



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Coordenadoria do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RAYAN LUCAS BARRETO FRANÇA

**ENERGIA NO CAMPUS I DA UFCG: DIAGNÓSTICO E
PROPOSTAS DE EFICIENTIZAÇÃO**

Campina Grande, Paraíba
Março de 2015

RAYAN LUCAS BARRETO FRANÇA

ENERGIA NO CAMPUS I DA UFCG: DIAGNÓSTICO E
PROPOSTAS DE EFICIENTIZAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos

Orientador:

Prof. Dr. Benedito Antonio Luciano

Campina Grande, Paraíba

Março de 2015

RAYAN LUCAS BARRETO FRANÇA

ENERGIA NO CAMPUS I DA UFCG: DIAGNÓSTICO E
PROPOSTAS DE EFICIENTIZAÇÃO

*Trabalho de Conclusão de
Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia
Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos
necessários para a obtenção
do grau de bacharel em
Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Sistemas Elétricos

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Prof. Dr. Benedito Antonio Luciano

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG.

Aos meus pais Manoel Henriques e Rosália Maria.

Aos meus irmãos Ítalo Máximo, Suzy Cristina e José Emanuel.

À minha namorada Amanda Martins.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me conceder essa enorme graça que é terminar um curso de nível superior. E por sempre ser lâmpada para os meus pés e luz para o meu caminho, me concedendo saúde e paz.

Aos meus pais, Manoel e Rosália, por sempre acreditarem em mim, e por todo o suporte dado para a realização dos meus sonhos.

Aos meus irmãos, Ítalo, Suzy e Emanuel, por todo amor e dedicação.

À minha namorada Amanda Martins, pela paciência, apoio e amor.

A todos os grandes amigos que ganhei durante a vida e nesses anos de UFCG, afinal, sem o apoio de cada um deles, eu não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador, Professor Dr. Benedito Antônio Luciano, pelos ensinamentos compartilhados e por sempre acreditar no meu potencial, me mostrando que sempre posso melhorar.

A toda a minha família EJC, pois vocês me apresentaram Cristo e fizeram dos meus últimos dois anos de curso os mais especiais que já tive.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

Resumo

Com o aumento da demanda mundial por energia e o apelo cada vez maior pela utilização de fontes de energia mais eficientes, o diagnóstico energético entra em cena como uma importante ferramenta de eficiência energética. A partir dessa técnica, é possível encontrar irregularidades no objeto em análise, assim como propor melhorias que gerem diminuição dos gastos com energia. Neste trabalho é apresentado o diagnóstico energético do Campus I da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), apresentando de forma sucinta um levantamento sobre algumas das mais diversas formas de energia que são utilizadas na cidade universitária. São apresentados estudos efetuados sobre o aproveitamento da energia solar e eólica no campus, além de um estudo de caso sobre o consumo mensal de combustíveis fósseis por parte dos veículos que constituem a frota da UFCG e outro estudo de caso sobre o monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica (QEE) fornecida a uma edificação da instituição.

Palavras-chave: Diagnóstico energético, Energia elétrica, Energia solar, Energia eólica, Combustíveis fósseis.

Abstract

With the global increasing of the energy demand and the increasing call for the use of more efficient sources, energy diagnosis comes into play as a major energy efficiency tool. From this technique, irregularities can be found in the object under examination, and to propose improvements that generate saves energy. This paper presents the energy diagnosis of the Campus I at Federal University of Campina Grande (UFCG), presenting succinctly a survey of some of the various forms of energy that are used in the university. Studies about the use of solar and wind on campus were performed and are presented. A case study on monthly consumption of fossil fuels by vehicles constituting the fleet UFCG and another case study on monitoring of Power Quality provided a building of the institution are also presented.

Keywords: Energy diagnosis, Electricity, Solar energy, Wind energy, Fossil fuels.

Lista de Ilustrações

Figura 1. Diagrama esquemático do fluxo energético no campus I da UFCG	14
Figura 2. Aerogerador VERNE555	16
Figura 3. Diagrama esquemático do processo de produção do hidrogênio	17
Figura 4. Cadeia de reações nucleares que ocorrem no sol	18
Figura 5. Capacidade Instalada do SIN em MW - Dezembro de 2014.....	19
Figura 6. Sistemas fotovoltaicos isolados e conectados à rede elétrica	20
Figura 7. Radiação solar global diária, média anual	21
Figura 8. Conjuntos de painéis fotovoltaicos	22
Figura 9. A falta de estrutura viária somada ao grande número de veículos nas cidades brasileiras	23
Figura 10. Ciclo de Otto.....	24
Figura 11. Ciclo de Otto Teórico	24
Figura 12. Ciclo de Otto Real.....	25
Figura 13. Ciclo Diesel	25
Figura 14. Distribuição do consumo de combustível	28
Figura 15. Proporção de veículos com mais de dez anos de uso	28
Figura 16a. Fiat Strada	29
Figura 16b. Chevrolet S-10.....	29
Figura 16c. Volkswagen Gol	30
Figura 16d. Minitrator	30
Figura 17. Histórico do consumo nos horários de ponta e fora de ponta	33
Figura 18. Histórico de demanda nos horários de ponta e fora de ponta.....	33
Figura 19. Multimedidor SEL-735	44
Figura 20. Mapa do Campus I da UFCG.....	45
Figura 21. Ponto de instalação do medidor SEL-735 no DEE	46
Figura 22. Níveis de tensão no lado de baixa tensão do transformador de distribuição	47
Figura 23. Fator de Crista.....	51
Figura 24. Perfil de carga – 13/10/2014 à 17/10/2014	52
Figura 25. Perfil de carga – 15/10/2014.....	52

