Candeia Gurjão

Campina Grande, PB

Agosto de 2018

Yuri Loia de Medeiros

## **Quantificação do Consumo de Energia**

*Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Coordenação do  
Curso de Graduação em Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal de  
Campina Grande, Campus Campina  
Grande, como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do grau  
de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Aprovado em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Professor Avaliador**

Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Edmar Candeia Gurjão**

Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador

*Sempre que te perguntarem se podes fazer um trabalho,  
respondas que sim e te ponhas em seguida a aprender como se faz.*

## Agradecimentos

Eu quero agradecer a minha família pelo incentivo e apoio em fazer um curso fora da minha cidade natal, em especial aos meus pais por sempre se esforçarem ao máximo para custear e me apoiar nas minhas decisões durante o período de graduação. Quero agradecer aos meus irmãos Davi, Daniel e Rafael por me acompanharem em todas as etapas da vida, é muito bom quando seus melhores amigos são da sua família. Também quero agradecer minha namorada Mona que me aturou durante meus períodos mais estressantes de final de período.

Também queria agradecer aos projetos que participei durante o período de graduação que me fizeram aprender assuntos muito mais profundos para vida, foram eles: a monitoria, o projeto de iniciação científica, o Rotaract e o movimento Empresa Júnior. Eles foram uma das minhas motivações para continuar no curso. Além disso quero agradecer a todos os meus mentores nos projetos que participei, aos professores Marcelo, Joseluze, Roberto, Tarso, Carlos e em especial a Edmar que esteve comigo em 3 etapas auxiliando na Empresa Júnior de engenharia elétrica a Voltech Consultoria e Projetos Elétricos, em um dos projetos de iniciação científica e no meu TCC.

Para finalizar quero agradecer a todos os meus amigos que fiz nesse tempo de graduação seja pagando cadeiras juntos, discutindo algo no quiosque, ou realizando algum projeto, sem vocês eu não estaria aqui. Em especial a Marcus Vinícius, Rafael Nascimento e Carolina Cavalcanti que foram uma família para mim desde o começo do curso.



## Resumo

A conta de energia elétrica é uma composição de vários parâmetros, que podem mudar de acordo com a categoria do consumidor. Neste trabalho é apresentada uma rotina de análise de dados enviados por um medidor de energia, que fornece potências ativa e reativa e fator de potência de um determinado consumidor, e calcula o valor em reais do consumo da unidade medida. Como estudo de caso foi utilizado os dados de um medidor instalado no prédio CJ da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Palavras chave:** Tarifação Energética, Gerenciamento de Energia, Análise de dados

## **Abstract**

The electric bill is a composition of several parameters, which may change according to the category of the consumer. In this work, a data analysis routine sent by a power meter is presented, which provides active and reactive power and power factor of a determined consumer, and calculates the value in reais of the measured unit consumption. As a case study, the data of a meter installed in the CJ Building of the Federal University of Campina Grande was used.

**Keywords:** Energy Bill, Energy Management, Data Analysis

## Lista de Figuras

2.1	Triângulo retângulo de Potências . . . . .	17
3.1	Medidor de energia elétrica feito pelo projeto SCIKE Paraíba . . . . .	26
3.2	Placa de aquisição de dados com o chip Atmel M90E36A em conjunto com o ESP8266 . . . . .	26
3.3	Um dos modelos de Arduino Uno disponíveis no mercado [19] . . . . .	26
3.4	ESP8266 modelo ESP-01 . . . . .	27
3.5	Exemplo de Disjuntor Diferencial Residual . . . . .	27
3.6	Conta de Energia Elétrica referente ao mês de Março da UFCG Campus Central . .	29
4.1	Mapa da UFCG com foco no Prédio CJ . . . . .	31
4.2	Consumo de Energia Ativa em função dos dias de consumo no prédio CJ . . . . .	32
4.3	Consumo de Energia Ativa médio para cada hora de consumo no prédio CJ . . . .	33
4.4	Fator de Potência de Cada Hora em Função do Horário e Dia ocorrido . . . . .	35

## Lista de Tabelas

1	Subgrupos do Grupo A . . . . .	20
2	Subgrupos do Grupo B . . . . .	20
3	Tabela ICMS Energia Elétrica (Energisa, 2018) [16] . . . . .	24
4	Informações das Tarifas da UFCG Referentes a Conta de Energia Elétrica . . . . .	30
5	Total do consumo de Energia Ativa nos horários de Ponta e Fora de Ponta do prédio CJ . . . . .	34
6	Total do consumo de Energia reativa excessiva no prédio CJ . . . . .	35
7	Demandas Medidas prédios CJ . . . . .	36
8	Custo das Demandas Medidas no Prédio CJ em cada Mês . . . . .	36
9	Custo Total do Prédio CJ em cada Mês . . . . .	37
10	Comparação entre o Custo Total da UFCG e do Prédio CJ . . . . .	37

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

CIP Contribuição de Iluminação Pública

COFINS Contribuição para Financiamento da Seguridade Social

h Hora

ICMS Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

min Minuto

PIS Programa de Integração Social

kvar Quilovolt-ampere-reativo-hora

kWh Quilowatt-hora

RFB Receita Federal do Brasil

VA Volt ampere

var Volt-ampere-reativo

Wh Watt Hora

W Watt

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentação teórica</b>	<b>15</b>
2.1	Valor Eficaz . . . . .	15
2.2	Tipos de Cargas . . . . .	15
2.3	Potência Ativa e Energia Ativa . . . . .	16
2.4	Potência Reativa e Energia Reativa . . . . .	16
2.5	Potência Aparente e Energia Aparente . . . . .	16
2.6	Fator de Potência . . . . .	17
2.7	Demanda . . . . .	18
2.8	Horário de Ponta . . . . .	18
2.9	Horário Fora de Ponta . . . . .	18
2.10	Horário Intermediário . . . . .	19
2.11	Bandeiras Tarifárias . . . . .	19
2.12	Grupos de Consumidores de Energia . . . . .	19
2.13	Modalidade Tarifária Baixa Tensão . . . . .	19
2.13.1	Tarifa Monômnia . . . . .	20
2.13.2	Tarifa Branca . . . . .	20
2.14	Modalidades Tarifárias Consumidores Classe A . . . . .	21
2.14.1	Custo da Demanda na Tarifa Azul . . . . .	21
2.14.2	Custo da Demanda na Tarifa Verde . . . . .	22
2.14.3	Custo da Demanda de Ultrapassagem . . . . .	22
2.14.4	Custo do Consumo de Energia Ativa . . . . .	22
2.14.5	Custo da Energia Reativa Excedida . . . . .	23
2.15	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social e Programa de Integração Social . . . . .	23
2.16	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) . . . . .	23
2.17	Contribuição de Iluminação Pública (CIP) . . . . .	24
2.18	Conta de Energia Elétrica dos consumidores da Classe A sem Impostos . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>25</b>
3.1	Projeto Scike Paraíba . . . . .	25
3.2	Medidor de Energia Elétrica . . . . .	25
3.2.1	Placa de Medição de Dados . . . . .	25
3.2.2	Arduino . . . . .	25
3.2.3	Módulo Wifi ESP8266 . . . . .	27
3.2.4	Disjuntor Diferencial Residual . . . . .	27
3.3	Processamento dos dados . . . . .	28
3.4	Metodologia para Identificação dos Parâmetros Tarifáveis . . . . .	28
3.5	Informações Tarifárias da UFCG . . . . .	29

<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>30</b>
4.1	Tarifa Energia Elétrica - Prédio CJ . . . . .	30
4.1.1	Quantificação do Consumo de Energia Ativa . . . . .	31
4.1.2	Quantificação do Consumo Excessivo de Energia Reativa . . . . .	34
4.2	Estimação da Demanda do Prédio Custo Total . . . . .	35
4.3	Custo Total do Prédio CJ . . . . .	36
4.4	Impacto de Consumo do Prédio em Relação ao Campus Central da UFCG . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>38</b>
	<b>Referências</b>	<b>39</b>

# 1 Introdução

A energia elétrica está relacionada com a realização da maioria das tarefas nos nossos dias, e é muito importante para a humanidade (ANEEL, 2017) [1]. Devido a tamanha importância, e por ser um recurso caro dos pontos de vista ambiental e econômico é interessante que o seu consumo não seja feito de forma leviana e sem controle, por isto é interessante que ele seja monitorado (ANEEL, 2017) [1].

A unidade consumidora recebe uma conta de energia da empresa fornecedora que informa apenas o consumo de energia em kWh, o consumo de reativos excedentes, a demanda medida e a demanda ultrapassada durante o período de faturamento, isto acontece para consumidores alimentados em tensão superior a 2,3 kV. Apesar destas informações este tipo de conta não contém mais informações que possam ser utilizados pelo consumidor para auxiliá-lo numa redução de seu consumo de energia elétrica e com isto reduzir o seu gasto com a mesma (ANEEL, 2017) [1].

Em unidades alimentados por alta ou média tensão há uma grande possibilidade de que existam diversos prédios ou diferentes espaços com utilização de energia por diferentes tipos de equipamentos, de forma que cada um deles possuirá uma peculiaridade na sua forma de utilização. Dessa forma é o estudo da unidade consumidora de forma individual pode identificar padrões e encontrar problemas que podem não ser identificados ao analisar o consumo de forma macro. Um exemplo disso é a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) que apenas no seu campus central conta com 93 prédios. Cada um dos prédios da UFCG possui uma quantidade diferente de equipamentos elétricos que são ligados e desligados a rede e portanto existem 93 padrões diferentes de consumo, padrões que não são conhecidos nem são monitorados e por isto há uma grande possibilidade de haver um desperdício no consumo de energia elétrica.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um algoritmo que quantifique o consumo dos prédios da UFCG a partir das informações dos medidores instalados em cada um dos prédio, primeiramente quantificando os parâmetros que são tarifáveis para a conta de energia elétrica de criando uma conta de energia elétrica dos prédios e para fazer isto é utilizado o prédio CJ como caso teste, além disto obtendo-se o valor final de consumo do prédio será possível quantificar qual o impacto que os mesmos têm na conta de energia elétrica da UFCG.

Para o desenvolvimento do trabalho serão utilizados dados adquiridos pelo medidor de energia elétrica instalado nos prédios da Universidade Federal de Campina Grande. Este medidor coleta informações da potência reativa, potência ativa e do fator de potência de cada uma das fases da alimentação do prédio, de forma que será possível quantificar a energia gasta no mesmo. Estes dados serão primeiro pré-processados pelo software Microsoft Office Excel 2013 ® de forma a corrigir alguns erros de medições que aconteceram no começo da calibração do medidor, logo após serão analisados e tratados pelo software Matlab® de forma a calcular o consumo dos prédios que serão analisados além de adquirir informações do perfil de consumo referentes ao consumo de energia do prédio analisado.

Este trabalho se organiza em cinco capítulos este é o primeiro que introduz os objetivos do trabalho e sua contextualização. O segundo capítulo trata da fundamentação teórica do trabalho explicando alguns conceitos que são necessários para se entender todo o contexto em que o trabalho se enquadra. No terceiro capítulo é explicado qual o projeto que este trabalho de conclusão de curso se trata, a forma como é feita a aquisição dos dados pelo medidor, o papel de cada um dos componentes do medidor, quais os programas foram utilizados no processamento de dados e qual a metodologia para identificação dos parâmetros tarifáveis. No quarto capítulo é explicado os

resultados do trabalho com o processamento dos dados em que é quantificado quanto é o consumo de energia ativa, reativa e qual o fator de potência para cada hora de forma, estes dados são usados depois para se propor uma "conta" de energia para cada um dos prédios quantificando em reais o impacto que o mesmo tem na conta da UFCG, o prédio analisado para este trabalho foi o prédio CJ. No quinto e último capítulo são feitas considerações finais acerca do trabalho.

## 2 Fundamentação teórica

Para auxiliar a compreensão do trabalho serão definidos alguns conceitos que estão apresentados no livro de análise de sistemas de potência escrito por J. Duncan Glover [2], no manual de tributação da PROCELL (PROCELL, 2011) [3] e nas resoluções normativas da ANEEL de números 414 [5], 479 [4], 569 [6] e 733 [8].

### 2.1 Valor Eficaz

O valor eficaz de uma grandeza é a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos valores desta grandeza medidos em um período de tempo, este conceito será utilizado neste trabalho ao se referir de tensão eficaz ( $V_{rms}$ ) e corrente eficaz ( $I_{rms}$ ) e vai se referir ao valor da tensão ou corrente capaz de transferir potência a uma carga. Para o cálculo do valor eficaz de uma onda utiliza-se a equação [1]:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |f(t)|^2 dt \quad (1)$$

Sendo  $T$  é o período de uma onda periódica e  $f(t)$  é a equação que determina o comportamento de uma onda. Neste trabalho as grandezas que estarão sendo trabalhadas com seus valores eficazes caso não esteja sendo dito nenhuma outra informação.

### 2.2 Tipos de Cargas

Existem 4 tipos de cargas que uma fonte de tensão pode estar conectado:

- **Carga Resistiva:** Aquela que é composta puramente por resistores e não altera o ângulo entre a tensão e a corrente;
- **Carga Indutiva:** Esta é composta apenas por indutores de forma que a tensão está adiantada em relação a corrente por uma diferença de  $90^\circ$ ;
- **Carga Capacitiva:** Esta é composta apenas por capacitores de forma que a tensão está atrasada em relação a corrente em uma diferença de  $90^\circ$ ;
- **Carga Mista:** Este tipo de carga é uma associação das cargas anteriores e pode alterar o ângulo entre a tensão e a corrente em um intervalo de  $-90^\circ$  até  $+90^\circ$  de acordo o arranjo das cargas conectado ao sistema;

### 2.3 Potência Ativa e Energia Ativa

A potência ativa é aquela a qual é absorvida por uma carga resistiva, esta pode ser convertida em outras formas de energia gerando trabalho (Glover, 2008)[2]. Neste trabalho o sinal positivo para esta potência indica o consumo de potência ativa e o sinal negativo para a geração de potência ativa, esta é geralmente expressa em watts (W) ou em quilowatt (kW). A energia ativa expressa a quantidade de potência ativa absorvida ou gerado por uma carga em um determinado tempo, geralmente este tempo é uma hora e a energia ativa é expressa em quilowatt hora (kWh).

### 2.4 Potência Reativa e Energia Reativa

A potência reativa um tipo de energia que circula entre campos elétricos e magnéticos que não gera trabalho mas que é essencial para o funcionamento de alguns tipos de cargas como cargas capacitivas (exemplo: capacitores, baterias) ou cargas indutivas (exemplo: indutores, motores) (Glover, 2008)[2] (ANEEL, 2010) [5]. Esta tem valor positivo quando é uma potência reativa indutiva e valor negativo quando é uma carga capacitiva geralmente é expressa em volt ampere volt-ampere reativo (var) ou em quilovolt-ampere reativo (kvar). A energia reativa expressa a quantidade de potência reativa consumida por uma carga em um determinado tempo, geralmente este tempo é definido como uma hora e por isto a energia reativa é expressa em quilovolt-ampere reativo (kvarh).

### 2.5 Potência Aparente e Energia Aparente

A potência Aparente é a quantificação da potência total que está sendo consumida por uma carga, para se calculá-la multiplica-se o valor da tensão rms ( $V_{rms}$ ) com o da corrente rms ( $I_{rms}$ ) de modo que a potência aparente pode ser calculado de acordo com a equação [2].

$$S = |V_{rms}| \times |I_{rms}| / \theta_{V_{rms}} - \theta_{I_{rms}} \quad (2)$$

Sendo  $\theta_{V_{rms}}$  é o ângulo da tensão rms e  $\theta_{I_{rms}}$  é o ângulo da corrente rms. Como a tensão rms e a corrente rms são números complexos, a potência aparente também é um número complexo possuindo duas formas de representações, a forma complexa e a forma cartesiana.

- **Forma Cartesiana:** Esta representação possui a componente real somado da componente complexa, esta representação pode ser observada em 3, onde a potência ativa é a parte real e a potência reativa é a parte imaginária.

$$S = P + jQ \quad (3)$$

Onde,  $S$  é a potência aparente,  $P$  é a potência ativa e  $Q$  é a potência reativa.

- **Forma Polar:** Esta representação é composta do módulo da potência aparente e do ângulo de fase entre a tensão e a corrente. O módulo da potência aparente pode ser calculado pela equação 4 e a forma polar pode ser observada em 5.

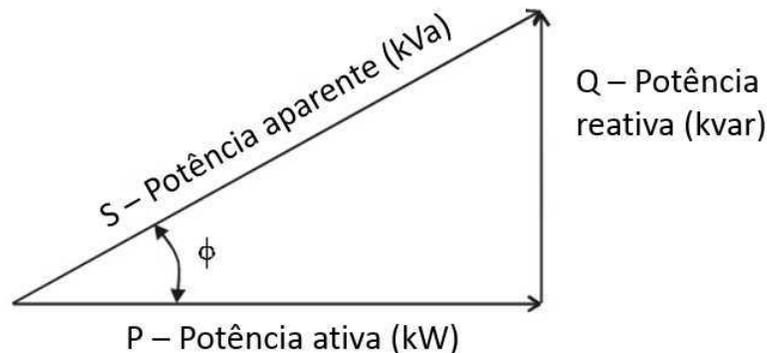
$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

$$S = |S|/\phi \quad (5)$$

Onde,  $|S|$  é o módulo da potência aparente,  $P$  é a potência ativa,  $Q$  é a potência reativa e  $\phi$  é o ângulo é calculado pela diferença entre o ângulo da tensão rms e da corrente rms;

Uma forma de se ver as componentes das duas formas é utilizando o triângulo de potências que pode ser visto pela figura 2.1, nesta figura o cateto adjacente ou vetor em direção horizontal e sentido da esquerda para a direita é representado pelo valor absoluto da potência ativa, o cateto oposto ou vetor em direção vertical é representado pelo valor absoluto da potência reativa, o sentido do vetor será de acordo com o tipo de potência reativa, de forma que será de baixo para cima quando a potência reativa for indutiva e será de cima para baixo quando a potência reativa for capacitiva. A hipotenusa será representada pelo valor absoluto da potência aparente e o ângulo entre o cateto adjacente e a hipotenusa é a diferença entre o ângulo da tensão rms e da corrente rms representado por  $\phi$

Figura 2.1: Triângulo retângulo de Potências



## 2.6 Fator de Potência

O fator de potência representa uma relação entre a potência ativa e a potência aparente (Glover,2008) [[2][], esta relação é representado pelo cosseno de  $\phi$  e também pode ser representada por outras relações como pode ser visto em 6:

$$fp = \cos \phi = \cos \left( \tan^{-1} \left( \frac{Q}{P} \right) \right) = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Na qual  $fp$  representa o fator de potência,  $S$  representa a potência aparente,  $\phi$  representa o fator de potência,  $P$  representa a potência ativa e  $Q$  representa a potência reativa, esta medida indica quanto de potência transmitida a uma carga está realmente realizando trabalho.