Lista de Quadros

Quadro 1. Características técnicas do Aerogerador VERNE555.	16
Quadro 2. Dados sobre o painel solar AC Union PM240PA0	22
Quadro 3. Dados sobre o consumo de combustível da frota da UFCG	27
Quadro 4. Subgrupos tarifários	31
Quadro 5. Modalidades de fornecimento	31
Quadro 6. Consumo de energia elétrica per capita mensal do campus I da UFCG	34
Quadro 7. Despesa per capita com energia elétrica no campus I da UFCG.	35
Quadro 8. Adequação de contrato de demanda (fora de ponta)	36
Quadro 9. Adequação de contrato de demanda (ponta)	37
Quadro 10. Gasto com energia elétrica pela área do campus.....	38
Quadro 11. Pontos de conexão em tensão nominal superior a 1kV e inferior a 69kV	40
Quadro 12. Pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (220/127 V).....	40
Quadro 13. Pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (380/220 V).....	40
Quadro 14. Frequência do sinal de tensão	48
Quadro 15. Fator de Potência por fase	48
Quadro 16. Taxa de Distorção Harmônica para corrente.....	48
Quadro 17. Taxa de Distorção Harmônica para tensão.....	49
Quadro 18. Energia Elétrica Ativa	49
Quadro 19. Energia Elétrica Reativa.....	49
Quadro 20. Demanda por fase	49
Quadro 21. Fator de Crista para a corrente	50
Quadro 22. Fator de Crista para a tensão	50

Lista de Siglas e Abreviaturas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

DEE – Departamento de Engenharia Elétrica

CEEI – Centro de Engenharia Elétrica e Informática

LABDES – Laboratório de Referência em Dessalinização

NERG – Núcleo de Energia

SIN – Sistema Integrado Nacional

LEIAM – Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas

GEE – Gases do Efeito Estufa

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

PIB – Produto Interno Bruto

ONU – Organização das Nações Unidas

QEE – Qualidade da Energia Elétrica

Prodist – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

Sumário

Resumo	VII
Abstract	VIII
Lista de Ilustrações	IX
Lista de Quadros	X
Lista de Siglas e Abreviaturas	XI
Sumário	XII
1 Introdução	14
2 Energia Eólica	15
3 Energia Solar	17
3.1 Aproveitamento Elétrico da Energia Solar	19
3.2 Aproveitamento da Energia Solar no Campus I da UFCG	20
4 Combustíveis Fósseis	22
4.1 Ciclo Otto e Ciclo Diesel	23
4.2 Estudo de Caso	27
4.3 Plano de Metas.....	28
5 Energia Elétrica	30
5.1 Introdução	30
5.2 Análise Tarifária	32
5.3 Diagnóstico Energético	34
5.4 Estudo de caso	39
5.4.1 Introdução	39
5.4.2 Fator de Potência	41
5.4.3 Harmônicos.....	41
5.4.4 Desequilíbrio de Tensão	42
5.4.5 Flutuação de Tensão	42
5.4.6 Variação na Frequência	43
5.5 Monitoramento de Energia	43
5.6 Guia de Inspeção.....	47
5.6.1 Tensão por fase	47
5.6.2 Frequência	48
5.6.3 Fator de Potência	48

5.6.4 Taxa de Distorção Harmônica	48
5.6.5 Energia Elétrica Ativa	49
5.6.6 Energia Elétrica Reativa	49
5.6.7 Demanda	49
5.6.8 Fator de Crista	50
5.6.9 Perfil de Carga	51
6 Conclusão	52
Referências	53

1 INTRODUÇÃO

Construir um futuro sustentável é um dos maiores desafios do século 21. A partir da crise do petróleo ocorrida em 1973, a comunidade mundial despertou para os possíveis problemas decorrentes do uso desregrado das fontes de energia de nosso planeta. Nesse contexto, diversas entidades e legislações vêm sendo criadas, com o intuito de fomentar a consciência ambiental na população.

No panorama atual, a sociedade continua com uma rígida dependência dos combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo e gás natural, entretanto, fontes ditas renováveis ganham cada vez mais espaço no cenário internacional. O uso da energia solar e da energia eólica atravessa um crescimento vertiginoso, devido ao avanço das tecnologias utilizadas em sua captação, o que proporciona um barateamento e conseqüentemente as tornam cada vez mais acessíveis.

As universidades e centros de pesquisas possuem papel fundamental no desenvolvimento de meios que possibilitem o uso eficiente da energia, nas suas mais diversas formas. Assim, essas instituições costumam ser exemplo de criação e utilização de meios eficientes de produção e consumo de energia.

O presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo efetuar um diagnóstico energético no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande, apresentando de forma sucinta um levantamento sobre algumas das mais diversas formas de energia que são utilizadas na cidade universitária. Na Figura 1 é apresentado um diagrama esquemático resumido sobre o fluxo energético no Campus I da UFCG.

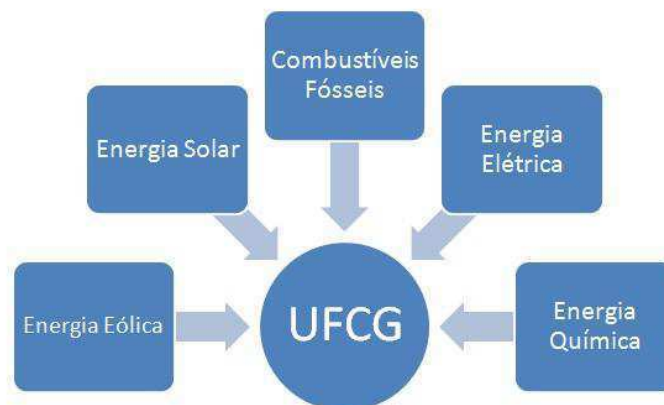


Figura 1. Diagrama esquemático do fluxo energético no campus I da UFCG. [Fonte: Rayan Barreto]

Com o intuito de sistematizar o tema abordado neste Trabalho de Conclusão de curso, o texto foi dividido em seis capítulos. No Capítulo 1 é apresentada esta Introdução. No Capítulo 2 é feita uma análise sobre o aproveitamento da energia eólica

no campus. No Capítulo 3 são apresentadas algumas das utilizações da energia solar na UFCG. No Capítulo 4 é apresentado um estudo de caso onde é analisado o consumo de combustíveis fósseis, em um mês, pelos veículos que constituem a frota da universidade. No capítulo 5 é mostrada uma ampla discussão sobre a utilização de energia elétrica no campus I, um estudo de caso foi efetuado sobre o consumo deste tipo de energia na instituição durante todo o ano de 2014. Adicionalmente, outro estudo de caso referente ao monitoramento da qualidade da energia elétrica fornecida a uma edificação do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) é apresentado. Por fim, o Capítulo 6 foi dedicado a apresentar a Conclusão sobre o trabalho desenvolvido.