Existem 3 tipos de fator de potência, o reativo, o capacitivo e o resistivo, estes acontecem de acordo com as cargas que estão conectadas a rede do sistema elétrico:

- **Fator de potência reativo indutivo:** Acontece quando o  $Q > 0$ ;

- **Fator de potência capacitivo:** Acontece quando o  $Q < 0$ ;
- **Fator de potência resistivo:** Acontece quando o  $Q = 0$ ;

## 2.7 Demanda

De acordo com a resolução normativa N° 414 da ANEEL [5], a demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas, que são solicitadas ao sistema elétrico durante um intervalo de tempo especificado, a partir dessa definição existem outras que também são mencionadas na são utilizadas na conta de energia elétrica:

- **Demanda Contratada:** é demanda de potência ativa estabelecido em contrato entre a distribuidora de energia e o cliente que deverá obrigatoriamente fornecida de modo contínuo pela mesma no ponto de entrega de acordo com o período de vigência do contrato e que deve ser integralmente paga, seja utilizada ou não, durante o período de faturamento, esta expressa em quilowatts (kW);
- **Demanda Medida:** Obtida ao se calcular a maior potência ativa média em um período de 15 minutos, esta é expressa em quilowatts (kW);
- **Demanda Faturável:** é o valor da demanda medida da potência ativa do empreendimento, esta é a demanda considerada para o faturamento, ao se aplicar a respectiva tarifa, expressa em quilowatts (kW);

## 2.8 Horário de Ponta

Horário de ponta são três horas consecutivas que a concessionária de energia escolhe com base na sua curva de carga, de forma que nesse período o valor da tarifação de energia é maior que a tarifa para o consumo em horários fora de ponta. Na Energisa Borborema (Energisa, 2017)[7] o horário de ponta compreende o período de 17h 30 min (dezesete horas e trinta minutos) e 20h 29min (vinte horas e trinta minutos) exclui-se os sábados e domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e feriados nacionais.

## 2.9 Horário Fora de Ponta

O horário fora de ponta compreende as outras horas do dia em que o valor da tarifação é menor se comparado ao horário de ponta e ao horário intermediário, Na Energisa Borborema este intervalo compreende os intervalos entre meia noite até 17h 29min (dezesete horas e vinte e nove minutos) e de 20h 30min (vinte horas e trinta minutos) até 23h 59min (vinte e três horas e cinquenta e nove minutos) quando não há horário intermediário e compreende os intervalos entre meia noite até 16h 29min (dezesesseis horas e trinta minutos) e de 21h 30min (vinte uma horas e trinta minutos) até 23h 59min (vinte e três horas e cinquenta e nove minutos) quando há o horário intermediário.

## 2.10 Horário Intermediário

O horário Intermediário compreende o período de duas horas, uma hora antes do começo do horário de ponta e uma hora depois do final do horário de ponta, este horário depende da distribuidora da energia. Para a Energisa Borborema este período compreende os intervalos de 16h 30min (dezesseis horas e trinta minutos) até 17h 29min (dezessete horas e vinte nove minutos) e entre os períodos de 20h 30min(vinte horas e trinta minutos) até 21h 29min(vinte uma horas e vinte e nove minutos).

## 2.11 Bandeiras Tarifárias

De acordo com as condições de geração de energia elétrica no Brasil são propostas bandeiras tarifárias, e elas indicam se há ou não um repasse na conta dos consumidores de energia elétrica. Existem 4 bandeiras: bandeira verde, bandeira amarela, bandeira vermelha patamar 1 e bandeira vermelha patamar 2, eles são discriminadas de acordo com o custo variável da térmica mais cara. Uma melhor condição de geração elétrico para o Brasil acontece de acordo com as condições da geração de energia elétrica através de hidrelétricas, quanto menor o valor de geração de energia das hidrelétricas maior o número de termelétricas que são ligadas a rede, como o custo para a produção de energia elétrica através de termelétricas é mais caro que o custo das hidrelétricas é realizado um adicional na tarifa [10].

- **Bandeira Verde:** Não há acréscimos na conta pois há condições favoráveis a geração, o custo da térmica mais cara é menor que R\$ 211,28/MWh;
- **Bandeira Amarela:** Há condições menos favoráveis a geração e é portanto acrescentado R\$ 0,010 a cada kWh consumido na tarifa final do consumidor, o custo da térmica mais cara é igual a R\$ 211,28/MWh e inferior a R\$ 422,56/MWh;
- **Bandeira Vermelha Patamar 1:** Neste momento as condições são mais custosas e mais térmicas são ligadas a rede, é acrescentado R\$ 0,030 a cada kWh consumido na tarifa final do consumidor, o custo das térmica mais cara é maior que 422,56/MWh e inferior a R\$ 610,00/MWh;
- **Bandeira Vermelha Patamar 2:** Para este caso as condições de geração estão péssimas e ainda mais térmicas são ligadas as rede acrescentando R\$ 0,050 a cada kWh consumido na tarifa final do consumidor, o custo da térmica mais cara é maior que R\$ 610,00/MWh.

## 2.12 Grupos de Consumidores de Energia

Existem dois grupos de consumidores regulamentados pela ANEEL, são eles os consumidores do grupo A e do grupo B, alta tensão e baixa tensão respectivamente, em cada grupo existem subgrupos que estão mostrados na Tabela 1 e ma Tabela 2.

## 2.13 Modalidade Tarifária Baixa Tensão

Para consumidores de classe B, ou seja, para aqueles atendidos em baixa tensão (127 V ou 220 V), existe dois tipos de modalidades tarifárias a chamada de tarifa monômnia e a tarifa branca,

Tabela 1: Subgrupos do Grupo A

Subgrupo	Tipo de Unidade Consumidora
A1	Atendimento em tensão igual ou superior a 230kV
A2	Atendimento em tensão de 88 kV a 138 kV
A3	Atendimento em tensão de 69 kV
A4	Atendimento em tensão de 2,3 kV a 25 kV
AS	Atendimento em tensão inferior a 2,3 kV (Subterrâneo)

Tabela 2: Subgrupos do Grupo B

Subgrupo	Tipo de Unidade Consumidora
B1	Residencial e Residencial Baixa Renda
B2	Rural, cooperativa de Eletrificação Rural e Serviço Público de Irrigação
B3	Indústria, Poderes Públicos, Serviços Públicos, Iluminação Pública e demais cargas
B4	Iluminação Pública (Rede de Distribuição)

ambas possuem a sua diferença na forma como é cobrada a sua potência ativa e este é o único custo (sem contar os impostos ou adicionais de bandeira) que esse tipo de consumidor tem, já que não há a cobrança por consumo excessivo de energia reativa ou uma contratação de demanda.

### 2.13.1 Tarifa Monômnia

Esta tarifa é aplicada a consumidores do subgrupo B, sendo a mais usual para consumidores residenciais, qualquer consumidor do grupo B pode aderir a este tipo de tarifa. Para o consumidor que se enquadra nesta tarifa tem sua conta composta pelo total consumo de energia ativa consumida durante o período de tarifação vezes o custo da tarifa do kWh. A equação base que representa este consumo é representada abaixo na equação 7.

$$CustoAtiva_{Monômnia} = A_{ativa} \times T_{arifa} \quad (7)$$

No qual:

- $A_{ativa}$  é o soma do consumo da energia ativa em kWh durante o período de medição;
- $T_{arifa}$  é a tarifa para energia ativa em reais/kWh;

### 2.13.2 Tarifa Branca

Esta tarifa está em fase de implementação desde o dia 1º de Janeiro de 2018 regulamentada pela norma da ANEEL de número 733 [8] para consumidores com consumo superior a 500 kWh por mês, será ampliada para consumidores com consumo superior 250 kWh por mês em 2019 e até 2020 será possível sua adesão por qualquer tipo de consumidor. Nela a forma como é cobrada o valor da potência é diferente da tarifa monômnia possuindo 3 tipos de tarifas dependente dos horários de consumo, são eles o horário fora de ponta, o horário intermediário e o horário de ponta. O valor das tarifa do horário de ponta é cinco vezes o valor da tarifa fora de ponta e o valor da tarifa do horário intermediário é três vezes o valor da tarifa em horário fora de ponta (ANEEL, 2015)[9].

$$CustoAtiva_{Branca} = A_P \times TA_P + A_B \times TA_B + A_{FP} \times TA_{FP} \quad (8)$$

No qual:

- $A_P$  é o soma do consumo da energia ativa em kWh durante o período de medição no horário de ponta;
- $A_B$  é o soma do consumo da energia ativa em kWh durante o período de medição no horário intermediário;
- $A_{FP}$  é o consumo da energia ativa em kWh durante o período de medição fora do horário de ponta;
- $TA_P$  é a tarifa para energia ativa consumida em R\$/kWh no horário de ponta;
- $TA_{FP}$  é a tarifa para energia ativa consumida em R\$/kWh no horário intermediário;
- $TA_{FP}$  é a tarifa para energia ativa consumida em R\$/kWh no horário fora de ponta;

## 2.14 Modalidades Tarifárias Consumidores Classe A

Para consumidores da classe A existem 2 tipos usados pela Energisa e regulamentados pela ANEEL, estas são a Tarifa Azul e a tarifa Verde, elas diferem no valor no qual é calculado a demanda, entretanto as outras parcelas da conta são calculadas da mesma forma, são elas: consumo de energia ativa, custo com excesso de reativos e os impostos estaduais, municipais e federais.

### 2.14.1 Custo da Demanda na Tarifa Azul

Nesta modalidade tarifária há tipos distintos de tarifas para dois tipos de demandas de potência ativa referentes aos horários de ponta e fora de ponta. O valor de demanda e o limite da demanda é algo feito em contrato entre a distribuidora de energia e entre a unidade consumidora e o cálculo do valor a ser acerca da demanda contratada é feito a partir da equações 9 (Procell, 2011) [11]. As tarifas podem ser contratadas de modo a terem valores distintos para os períodos secos e para os períodos úmidos.

$$CustoDemanda_{Azul} = D_P \times TD_P + D_{FP} \times TD_{FP} \quad (9)$$

No qual:

- $D_P$  é a demanda contratada de energia ativa no horário de ponta em kW;
- $D_{FP}$  é a demanda contratada de energia ativa no horário fora de ponta em kW;
- $TD_P$  é a tarifa para a demanda contratada referente ao horário de ponta em R\$/kW;
- $TD_{FP}$  é a tarifa para a demanda contratada referente ao horário fora de ponta em R\$/kW;

### 2.14.2 Custo da Demanda na Tarifa Verde

Nesta modalidade também há diferentes tipos de tarifação para o consumo de energia ativa nos horários de ponta e fora de ponta, entretanto há apenas uma tarifação relacionada a demanda de energia ativa. O cálculo do gasto com consumo de energia ativa e com o valor da demanda para a tarifa verde é feita a respectivamente a partir das equações e 10

$$CustoDemanda_{Verde} = D \times TD \quad (10)$$

No qual:

- $D$  é a maior demanda de potência de energia ativa medida durante o período de tarifação, ela é medida em kW;
- $TD$  é a tarifa para a demanda contratada em R\$/kW;

### 2.14.3 Custo da Demanda de Ultrapassagem

Ainda há um custo que pode ocorrer para ambas as tarifas caso a demanda medida, no horário de ponta ou no horário fora de ponta, seja maior do que a contratada. Neste caso será pago um valor três vezes maior para cada kW excedido na demanda medida, este cálculo é feito tal qual mostrado abaixo na equação 11.

$$CustoUltrapassagem = (Demanda_{Medida} - Demanda_{Contratada}) \times 3 \times Tarifa_{Demanda} \quad (11)$$

### 2.14.4 Custo do Consumo de Energia Ativa

A forma como se calcula o gasto total em reais do consumo da energia ativa para os consumidores do grupo A (alta tensão) é diferente das duas modalidades tarifárias dos consumidores do grupo B (baixa tensão). Aqui existem dois tipos de horários, o horário fora de ponta e o horário de ponta e cada um dos horários possui uma taxa distinta, diferentemente da modalidade branca, não há um horário intermediário. Para ambas as tarifas o consumo de energia ativa é calculado da mesma forma como mostrado pela equação 12.

$$CustoAtiva_{Azul/Verde} = A_P \times TA_P + A_{FP} \times TA_{FP} \quad (12)$$

No qual:

- $A_P$  é o soma do consumo da energia ativa em kWh durante o período de medição no horário de ponta;
- $A_{FP}$  é o consumo da energia ativa em kWh durante o período de medição fora do horário de ponta;
- $TA_P$  é a tarifa para energia ativa consumida em R\$/kWh no horário de ponta;
- $TA_{FP}$  é a tarifa para energia ativa consumida em R\$/kWh no horário fora de ponta;

### 2.14.5 Custo da Energia Reativa Excedida

A ANEEL regulamente através da Resolução Normativa N° 569 de 23 de Julho de 2013 (ANEEL, 2013) [6] que o fator de potência mínimo para se ter em uma unidade consumidora é o de 0,92 indutivo ou capacitivo e que acontecendo a medição de um fator de potência abaixo do mesmo o local será multado pelo consumo excessivo de reativos. De acordo com a mesma norma não deve ser aplicada este tipo de taxa para consumidores do grupo B. A forma como se é cobrada o consumo por energia reativa excedente é tal igual a equação 13.

$$CustoReativa_{Azul/Verde} = \sum_{T=1}^N \left[ Ativa_T \left( \frac{f_r}{f_t} - 1 \right) \right] T_{Reativa} \quad (13)$$

No qual:

- $N$  é o período de faturamento;
- $Ativa_T$  é o soma do consumo da energia ativa em kWh para cada hora em kWh;
- $f_r$  é fator de potência de referência, que nesse caso é 0,92;
- $f_t$  é o fator de potência medido em cada hora;
- $T_{Reativa}$  é a tarifa para energia reativa consumida em Reais/kWh ;

Analisando a equação pode-se perceber que a cobrança pela energia ativa excedida acontece como uma cobrança da energia ativa, ou seja, quanto maior seu consumo de energia ativa maior será o valor pago caso seja medido um valor de fator de potência menor do que o de referência.

## 2.15 Contribuição para Financiamento da Seguridade Social e Programa de Integração Social

A Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e o Programa de Integração Social (PIS) são dois dos impostos federais cobrados na conta de energia, eles possuem alíquotas variáveis de acordo com o mês. Estas alíquotas são pagas com base no consumo de energia ativa (no horário de ponta e no horário fora de ponta), no consumo excessivo de reativos, na demanda medida e na demanda ultrapassada.

## 2.16 Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS)

O imposto sobre circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) incide sobre atividades onde há a circulação de mercadorias e sobre prestações de serviços de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação. Ele é de Competência dos estados brasileiros e do Distrito Federal de modo que cada um dos estados regulamenta quais os tipos de alíquotas. Na Paraíba a Lei de nº 6379 (PARAÍBA, 1996) [14] regulamenta quais as alíquotas que cada um dos serviços devem fornecer. A partir desta lei a Energisa elaborou uma tabela resumindo as alíquotas de acordo com as classes de consumidores e com o consumo do mesmo, a tabela pode ser visto na tabela [3]. Em unidades públicas federais não se é pago o ICMS diretamente na conta, este valor é pago diretamente pela Energisa.

Tabela 3: Tabela ICMS Energia Elétrica (Energisa, 2018) [16]

Classe	Faixa (kWh)	Alíquota
COMERCIAL	Até 100	17%
	De 100 a 300	20%
	Acima de 300	25%
INDUSTRIAL	Até 100	17%
	De 100 a 300	20%
	Acima de 300	25%
PODER PÚBLICO	Até 100	17%
	De 100 a 300	20%
	Acima de 300	25%
RESIDENCIAL	Até 50	ISENTO
	50 a 100	25%
	Acima de 100	27%
SERVIÇO PÚBLICO	Até 100	17%
	De 100 a 300	20%
	Acima de 300	25%

## 2.17 Contribuição de Iluminação Pública (CIP)

A contribuição de iluminação pública entrou em vigor desde a Emenda Constitucional N° 39 de 19 de Dezembro de 2002, esta regulamenta que os municípios e o Distrito Federal podem instituir uma contribuição, desde que aprovada em lei, para o custeio da iluminação pública (Brasil, 2002) [12]. Em Campina Grande a lei que regulamenta é a iluminação pública atualmente é a 5401 de Dezembro de 2013 (Campina Grande, 2013) [13], ela regulamenta que os consumidores residenciais (a maior parte dos consumidores do grupo B) paguem uma contribuição de 18% sobre o seu consumo de energia ativa na qual o valor máximo será de R\$65,00 e que os consumidores não residenciais (maior parte dos consumidores do grupo A), paguem uma contribuição de 20% sobre o seu consumo de energia ativa na qual o valor máximo será de R\$300,00.

## 2.18 Conta de Energia Elétrica dos consumidores da Classe A sem Impostos

A conta final para os consumidores de alta tensão é obtido através da soma das equações 9,10, 11, 12, 13 de modo que é representado pela equação 14:

$$Custo_{FinalClasseA} = Custo_{Ativa} + Custo_{Demanda} + Custo_{Reativa} + Custo_{Ultrapassagem} \quad (14)$$

Na qual:

- $Custo_{Ativa}$  é referente ao consumo de energia ativa e é encontrado pela equação 12;
- $Custo_{Demanda}$  é referente ao tipo de tarifa que será utilizado e será utilizada a equação 9 para a tarifa Azul e a equação 10 para a Tarifa Verde;

- $Custo_{Reativa}$  é referente ao consumo de energia reativa excedido e representado pela equação 13;
- $Custo_{Ultrapassagem}$  é referente a medição de uma demanda maior do que a contratada sendo representado pela equação 11.

## 3 Materiais e Métodos

Nesta seção será apresentado o projeto o qual o presente trabalho está inserido, como é feita a medição e o armazenamento dos parâmetros medidos, quais programas foram utilizados para processar os dados e a metodologia para tal.

### 3.1 Projeto Scike Paraíba

O presente trabalho é uma das resultado do projeto Scike Paraíba (Scike Paraíba, 2018) [17]. Este projeto é uma parceria entre empresas alemãs do convênio SCIKE e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), a Prefeitura Universitária da UFCG e a Universidade Federal da Paraíba (UFPB) de forma a desenvolver soluções tecnológicas com o objetivo de monitorar, reduzir o consumo de energia elétrica.

O projeto desenvolveu uma medidor de energia elétrica capaz de medir parâmetros da rede elétrica ao qual estiver conectado são eles: potência ativa, potência reativa e fator de potência. Estes dados são enviados para um servidor pela internet que armazena os dados.

Para realizar o seu objetivo o projeto busca colocar um medidor em cada um dos prédios da UFCG de modo a entender o seu consumo para assim poder propôr melhorias em conjunto com a equipe da Prefeitura Universitária da UFCG, além de auxiliar a equipe de manutenção da mesma a desempenhar as suas atividades.