2 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica – produzida a partir da força dos ventos – é abundante, competitiva e renovável. Assim, o uso dessa fonte de energia se mostra cada vez mais interessante no contexto atual de busca por fontes renováveis.

Os primeiros relatos da utilização de energia eólica pelo homem remontam a 2800 A. C., quando os egípcios utilizaram este tipo de energia para bombeamento de água e moagem de grãos. Posteriormente, o emprego da força dos ventos teve papel decisivo nas grandes navegações, por meio do impulso necessário para movimentar os veleiros por áreas até então desconhecidas.

Em 1888, Charles F. Brush, um industrial voltado para eletrificação rural, ergueu o primeiro cata-vento destinado à produção de energia elétrica. O aerogerador de Brush fornecia 12 kW de potência ativa.

Atualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas no planeta. Esse número tende a crescer vertiginosamente, levando em conta as metas estabelecidas pela Associação Europeia de Energia Eólica. Estima-se que o potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh por ano. Porém, as restrições socioambientais apenas viabilizam o uso de 53.000 TWh. Ainda assim, esse potencial líquido corresponde a cerca de quatro vezes o consumo atual de energia elétrica no planeta.

No Brasil, a energia eólica se expandiu nos últimos anos e hoje é a fonte energética que mais cresce no país. Estima-se que até 2018, sua participação na matriz energética nacional irá saltar dos atuais 3% para 8%.

No âmbito da UFCG, os estudos sobre a energia eólica se iniciaram em 1976, quando foi criado na então Escola Politécnica da Paraíba, hoje UFCG, o NERG (Núcleo de Energia), tendo à frente o Prof. Dr. Telmo Araújo.

Anos depois, a energia eólica encontrou aplicação na UFCG como uma das fontes de energia utilizadas no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), do Departamento de Engenharia Química. O LABDES é coordenado pelo Prof. Dr. Kepler Borges França e conta com uma área coberta de 450 m², distribuída entre auditórios, laboratórios e oficinas.

No LABDES é utilizado um aerogerador modelo VERNE555, conforme mostrado na Figura 2, com potência de 6 kW e um elevado rendimento aerodinâmico. O VERNE555 foi projetado para captar energia a baixíssimas velocidades do vento, a partir de 3 m/s. No Quadro 1 é possível observar algumas características do aerogerador utilizado.

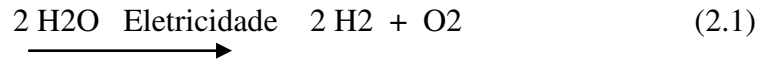


Figura 2. Aerogerador VERNE555.

Diâmetro da Hélice	5,55 metros
Potência a 12m/s	6 kW
Número de Pás	3
Tipo de Pás	Torcida, (5 aerofólios)
Velocidade de Partida	2,2 m/s
Massa Total (alternador+hélice+cab.Rotor)	190 kg
Rotação a 12m/s	240 rpm
Torque de Partida	0,6 N.m
Vida Útil	15 anos

Quadro 1. Características técnicas do Aerogerador VERNE555.

O aerogerador é utilizado no LABDES como fonte primária para a produção de hidrogênio (H₂). O processo se inicia com a transformação da energia eólica, em conjunto com a energia solar, em energia elétrica por meio do funcionamento do aerogerador em questão. Posteriormente, a energia elétrica é utilizada no processo de eletrólise da água, para a produção do hidrogênio, conforme a reação química 2.1.



Devido o seu elevado poder calorífico, o hidrogênio resultante do processo de eletrólise é destinado para alimentar fornos que são utilizados na produção de alguns compostos cerâmicos empregados em diversos projetos do LABDES.

O outro produto da reação química, o oxigênio, é liberado diretamente na atmosfera. Logo, além de utilizar fontes renováveis de energia, o processo ainda libera O₂ para atmosfera, afirmando assim, o seu elevado grau de eficiência.

Na Figura 3 é possível observar o diagrama esquemático de produção do oxigênio.

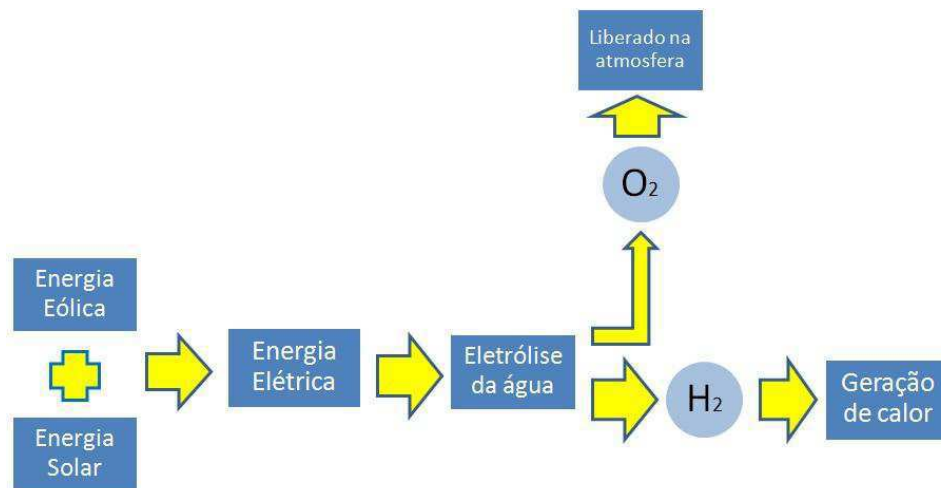


Figura 3. Diagrama esquemático do processo de produção do hidrogênio. [Elaboração do autor]

3 ENERGIA SOLAR

A fonte primária de energia que garante a existência de vida no planeta Terra é o Sol, que irradia energia na forma de radiação eletromagnética (*fótons*).

A energia emitida pelo sol é liberada a partir de reações de fusão nuclear que ocorrem entre núcleos de hidrogênio. Esse processo consiste na reação entre dois núcleos atômicos leves que resultam na produção de uma espécie nuclear mais pesada do que os núcleos atômicos iniciais e uma grande quantidade de energia, conforme dito por [1].