### 3.2 Medidor de Energia Elétrica

O medidor de energia elétrica é composto de 4 Partes: a placa de aquisição dos dados, o Arduino uno, o ESP8266, e um Disjuntor Diferencial Residual (DR). Cada um deles tem um papel no medidor. Uma foto do medidor que estava para ser instalado pode ser visto em 3.1.

#### 3.2.1 Placa de Medição de Dados

O medidor utiliza uma placa de montagem capaz de medir tensão e seu ângulo instantâneos, a corrente e seu ângulo instantâneos, além do fator de potência de cada uma das três fases. O chip capaz de calcular estes parâmetros é o Atmel M90E36A [18]. Para a medição de corrente utilizam-se transformadores de corrente de acordo com a bitola do fio que será medido. Uma foto da placa antes de ser montada é apresentado em 3.2, na foto há o chip em conjunto do ESP8266.

#### 3.2.2 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica que utiliza um microcontrolador da família Atmel para controlar pinos de entrada e saída para receber e enviar sinais analógicos ou digitais , o tipo do

Figura 3.1: Medidor de energia elétrica feito pelo projeto SCIKE Paraíba

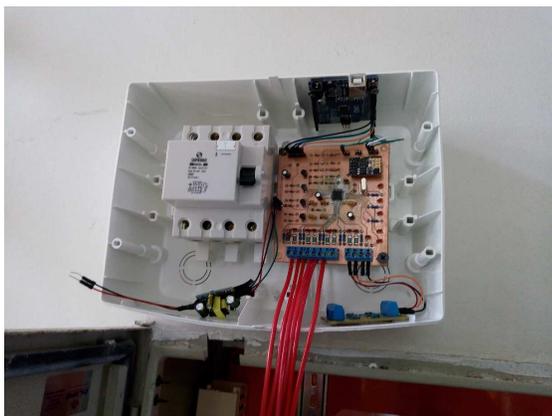
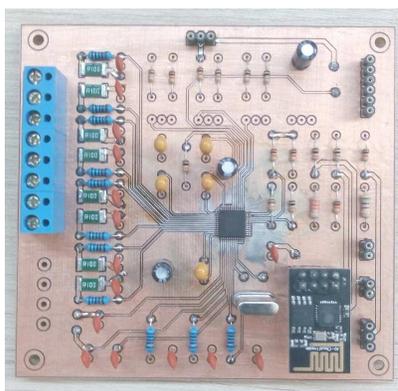


Figura 3.2: Placa de aquisição de dados com o chip Atmel M90E36A em conjunto com o ESP8266



Arduino utilizado é o Arduino Uno que utiliza o chip ATMEGA328 [19]. Ele tem o papel de: fazer a leitura das saídas do chip M90E36A realizando correções quando necessário, calcular os valores rms das variáveis e enviar os dados para o ESP 8266. Ele calcula os valores médios da potência ativa, potência reativa e fator de potência de cada fase por 1 min antes de enviá-los para o ESP8266, de forma que as leituras que sejam adquiridas são a média daquele valor em minuto. Uma foto com um dos modelos de Arduino Uno que foram utilizados nos medidores se pode ser visto na figura 3.3.

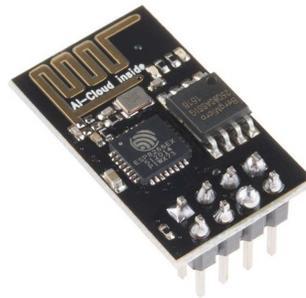
Figura 3.3: Um dos modelos de Arduino Uno disponíveis no mercado [19]



### 3.2.3 Módulo Wifi ESP8266

O ESP8266 é um sistema-em-um-chip que oferece recursos para se conectar com o Wi-fi, o módulo que foi utilizado no projeto foi o ESP-01. Este componente tem como função receber os dados mandados pelo Arduino e os enviá-los para um servidor através da rede de Wi-Fi, este servidor é o local onde estão sendo armazenados os dados. Uma ilustração do mesmo pode ser visto em 3.4. Os dados enviados pelo ESP8266 são enviados a cada minuto no momento que o mesmo recebe os dados do Arduino.

Figura 3.4: ESP8266 modelo ESP-01



### 3.2.4 Disjuntor Diferencial Residual

O DR é um dispositivo que desarma em caso de fuga de corrente, que pode acontecer em caso de choque. No medidor ele tem a função de proteger a pessoa que estiver manuseando qualquer um dos equipamentos que compõe o medidor(Arduino, Placa, ESP82666) de sofrer um choque, um exemplo de DR pode ser visto na figura 3.5.

Figura 3.5: Exemplo de Disjuntor Diferencial Residual



### 3.3 Processamento dos dados

O servidor recebe os dados pela rede e os salva num arquivo de extensão csv que é atualizada a cada medição. Os dados salvos no arquivo csv são os valores de potência ativa (em watt), de potência reativa (em var) e de fator de potência de cada fase além disso também é salvo com a data e o horário em que foi enviado estas informações. Para se processar os dados foram utilizados dois programas: o Microsoft Office Excel 2013 e o Matlab na sua versão 2015b.

O Microsoft Office Excel foi utilizado na parte de pré-processamento para organizar os dados e facilitar a importação pelo Matlab, além disso foram retiradas algumas medições que estavam incompletas e não tinham todas as informações de cada fase. Somando estes tipos de erros de medição, problemas de rede e manutenções que foram feitas no medidor houver uma perda média e perdia 5.47% das medições o que não causou tanto impacto no trabalho.

O Matlab foi o programa responsável por importar estes dados organizados e processá-los de modo a gerar gráficos e tabelas, bem como o responsável por calcular o kWh, o varh de cada hora e o fator de potência horário quantificando quanto o prédio pagaria por cada um deles a partir das equações 12 e 13, além disso também foi calculado quanto é a demanda média no prédio e quantificado quanto o prédio pagaria por tal utilizando as equações 9, 10, também seria utilizado a equação 11 para o cálculo de demanda ultrapassada.

### 3.4 Metodologia para Identificação dos Parâmetros Tarifáveis

Para o cálculo do kWh de cada hora foi-se calculado o valor médio da potência ativa durante o período de 30 min de uma determinada hora até o minuto 29 da hora posterior (totalizando 60 min ou 1 h) utilizando os valores medidos a cada minuto, foram-se separados a energia ativa dos períodos em horário de ponta e da energia ativa em horário de ponta. Não é calculado a potência média em uma hora do minuto 0 até o minuto 59 pois o intervalo utilizado é o que torna possível o cálculo correto do consumo no horário de ponta, este que para a Energisa Borborema é de 17:30 até as 20:30 (Energisa, 2018) [7] e para se ter o intervalo correto de 1h utilizou o começo do intervalo no minuto 30 e o final do intervalo no minuto 29.

Para o cálculo do fator de potência em cada hora foi primeiro calculado o valor do varh de cada hora, este que foi feito de maneira idêntica ao cálculo do kWh, ou seja, foi-se calculado o valor médio da potência reativa durante o período de 30 min de uma determinada hora até o minuto 29 da hora posterior utilizando os valores medidos a cada minuto. Obtendo-se o valor do consumo médio de energia ativa e energia reativa a cada intervalo de uma hora foi-se calculado o fator de potência a partir da equação 15 que pode ser derivada da equação 6.

$$fp_h = \frac{P_h}{\sqrt{P_h^2 + Q_h^2}} \quad (15)$$

Onde:

- $fp_h$  é o fator de potência calculado em um intervalo de uma hora;
- $P_h$  é o energia ativa em Wh calculado em um intervalo de uma hora;
- $Q_h$  é o energia reativa em varh calculado em um intervalo de uma hora;

Para encontrar a demanda medida do prédio em cada mês foi calculada a potência ativa média a cada 15 min nos intervalos de tempo: do minuto 0 até o minuto 14, do minuto 15 até o minuto 29, do minuto 30 até o minuto 44 e do minuto 45 até o minuto 59 de todas as horas após isso foi feito um ordenamento de forma a encontrar os maiores valores de cada um dos meses analisados e os maiores de cada mês seriam as demandas medidas. Para o cálculo da demanda contratada do prédio foi calculada de forma a ser 110% maior vezes o valor da demanda média entre os 5 valores que foram medidos, este valor adotado foi empírico e se baseia no fato de que a taxa da demanda ultrapassada é 3 vezes maior do que da demanda contratada, fazendo assim com que seja melhor pagar um valor um pouco mais caro do que que seria se fosse adotado a média para que seja bem menos comum ultrapassar este valor.

### 3.5 Informações Tarifárias da UFCG

A Prefeitura Universitária da UFCG disponibilizou as contas de energia elétrica de Março, Abril, Maio e Junho de forma a analisar quais os valores das taxas que são cobrados a UFCG, um exemplo delas é a figura 3.6 que foram utilizadas para verificação de parâmetros tarifários da UFCG. Não há contratos entre a UFCG e a Energisa Paraíba de acordo com o setor de contratos da universidade e a única forma de visualizar as taxas cobradas é pela conta de energia elétrica.