A reação de fusão nuclear que ocorre no sol utiliza como "combustível" o hidrogênio, produzindo hélio como resultado da reação química. O processo pode ser visualizado na Figura 4. Em seguida são apresentadas as reações químicas que descrevem o processo.

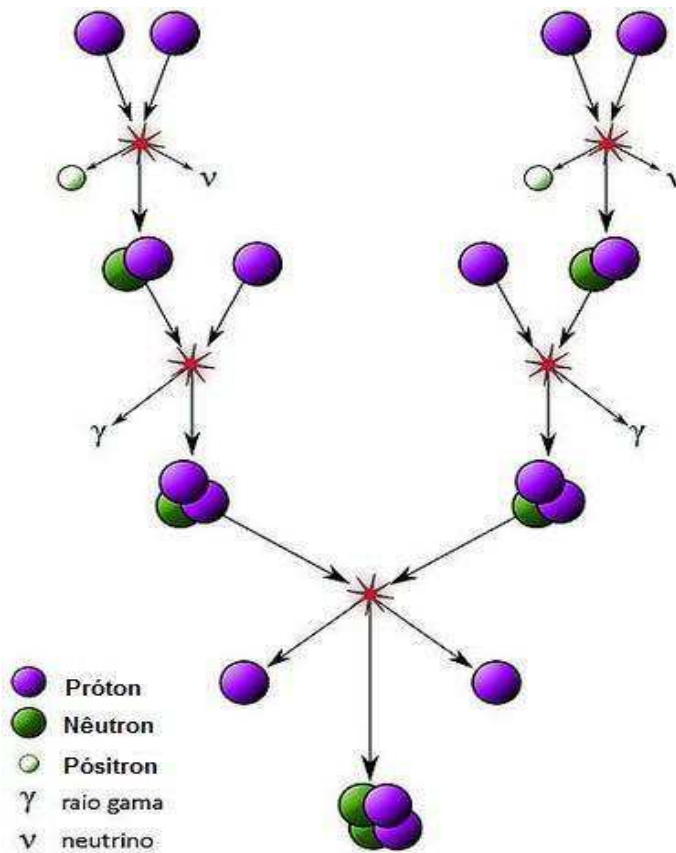
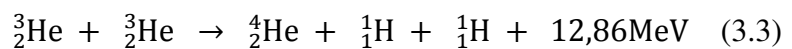
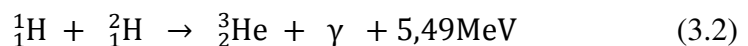
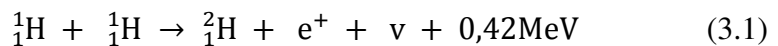


Figura 4. Cadeia de reações nucleares que ocorrem no sol. [Adaptado de Wikimedia Commons: Fusion in the Sun]



A radiação eletromagnética que deixa o sol tem distribuição de energia que cobre praticamente todas as regiões do espectro eletromagnético, com o máximo de intensidade na região que vai do ultravioleta ao infravermelho.

3.1 APROVEITAMENTO ELÉTRICO DA ENERGIA SOLAR

O crescimento do consumo de energia elétrica nos mais diversos setores da sociedade, em conjunto com a preocupação cada vez maior em relação aos fatores ambientais e a possibilidade de redução na oferta de combustíveis fósseis, levou a comunidade científica a pesquisar e desenvolver formas alternativas de energia. Assim, meios de captação da energia proveniente do sol foram sugeridos com o objetivo de diversificar a planta energética mundial.

"O uso da energia solar para geração de eletricidade pode se dar de duas formas: a) indiretamente, por meio do uso do calor para gerar vapor que, expandido em sua turbina a vapor, acionará um gerador elétrico em uma central termelétrica; e b) diretamente, com a utilização de painéis fotovoltaicos." [25]

Na Figura 5 é possível visualizar os dados referentes à capacidade instalada de energia do Sistema Integrado Nacional (SIN) para dezembro de 2014. Nota-se que a energia solar não é considerada no gráfico, devido à falta de usinas solares no Brasil, essa ausência tem como motivo o elevado custo marginal de produção de energia elétrica a partir dessa fonte. A maior parte da energia elétrica produzida via energia solar no país se dá por meio da utilização de painéis fotovoltaicos instalados junto ao consumidor final.

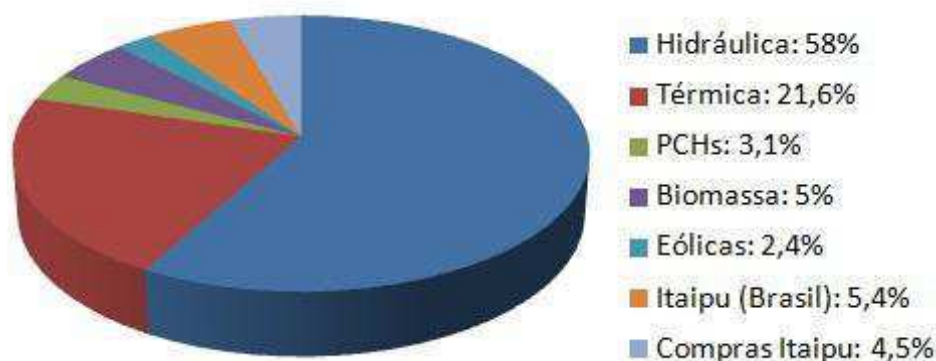


Figura 5. Capacidade Instalada do SIN em MW - Dezembro de 2014. [Elaboração do autor]

Os sistemas fotovoltaicos convertem energia solar em energia elétrica nas células fotovoltaicas, que na sua maioria utilizam o silício como principal material constituinte devido suas características de semicondutor. Quando a luz solar, por meio de seus *fótons*, incide na célula fotovoltaica e é absorvida, a energia dos *fótons* é transferida para os elétrons presentes na célula que então ganham a capacidade de movimentar-se. O movimento dos elétrons, por sua vez, caracteriza a corrente elétrica.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em dois grandes grupos: sistemas isolados (*off-grid*) e sistemas conectados à rede elétrica (*grid-tie*). O tipo isolado é aquele que não se integra a rede elétrica e geralmente é utilizado em locais remotos ou onde o custo de acesso à rede é maior que o custo do próprio sistema, normalmente eles utilizam bateria para armazenar a energia. Já os sistemas conectados à rede, injetam a energia elétrica no SIN. Nesse caso, não existe a necessidade de armazenamento de energia.

Na Figura 6 é apresentada a ilustração de uma casa com painéis fotovoltaicos instalados e que podem operar tanto no modo *off-grid* como no modo *grid-tie*.

A conexão do tipo *grid-tie* tem grande potencial nos sistemas elétricos, devido o desenvolvimento das *Smart Grids* ou Redes Inteligentes. Esse tipo de sistema, de acordo com a CHAMADA Nº 011/2010 da ANEEL, é mais eficiente e seguro, além de adaptativo e interativo, sendo capaz de gerar novas oportunidades de negócios, operando com foco na qualidade e no menor impacto ambiental.



Figura 6. Sistemas fotovoltaicos isolados e conectados à rede elétrica. [Fonte: NeoSolar Energia]

3.2 APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NO CAMPUS I DA UFCG

Assim como ocorre na maior parte do Brasil, na UFCG a energia solar também não é devidamente aproveitada como fonte de conversão para energia elétrica. A partir do mapa de radiação solar anual apresentado na Figura 7 e retirado de [2], pode-se

observar que a Paraíba apresenta um potencial considerável para o aproveitamento solar. Todavia, no Campus I da UFCG que possui área de aproximadamente 308.000 m², são registrados apenas dois pontos de captação de energia solar.

O primeiro ponto de utilização de energia solar na UFCG é o Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), onde a energia captada por painéis fotovoltaicos é utilizada em conjunto com a energia coletada por um gerador eólico para a produção de hidrogênio, conforme mencionado no capítulo 2.

O segundo ponto é localizado no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM) do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, onde painéis são utilizados apenas para fins de pesquisa.

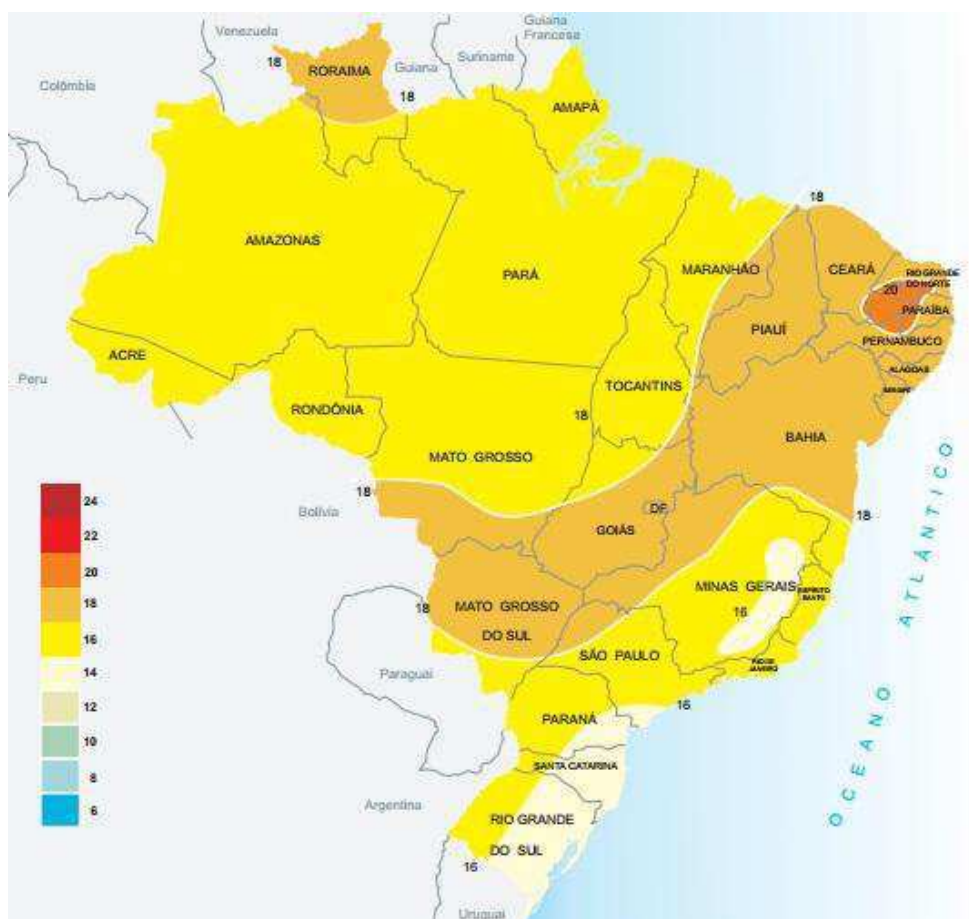


Figura 7. Radiação solar global diária, média anual. [Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000)]

Na figura 8 é possível visualizar os painéis fotovoltaicos instalados no LEIAM e que são utilizados para estudos de pesquisa na UFCG. No total, estão instalados um conjunto de 36 painéis divididos em nove grupos com quatro painéis em cada. Alguns dados sobre o equipamento estão apresentados no Quadro 2.

Potência Contínua Máxima	225 W
Tensão Nominal	240 V
Frequência Nominal	60 Hz
Corrente Nominal de Saída	0,9375 A
Faixa de Variação da Tensão de Saída	211 – 264 V
Faixa de Operação da Frequência	59,3 – 60,5 Hz
Distorção Harmônica Total	< 5%
Dimensões (C x L x A)	1668 x 1000 x 40 mm
Massa	22,7 kg

Quadro 2. Dados sobre o painel solar AC Union PM240PA0.



Figura 8. Conjuntos de painéis fotovoltaicos. [Fonte: Rayan Barreto]

4 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Com o desenvolvimento do setor de transportes, a frota mundial de veículos cresceu de forma considerável, elevando consigo o consumo de energia oriunda de combustíveis fósseis. Esse crescimento provoca impactos ao meio ambiente, devido à emissão de gases do efeito estufa, GEE, no planeta.

Com a difusão da consciência ambiental no cenário mundial, exigiu-se das entidades governamentais e empresas não governamentais o desenvolvimento de metodologias que visem um consumo energético mais eficiente. Assim, faz-se necessário pensar em formas de estimular o uso de veículos cada vez menos poluentes, além de possibilitar a implantação de um transporte público rápido, barato e seguro.