Figura 3.6: Conta de Energia Elétrica referente ao mês de Março da UFCG Campus Central

CCO Descrição	Quantidade	Tarifa s/ Tributos	Tarifa c/ Tributos	Valor Total (R\$)	Base Calc. ICMS (R\$)	Alíq. ICMS	ICMS	Base Calc. IPI/PSICOPIS (R\$)	IPI/PSICOPIS (R\$) (1.1427%)	COP/IGDPA	COP/IGDPA (%)
0801 Consumo em kWh - Ponta	43.400,000	1.335860	1.900960	84.659,33	84.659,33	25	21.164,83	84.659,33	964,33	4.533,84	
0801 Consumo em kWh - Fora Ponta	428.400,000	0.282330	0.412290	176.616,26	176.616,26	25	44.154,06	176.616,26	2.053,52	9.459,52	
0801 Energia Reativa Exced em kWh - Ponta	1.400,000	0.267770	0.391000	547,41	547,41	25	139,85	547,41	6,36	29,31	
0801 Energia Reativa Exced em kWh - F.ponta	11.200,000	0.267770	0.391000	4.379,29	4.379,29	25	1.094,82	4.379,29	50,92	234,53	
0802 Demanda de Potência Média - Fora Ponta	1.750,000	12.450000	18.179980	32.578,53	32.578,53	25	8.144,63	32.578,53	378,79	1.744,71	
0802 Demanda Potência Ativa - Ultrap - F.Ponta	92,000	24.900000	36.359970	3.345,11	3.345,11	25	836,29	3.345,11	38,59	179,14	
LANÇAMENTOS E SERVIÇOS				300,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0807 CONTRIB LUM PUBLICA				282,70	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0804 AJROS DE MORA 01/2018				3.392,40	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0805 MULTA 01/2018				-5.095,16	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0903 IMP. RENDA (-) 03/2018				-3.058,01	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0903 CONT. SOCIAL (-) 03/2018				-9.174,03	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0903 COFINs (-) 03/2018				-1.987,70	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0903 PIS/PASEP (-) 03/2018					0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Total</b>				<b>296.786,13</b>	<b>302.125,93</b>		<b>75.531,48</b>	<b>302.125,93</b>	<b>3.512,81</b>	<b>16.180,05</b>	

Analisando as contas de energia elétrica da UFCG foram encontradas algumas informações acerca do enquadramento tarifário da UFCG, da demanda contratada, além de informações acerca das taxas referentes ao preço do kWh em horário de ponta, preço do kWh em horário fora de ponta, preço do kWh para energia reativa excedida, preço do kW da demanda contratada, todas essas informações estão na tabela 4.

Tabela 4: Informações das Tarifas da UFCG Referentes a Conta de Energia Elétrica

<b>Características das Tarifas de Energia Elétrica da UFCG</b>	
<b>Modalidade Tarifária</b>	Verde
<b>Classe</b>	A4
<b>Sub Grupo</b>	Demais Classes (69 kV)
<b>Preço kWh (ponta)</b>	1,335860
<b>Preço kWh (fora ponta)</b>	0,282330
<b>Preço Energia Reativa Excedida (kWh)</b>	0,267770
<b>Demanda Contratada (kW)</b>	1700

Ao se analisar as contas de energia elétrica do campus central da UFCG e o preço informado no site da Energisa constatou-se que a classe encontrada na mesma foi a Poder Público-Poder Público Federal que se enquadra na tabela 1 na parte como Demais Classes.

Na conta mostrado na figura 3.6 e nas demais (ANEXO 1) não há uma clara explicação sobre quais os tributos que incidem sobre as contas do poder público federal. No site da Energisa para o setor de grandes empresas (Energisa, 2018) [22] há uma página referente a tributação, impostos e outros encargos, mas ela não é clara quanto a como é calculado o valor final da conta e se as contas do poder público federal possuem algum tipo de tarifação diferenciada. Além disto em instituições públicas do serviço federal há a retenção de tributos, de forma que estas instituições possuem autonomia para reter uma parte do valor que a distribuidora pagaria ao Governo Federal em impostos ou tributos federais como o PIS e o COFINS, no caso da Energisa ela abate o valor destas restituições no valor da conta total como pode ser visto em 3.6. Estas retenções são regulamentadas pela Instrução Normativa Receita Federal do Brasil (RFB) N° 1234, de 11 de Janeiro de 2012 [23], para o PIS a alíquota é de 0.65%, para o COFINS é de 3% e para o imposto de renda é de 1.2%. Na conta há uma restituição que não utiliza estas alíquotas regulamentadas pela RFB 1234, que calcula o valor do PIS e do COFINS de uma forma, mas restitui com um valor diferente e abaixo do calculado.

Diante dessas falta de informações por parte da Energisa e de não haver um contrato para explicar mais detalhadamente a metodologia que a Energisa vem aplicando no cálculo dos tributos foi utilizado para fins de cálculo o valor sem tributação, este que é regulamentado no site da Energisa (Energisa,2018) [22]e seu valor é comprovado na conta como visto na figura 3.6.

## 4 Resultados

Nesta seção será explicado o resultado ao se aplicar os materiais e métodos com as bases de dados utilizadas de forma a se calcular a “(conta de energia)” de alguns prédios quantificando quanto os mesmos custam em reais para a UFCG e por fim compará-los com o valor total da conta de energia elétrica.

### 4.1 Tarifa Energia Elétrica - Prédio CJ

O prédio CJ localiza-se ao norte da UFCG que abriga salas de aulas, salas de professores e alguns laboratórios como o Laboratório de Radio Propagação (LARP) e o Laboratório de Proces-

samento Digitais de Sinais (LAPS). Sua localização pode ser vista na figura 4.1 no mapa da UFCG.

Figura 4.1: Mapa da UFCG com foco no Prédio CJ

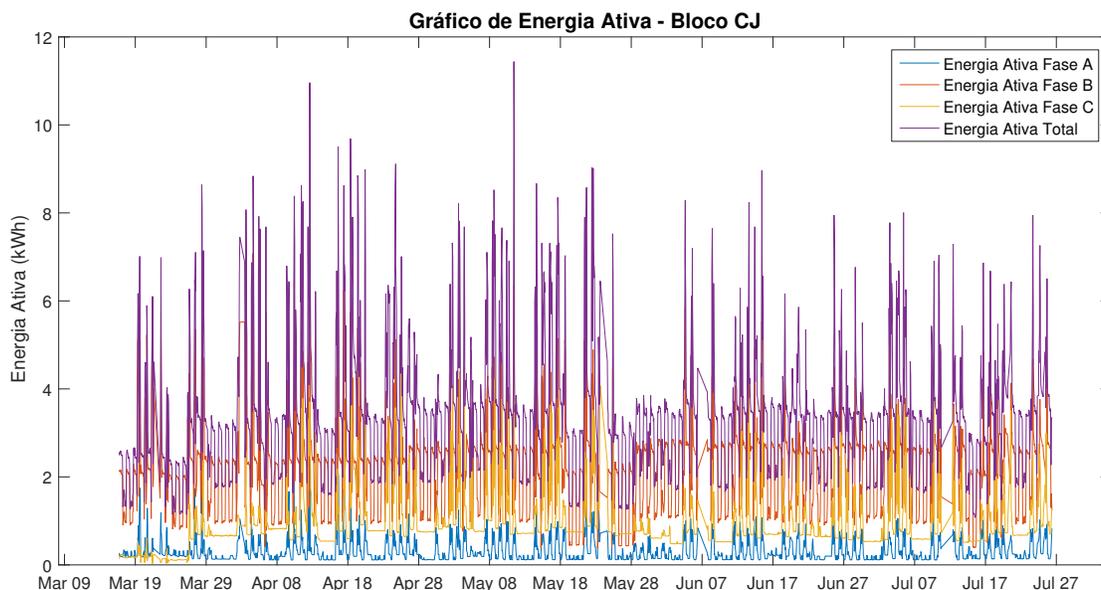


A maior parte das cargas desse prédio são computadores, iluminação e ar condicionados, além de algumas máquinas específicas de cada laboratório. Com este perfil de cargas o prédio tem um perfil de consumo de energia ativa e reativa que será explicado e detalhado. Foram coletados 179199 dados de energia ativa e reativa desde às 17:33 do dia 16/03/2018 até o 08:57 de 26/07/2018 totalizando 179199 medições, das esperadas 189564 medições caso não houvesse nenhum problema, mas devido a falhas na rede, problemas com o medidor e manutenções no equipamento não foi possível ter todos os dados, os dados não contabilizados chegam a ser 5.47% dos dados esperados, mas isto não prejudicou o resultado final do trabalho. Vale salientar que os meses de Março e Julho não possuem a medição de todos os seus dias, o medidor foi instalado apenas na metade do mês de Março e os dados foram coletados antes do final do mês de Julho, por isto eles não estão completos.

#### 4.1.1 Quantificação do Consumo de Energia Ativa

Ao se calcular a energia ativa de cada hora do prédio CJ pelo método já explicitado foi possível identificar qual o consumo em kWh de cada fase e o consumo total do prédio. Todos os dados foram desenhados na figura 4.2.