De acordo com estudos realizados em 2009 pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Ipea, um usuário de um automóvel popular movido à gasolina, por exemplo, emite quase oito vezes mais gás carbônico na atmosfera que um usuário de ônibus coletivo e 36 vezes mais, que um usuário de metrô.

O aumento da quantidade de carros somado a um sistema de transporte coletivo ineficiente resulta em enormes congestionamentos, conforme ilustrado na Figura 9, e consequentes desperdícios de energia, dinheiro e tempo. Na cidade de São Paulo, por exemplo, estima-se que 63,2 % da população de trabalhadores gasta mais de meia-hora no deslocamento casa-trabalho. Desses, 45,3% gastam mais de uma hora para chegarem ao trabalho. Números como esse evidenciam a importância de investir a curto, médio e longo prazo em técnicas que visem facilitar o deslocamento nas grandes cidades, o que consequentemente acarretará na diminuição da emissão de poluentes na atmosfera. [CENSO 2010/IBGE (adaptado)]



Figura 9. A falta de estrutura viária somada ao grande número de veículos nas cidades brasileiras. [Fonte: JaguaraciSilva.blogspot]

4.1 CICLOS OTTO E CICLO DIESEL

Com a frota de veículos mundial aproximando-se da casa dos bilhões, as discussões sobre formas de diminuir o impacto ambiental causado pelos meios de transporte crescem a cada dia.

A imensa maioria dos automóveis utiliza motor à combustão interna, que apesar de apresentarem algumas diferenças no processo de combustão, ciclo Otto e ciclo Diesel, possuem forte semelhança.

No motor que opera no Ciclo Otto (gasolina, álcool, flex ou GNV), a combustão ocorre por explosão. A mistura de combustível e ar entra no cilindro, é comprimida e recebe a centelha, que provoca a explosão. Posteriormente, os gases resultantes da queima são liberados, principalmente na forma de: monóxido e dióxido de carbono, aldeídos e hidrocarbonetos. Na figura 2 é apresentado um diagrama sobre os quatro tempos de operação do motor que opera no ciclo Otto.

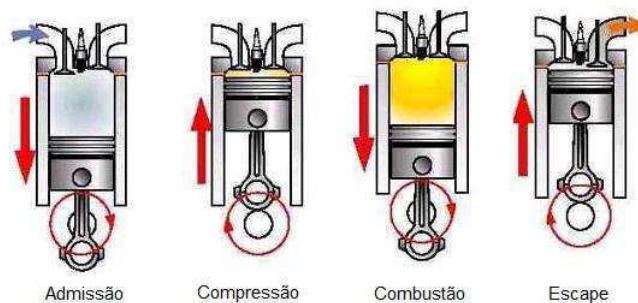


Figura 10. Ciclo de Otto. [Fonte: www.senseikoche.com, acessado em 20 de Janeiro de 2015]

Na Figura 11 é mostrado o Ciclo de Otto teórico, com todas as fases de operação do motor. Inicialmente, ocorre a admissão, sendo percorrida a linha do ponto 0 ao ponto 1. Em seguida, ocorre a compressão adiabática, correspondente a transição do ponto 1 para o ponto 2. Quando a centelha proveniente da vela de ignição é gerada, ocorre a passagem do ponto 2 para o ponto 3, com o volume mantido constante. Posteriormente, ocorre a explosão com a correspondente expansão adiabática referente à mudança do ponto 3 para o ponto 4. Após a combustão, ocorre a perda de calor a volume constante, sendo seguida pela exaustão, com o ciclo retornando ao ponto 0.

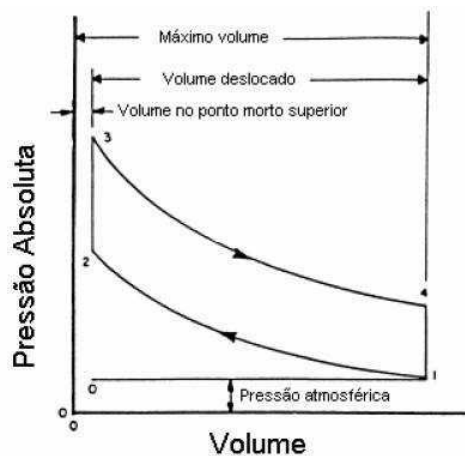


Figura 11. Ciclo de Otto teórico. [Fonte: www.autohoje.com, acessado em 20 de Janeiro de 2015]

Entretanto, vale salientar que os resultados obtidos na prática nem sempre são totalmente fiéis aos estudos teóricos. Assim, pode-se observar na Figura 12 o diagrama referente ao Ciclo de Otto real, com algumas mudanças em relação ao ciclo teórico devido à perda de energia no motor por efeito Joule.

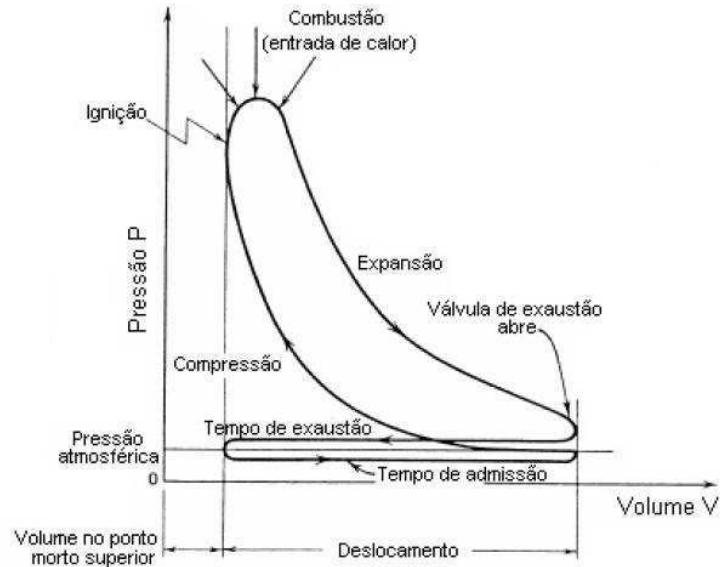


Figura 12. Ciclo de Otto real. [Fonte: www.autohoje.com, acessado em 20 de Janeiro de 2015]

Já nos motores que operam no Ciclo Diesel, conforme ilustrado na Figura 13, a combustão ocorre por compressão. Inicialmente, o cilindro se enche de ar, que é então comprimido. Depois, o diesel é injetado pelos bicos injetores. Com a alta temperatura do ar comprimido, a mistura entra em combustão. Por fim, há a exaustão dos gases, como os óxidos de nitrogênio, o dióxido de enxofre e o material particulado.