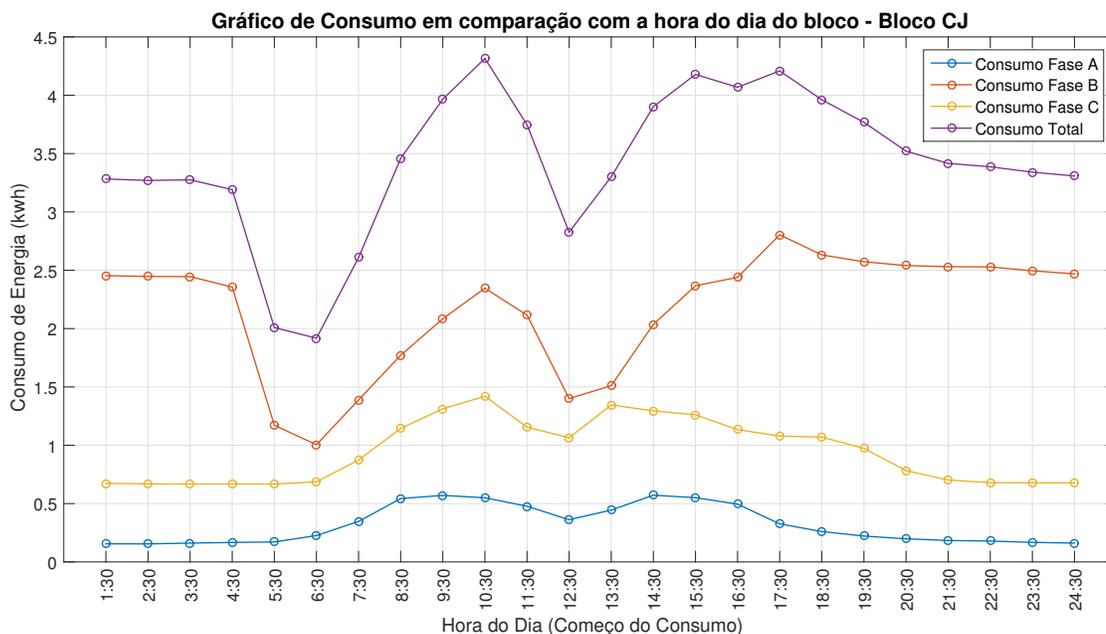
Figura 4.2: Consumo de Energia Ativa em função dos dias de consumo no prédio CJ



Com estes dados pode-se calcular o consumo médio por fase para cada hora de modo a identificar quais os intervalos de horas do dia que há o maior consumo. O resultado é mostrado na figura 4.3.

Pode-se identificar que o maior consumo para a fase A é o intervalo de 14h 30min até 15h 30min, para a fase B é o intervalo das 17h30min até 20h 30min, para a fase C é o intervalo de 10h 30min até as 11h 29min. Quando se calcula para o prédio todo o intervalo de maior consumo é o das 10h 30min até as 11h 9min, o segundo intervalo de maior consumo é o intervalo de 17h 30 min até 18h 29 min com, este intervalo é no horário de ponta então seu impacto na conta da UFCG é maior do que os outros.

Figura 4.3: Consumo de Energia Ativa médio para cada hora de consumo no prédio CJ



Além de identificar o consumo de acordo com o horário partir dos dados totais do consumo de energia ativa foi possível separar em consumo nos horários de ponta e nos horários fora de ponta e quantificar quanto cada um custou, para os preços dos kWh hora em ponta e fora do horário de ponta foram adotados o valores da tabela 4, ou seja 1,3335860 R\$/kWh para o horário de ponta e 0,28330 R\$/kWh para horário fora de ponta e foi multiplicado a estes valores o total de kWh consumido em horário de ponta e em horário fora de ponta respectivamente, o resultado é mostrado na Tabela 5, percebe-se que o mês de maior gasto com o consumo de energia ativa para o prédio CJ foi o de Maio, em seguida por Abril totalizando R\$1.161,41 e R\$ 1.096,62 respectivamente.

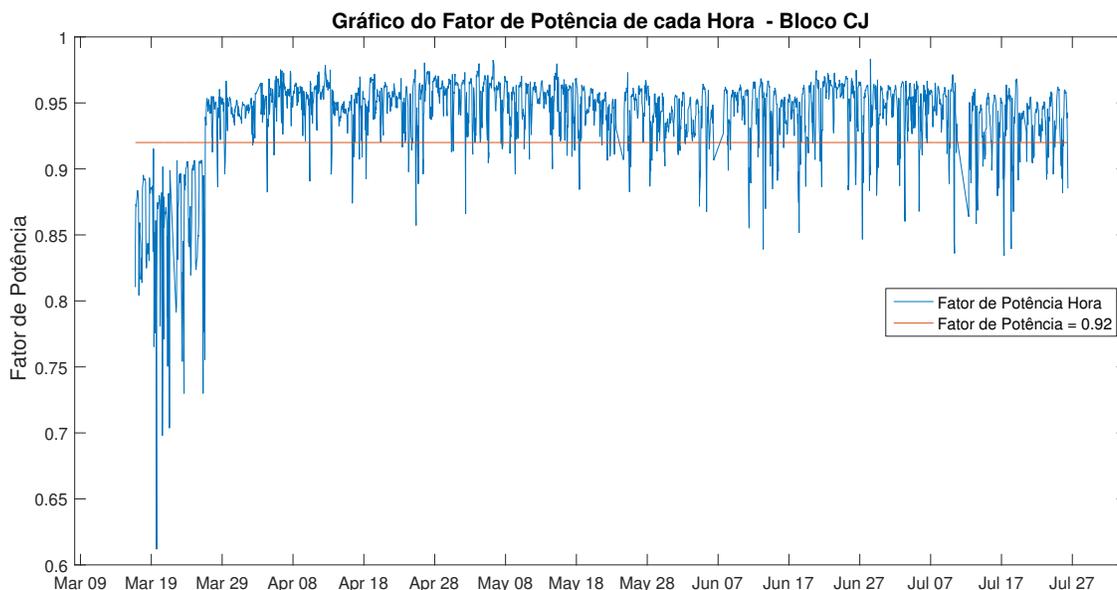
Tabela 5: Total do consumo de Energia Ativa nos horários de Ponta e Fora de Ponta do prédio CJ

<b>Energia Ativa Prédio CJ</b>		
<b>Meses</b>	<b>Energia Ativa Ponta (kWh)</b>	<b>Custo Ativa Ponta (R\$)</b>
<b>Março</b>	130,94	174,91
<b>Abril</b>	354,80	473,96
<b>Mai</b>	408,42	545,59
<b>Junho</b>	328,07	438,26
<b>Julho</b>	290,37	387,89
<b>Meses</b>	<b>Energia Ativa Fora Ponta(kWh)</b>	<b>Custo Ativa Fora Ponta (R\$)</b>
<b>Março</b>	807,23	227,91
<b>Abril</b>	2205,42	622,66
<b>Mai</b>	2181,19	615,82
<b>Junho</b>	1970,19	556,24
<b>Julho</b>	1592,75	449,68
<b>Meses</b>	<b>Consumo Energia Ativa Total (kWh)</b>	<b>Custo Energia Ativa Total(R\$)</b>
<b>Março</b>	938,17	402,82
<b>Abril</b>	2560,22	1096,62
<b>Mai</b>	2589,61	1161,41
<b>Junho</b>	2298,26	994,51
<b>Julho</b>	1883,11	837,57

#### 4.1.2 Quantificação do Consumo Excessivo de Energia Reativa

Para quantificar o consumo excessivo de energia reativa foi feita uma análise sobre o fator de potência de cada hora de modo a quantificar quais os horários que possuem um fator de potência menor do que 0,92, uma forma de ver melhor isto é visto na figura 4.4, foi feito uma linha que representa o valor 0,92 e todos os valores abaixo desta linha são taxados proporcionalmente de acordo com a equação 13.

Figura 4.4: Fator de Potência de Cada Hora em Função do Horário e Dia ocorrido



Aplicando a equação 13 em todos os valores presentes na figura 4.4 e que possuem um valor menor que 0,92 foi obtido o resultado mostrado na tabela 6. Vale salientar que esta conta é relativa apenas ao prédio CJ e caso fosse o intuito encontrar os horários em que há consumo excessivo de reativos seria necessário uma base de dados de mais blocos para que esse resultado fosse mais preciso.

Tabela 6: Total do consumo de Energia reativa excessiva no prédio CJ

<b>Energia Reativa Prédio CJ</b>		
<b>Meses</b>	<b>Consumo Excesso Reativos (kWh)</b>	<b>Custo Energia Reativa Total(R\$)</b>
<b>Março</b>	41,31	11,06
<b>Abril</b>	2,83	0,76
<b>Mai</b>	2,83	0,76
<b>Junho</b>	8,57	2,30
<b>Julho</b>	9,70	2,60

## 4.2 Estimação da Demanda do Prédio Custo Total

A demanda de cada uma dos intervalos do dia foi calculada conforme descrito na seção de materiais e métodos, foi-se então encontrada a maior demanda medida nos meses e estes valores estão mostrados na tabela 7.

A partir das demandas dos prédios foi estimada uma demanda contratada do prédio igual a 110% do valor da demanda média, aproximando este cálculo para o cálculo real resulta numa

demanda contratada de 12 kW(Tabela 7). Utilizando esta demanda contratada foi possível estimar a demanda ultrapassada em cada um dos meses, o resultado dessa análise se encontra na tabela 7, o que resultou em apenas um mês com demanda ultrapassada.

Tabela 7: Demandas Medidas prédios CJ

<b>Demandas Medida Mensal do Prédio CJ</b>		
<b>Meses</b>	<b>Demanda Medida (kW)</b>	<b>Demanda Ultrapassada (kW)</b>
<b>Março</b>	11,084	0
<b>Abril</b>	12,312	0,312
<b>Maió</b>	11,615	0
<b>Junho</b>	10,081	0
<b>Julho</b>	9,622	0
<b>Demanda Contratada</b>	12 kW	

Utilizando os valores de demanda contratada e de demanda ultrapassada pode-se calcular quanto foi o custo total do prédio em relação a demanda utilizando as equações 10 e 11. O resultado é mostrado na tabela 8

Tabela 8: Custo das Demandas Medidas no Prédio CJ em cada Mês

<b>Custo da Demanda Medida do Prédio CJ</b>			
<b>Meses</b>	<b>Custo Demanda(R\$)</b>	<b>Custo Demanda Ultrapassada (R\$)</b>	<b>Custo Total Demanda (R\$)</b>
<b>Março</b>	149,4	0	149,40
<b>Abril</b>	149,4	11,65	161,05
<b>Maió</b>	149,4	0	149,40
<b>Junho</b>	149,4	0	149,40
<b>Julho</b>	149,4	0	149,40

### 4.3 Custo Total do Prédio CJ

Utilizando os valores de custo da potência ativa (Tabela 5), do custo por consumo excessivo de reativos (Tabela 6) e do custo por demanda estimada obteve-se a tabela 9 e o valor total pago por mês no Prédio. É importante frisar calculado foi obtido com a tarifa sem cálculo dos impostos e que o valor pago com a tarifa calculada com tarifa acrescida dos impostos é maior. Pode ser notado que no mês de Maio e Abril foram os meses de maiores gastos no prédio, além de terem sido os meses que mais gastaram com potência ativa. Os meses de Março e Julho obtiveram os menores gastos pois os mesmos não compreendem todos os dias do mês.