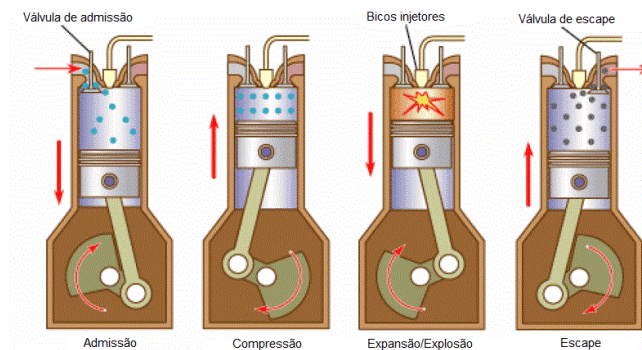


Figura 13. Ciclo Diesel. [Fonte: Enciclopédia Britânica, 2007]

Dentre os compostos liberados pelos motores a combustão, o dióxido de carbono recebe atenção especial, em virtude da grande importância do carbono em vários ciclos

bioquímicos. No metabolismo animal, por exemplo, o gás carbônico surge como produto da respiração, sendo eliminado pelo corpo e podendo ser aproveitado pelas plantas no processo de fotossíntese. Nas reações químicas de combustão, o gás carbônico é resultado da queima de árvores, lixo e combustíveis fósseis.

Com a elevação do consumo de combustíveis fósseis, um desequilíbrio tende a fazer parte do ciclo do carbono, uma vez que a quantidade de matéria que entra no ciclo é diferente da que é transformada. Isso significa que o meio ambiente não possui capacidade suficiente para converter todo o gás carbônico emitido pelos processos de combustão em oxigênio, assim a quantidade de reagente no ciclo se torna elevada e um desequilíbrio na natureza é originado. A reação química 4.1 correspondente ao processo de combustão.



Com o evidente desequilíbrio no ciclo do carbono, surgem questionamentos sobre a necessidade de se plantar mais árvores, como forma de equilibrar o processo. Infelizmente, não é possível dar uma resposta exata da quantidade de CO_2 que uma árvore é capaz de absorver, todavia, organizações climáticas vinculadas a Organização das Nações Unidas (ONU), estimam que uma árvore absorve em média, 10 kg de CO_2 por ano.

Não restam dúvidas que o aumento da quantidade de árvores plantadas no planeta contribui diretamente para a qualidade do ar que respiramos. Todavia, faz-se necessário também a adoção de metas que visem reduzir de forma eficaz a emissão de poluentes na atmosfera.

Outro ponto a ser levado em consideração sobre o gás carbônico é que quando esse elemento entra em contato com a água, ele se transforma em ácido carbônico, um composto naturalmente instável que deixa a água ácida. Assim, quando elevadas quantidades de CO_2 presentes na atmosfera entram em contato com a água da chuva, é gerada a chuva ácida, que provoca elevados danos aos vegetais, contaminação de rios, lagos, e outras águas superficiais, danos à saúde dos seres vivos e prejuízos aos bens artísticos e arquitetônicos. Na reação química 4.2 é mostrada a reação química correspondente a tal processo.



4.2 ESTUDO DE CASO

Os problemas causados pela elevação da frota brasileira de veículos também é sentida no Campus I da UFCG. Os estacionamentos que até alguns anos atrás eram tidos como demasiadamente grandes, atualmente não conseguem suprir a demanda, sendo necessária a criação de novas vagas em áreas até então destinadas para outros fins.

Além do aumento da quantidade de carros e motos de alunos e professores, o número de veículos da instituição também cresceu, elevando consigo os gastos com combustível e manutenção.

O consumo de combustível dos veículos da UFCG foi analisado no mês de setembro de 2014, com o intuito de realizar um levantamento do consumo, possibilitando que sugestões possam ser feitas com o objetivo de diminuir o impacto ambiental da frota.

O serviço de fornecimento de combustível aos veículos da UFCG é terceirizado para a empresa ECO FROTAS BENEFÍCIOS. No Quadro 3 é possível observar alguns dos dados obtidos sobre o consumo de combustível dos veículos da instituição.

Empresa Responsável:	ECO FROTAS BENEFÍCIOS
Mês de análise:	Setembro
Valor gasto com combustível (R\$):	33.396,85
Litros consumidos:	12.184,04
Quilômetros rodados:	121.459
Valor/litro (R\$):	2,74
km/litro:	9,97
Média de idade da frota:	6,38 anos

Quadro 3. Dados sobre o consumo de combustível da frota da UFCG [elaboração do autor].

No gráfico presente na Figura 14 é possível visualizar a distribuição do consumo de combustível dos veículos do Campus I. Vale pontuar a importância da utilização do Diesel S-10, que apesar de custar um pouco mais, garante uma pulverização mais eficaz do diesel na câmara de combustão, permitindo uma mistura mais homogênea do combustível com o ar, melhorando o rendimento do motor, evitando assim, o desperdício de óleo diesel e reduzindo as emissões de poluentes na atmosfera, contribuindo para uma melhor qualidade do ar.

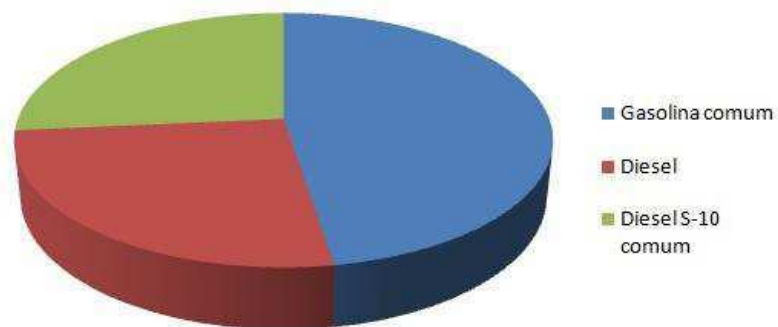


Figura 14. Distribuição do consumo de combustível. [elaboração do autor]

4.3 PLANO DE METAS

A definição de metas e critérios a serem cumpridos visando o uso eficiente da frota de veículos da UFCG pode trazer resultados significativos para o orçamento da instituição, bem como no impacto ambiental causado pelos veículos da universidade.