Tabela 9: Custo Total do Prédio CJ em cada Mês

<b>Custo Total do Prédio CJ</b>	
<b>Meses</b>	<b>Custo (R\$)</b>
<b>Março</b>	563,28
<b>Abril</b>	1258,43
<b>Mai</b>	1311,57
<b>Junho</b>	1146,20
<b>Julho</b>	989,57

#### 4.4 Impacto de Consumo do Prédio em Relação ao Campus Central da UFCG

Ao se analisar as contas do campus central da UFCG foi possível calcular o seu valor a para uma tarifa sem impostos de modo a se comparar com a tarifa do prédio CJ e calcular qual o impacto que o prédio CJ tem na tarifa da UFCG, foram utilizados apenas os dados dos meses de Abril, Maio e Junho pois nestes meses existem medições de todos os dias, o mês de julho não utilizado, mesmo possuindo dados de quase todos os dias devido a conta da UFCG com o consumo em kWh ainda não ter sido entregue no momento em que este trabalho é finalizado. O resultado com a comparação entre o valor gasto pelo prédio CJ e pela UFCG pode ser na tabela 10.

Tabela 10: Comparação entre o Custo Total da UFCG e do Prédio CJ

<b>Comparação do Prédio CJ com a UFCG</b>			
<b>Meses</b>	<b>Custo UFCG (R\$)</b>	<b>Custo CJ (R\$)</b>	<b>Impacto na Conta (%)</b>
<b>Abril</b>	185177,65	1258,43	0,68
<b>Mai</b>	181331,13	1311,57	0,72
<b>Junho</b>	174611,68	1146,20	0,66

Analisando a tabela pode-se encontrar os seguintes resultados: o custo do prédio CJ no mês de Junho foi o menor se comparado aos outros dois. O consumo do prédio CJ foi maior no mês de maio quando o consumo na UFCG diminuiu. Considerando que são em média 93 prédios na UFCG conectados a entrada, portanto se cada um dos prédios dessem a sua contribuição igualmente todos teriam uma contribuição de 1,075%, com base nisso pode-se afirmar que a contribuição do impacto na conta da UFCG é pelo prédio CJ é menor do que o que se esperaria, já que a contribuição média da mesma na conta é igual a 0,69%.

## 5 Conclusão

No curso de engenharia elétrica há apenas uma disciplina do ciclo básico que trabalha a tarifação de energia elétrica, a disciplina de instalações elétricas, ela explora seus conceitos superficialmente mas consegue explicar o necessário para que seja possível entender as informações contidas na conta, mas não explica os detalhes acerca de cada um dos parâmetros tarifáveis.

No decorrer deste trabalho foi realizado um compilado de informações acerca da tarifação energética na fundamentação teórica de modo que todas as informações necessárias para se entender a maior parte dos parâmetros tarifários de uma conta de energia elétrica para os consumidores dos grupos B (enquadrados na tarifa branca ou na tarifa monômnia) e para os consumidores do grupo A (enquadrados na tarifa azul ou verde). Além de todos os impostos que são pagos na conta de energia elétrica.

Foi contextualizado que este trabalho de conclusão de curso está inserido num projeto maior, o SCIKE Paraíba, que busca encontrar formas de melhorar a eficiência de energia elétrica na UFCG, também foi explicado qual a forma com que se obtém os dados e como foram processados de modo a calcular o gasto com energia elétrica dos prédios da Universidade.

Após o cálculo dos parâmetros foi encontrado que as fases no prédio possuem diferença de consumo e que as mesmas não estão balanceadas, no qual uma fase consome bem mais energia do que as outras, também foi encontrado os dois horários de maior gasto do prédio, sendo um deles em horário de ponta e acontece no período de 17h 30min até 18h e 30min, caso este tipo de comportamento seja igual para os outros blocos da UFCG e sabendo que este é o horário de final de expediente da UFCG pode ser proposto modificar a hora de utilização dos prédios adiantando o horário de entrada e o horário de saída em uma hora de forma a não ter um horário de expediente no horário de ponta. Nos resultados também foi possível perceber que o prédio CJ contribui menos para a conta de energia elétrica da UFCG se fosse esperado que todos os prédios contribuíssem em a mesma quantidade na conta de energia elétrica de modo que uma redução no consumo de energia elétrica deste prédio unicamente não afetaria significativamente no consumo total do campus em que ele se encontra.

Como propostas de trabalho futuro estão refazer o mesmo trabalho de quantificação do gasto em reais com as bases de dados de outros prédios e comparar os gastos entre eles, com uma base de dados maior pode ser analisado se há mudança no consumo de acordo com o mês do ano e também pode ser analisado se há uma relação entre o consumo e a temperatura de cada dia. Neste trabalho também não foi utilizado o cálculo do consumo sem os impostos de modo que valeria a pena recalculá-la encontrando a taxa de energia elétrica com os impostos e encontrando quais os parâmetros que a Energisa utiliza para calcular as taxas de retenções dos impostos.

## Referências

- [1] ANEEL. *Programa de Eficiência Energética*. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2017. disponível em: <http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/> acesso em: 15 maio 2018.
- [2] GLOVER, J. D., SARMA, M. S., OVERBYE, T. J *Power System Analysis and Design*. 2008. Australia.
- [3] *Modalidades tarifárias*. disponível em: [http://www.ANEEL.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset\\_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheritRedirect=false](http://www.ANEEL.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheritRedirect=false) acesso: 04 de Junho de 2018.
- [4] ANEEL, *Resolução Normativa Nº 479, de 3 de Abril de 2012*. .
- [5] ANEEL, *Resolução Normativa Nº 414, de 9 de Setembro de 2010*..
- [6] ANEEL, *Resolução Normativa Nº 569, de 23 de Julho de 2013*. .
- [7] ENERGISA, *TARIFA BRANCA* acesso em 25 de Julho de 2018. disponível em <https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/sua-conta/tarifa-branca.aspx>.
- [8] ANEEL, *Resolução Normativa Nº 733, de 6 de Setembro de 2016*. .
- [9] PRORET, *Submódulo 7.3 TARIFAS DE APLICAÇÃO*. Procedimentos de Regulação Tarifária - ANEEL. 2015.
- [10] ANEEL, *Bandeiras Tarifárias*, 2015, Acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>.
- [11] PROCEL. *Manual de tarifação energia elétrica*. 56f. Rio de Janeiro, 2011,
- [12] BRASIL, *Emenda Constitucional nº 39 de 19 de Dezembro de 2002* Acrescenta o art. 149-A à Constituição Federal (Instituindo contribuição para custeio do serviço de iluminação pública nos Municípios e no Distrito Federal)Constituição (1988).
- [13] CAMPINA GRANDE, *Lei Municipal nº 5401, de 23 de Dezembro de 2013*, Altera Dispositivos da Lei nº4061/2002 de 30 de Dezembro de 2002, que Dispõe dos Serviços de Iluminação Pública e Dá Outras Providências, acesso em 27 de Julho de 2018, disponível em: <http://pmcg.org.br/wp-content/uploads/2014/10/LEI-DA-CIP.pdf>.
- [14] PARAÍBA, *Lei Estadual nº 6379 de 1996*. Trata do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – ICMS, e dá outras providências, acesso em 27 de Julho de 2018. disponível em <https://www.receita.pb.gov.br/ser/attachments/article/674/LEI%20%20N%C2%BA%20%206.379-96%20%20ICMS%20-%20COM%20HIST%C3%93RICO.pdf>.
- [15] BRASIL, *LEI COMPLEMENTAR Nº 70 DE 30.12.1991*, 1991, Acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em <http://www.portaltributario.com.br/legislacao/lc70.htm>.

- [16] ENERGISA, *IMPOSTOS E OUTROS ENCARGOS* acesso em 27 de Julho de 2018, disponível em <https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/impostos-outros-encargos.aspx>.
- [17] SCIKE, *Scike - Software Cluster* acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em <https://scikepb.dcx.ufpb.br/>.
- [18] ATMEL, *Enhanced Poly-Phase High-Performance Wide-Span Energy Metering IC*, Datasheet, acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-46004-SE-M90E36A-Datasheet.pdf>.
- [19] ARDUINO, *ARDUINO UNO REV3* acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
- [20] ESP, *ESP8266EX Datasheet* acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf).
- [21] ENERGISA, *TIPOS DE TARIFAS* acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em <https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/grandes-empresas/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>.
- [22] ENERGISA, *TRIBUTOS, IMPOSTOS E OUTROS ENCARGOS* acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em <https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/grandes-empresas/taxas-prazos-e-normas/tributos-impostos-encargos.aspx>.
- [23] BRASIL, *INSTRUÇÃO NORMATIVA RFB Nº 1234, DE 11 DE JANEIRO DE 2012*, acesso em 28 de Julho de 2018, disponível em <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=37200>.