Uma medida que pode ser adotada é a priorização do agendamento para agrupamento de diferentes usuários por unidade de veículo, que necessitem de deslocamento para a mesma região ou localidade em um determinado período de tempo comum, visando assim a otimização das rotas.

Deve ser priorizado o uso de veículos leves, mais novos e mais econômicos. Não tem sentido, por exemplo, alocar um veículo como uma Chevrolet Blazer que apresenta um elevado consumo de combustível, para o deslocamento de um professor até a cidade de Recife, quando é possível utilizar veículos como o Chevrolet Cobalt para a mesma função, tendo em vista que este é bem mais econômico e leve.



Figura 15. Proporção de veículos com mais de dez anos de uso. [elaboração do autor]

Pode-se observar no gráfico da Figura 15 que a frota de veículos da UFCG é predominantemente nova, apresentando apenas cinco veículos com mais de 10 anos de uso. Todavia, deve-se buscar uma frota cada vez mais nova. Assim, a substituição desses veículos velhos por equivalentes novos acarretaria economia com combustível e manutenção, bem como uma menor emissão de gases poluentes na atmosfera.

Outro ponto a ser considerado a partir da análise da Figura 14 é que a substituição da gasolina comum por gasolina aditivada se apresenta como uma boa opção para a frota do Campus. Tendo em vista que a gasolina aditivada é composta de detergentes e dispersantes que ajudam a manter limpo o motor do automóvel. Isso terá reflexo, em médio prazo, no funcionamento do veículo e nos custos com manutenção. Além disso, a gasolina aditivada mantém limpos os bicos injetores, reduzindo a formação de resíduo sólido, popularmente conhecido por goma, e em consequência, as emissões de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos, reduzindo assim, os impactos ambientais.

Nas Figuras 16a, 16b, 16c e 16d são apresentados alguns dos veículos que compõem a frota da UFCG.



Figura 16a. Fiat Strada. [Fonte: Rayan Barreto]



Figura 16b. Chevrolet S-10. [Fonte: Rayan Barreto]



Figura 16c. Volkswagen Gol. [Fonte: Rayan Barreto]



Figura 16d. Minitrator. [Fonte: Rayan Barreto]

5 ENERGIA ELÉTRICA

5.1 INTRODUÇÃO

No mundo moderno, a energia elétrica é um insumo indispensável a diversos setores da sociedade. Fatores como alto custo da eletricidade e incertezas sobre o abastecimento desse produto podem causar sérios impactos no Produto Interno Bruto (PIB) de um país, gerando danos à economia como um todo.

Em uma instituição de grande porte como a UFCG, as despesas com energia elétrica se inserem como uma parcela significativa dos custos mensais da universidade. Assim, faz-se necessário um estudo detalhado que busque formas de minimizar os

gastos com energia elétrica no campus. Esse objetivo pode ser alcançado por meio da análise e comparação do sistema tarifário vigente com as faturas de energia elétrica da instituição, buscando enquadrá-la em um grupo tarifário que seja o mais adequado possível.

A tarifa de energia elétrica é definida a partir de dois componentes básicos: consumo de energia elétrica e demanda de potência. O consumo de energia é medido em quilowatt-hora (kWh) ou em megawatt-hora (MWh) e corresponde ao valor acumulado pelo uso da potência elétrica disponibilizada para o consumidor ao longo de um período de consumo, normalmente mensal. A demanda de potência é medida em quilowatt e corresponde à média da potência elétrica solicitada pelo consumidor à empresa distribuidora, durante um intervalo de tempo que normalmente é de 15 minutos e é faturada pelo maior valor medido durante o mês vigente.

No Brasil, as tarifas de energia elétrica estão estruturadas em dois grandes grupos de consumidores: grupo A e grupo B.

As tarifas do "grupo A" são para consumidores atendidos pela rede de alta tensão, de 2,3 a 230 quilovolts (kV). O grupo A é subdividido a partir do nível de tensão ao qual o consumidor está inserido, conforme apresentado no Quadro 4.

A1	Nível de tensão de 230 kV
A2	Nível de tensão de 88 a 138 kV
A3	Nível de tensão de 69 kV
A3a	Nível de tensão de 30 a 44 kV
A4	Nível de tensão de 2,3 a 25 kV
AS	Sistema Subterrâneo

Quadro 4. Subgrupos tarifários. [Fonte: ANEEL]

A UFCG está inserida no grupo A4, pois é atendida em uma tensão de 13,8 kV proveniente da distribuidora Energisa. A modalidade de fornecimento que a instituição se enquadra é a horo-sazonal verde, de acordo com a legislação vigente, como pode ser visto no Quadro 5.

Estrutura tarifária convencional	É caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia e/ou demanda de potência independente do horário de utilização e do período do ano. É aplicável a consumidores com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada inferior a 300 kW. Aplica tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, além de tarifas diferenciadas de
-----------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tarifa horo-sazonal azul	demanda de potência de acordo com o horário de utilização. É aplicável obrigatoriamente a consumidores com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV.
Tarifa horo-sazonal verde	Possui tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com o horário de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência. Essa modalidade é aplicada para consumidores com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada superior a 300 kW.

Quadro 5. Modalidades de fornecimento. [Fonte: ANEEL]

5.2 ANÁLISE TARIFÁRIA

O estudo tarifário foi realizado com base nos dados de consumo de energia e demanda de potência nos horários de ponta e fora de ponta, a partir da análise das faturas de energia elétrica do campus I da UFCG, referentes ao ano de 2014.

O consumo mensal médio de energia durante o ano de 2014 foi de 358.400 kWh no horário fora de ponta e de 42.350 kWh no horário de ponta. Na Figura 17 é possível observar o histórico do consumo anual da instituição.

A partir da análise dos dados pode-se constatar que o mês de janeiro apresentou o menor consumo de energia, devido o recesso escolar. Com o retorno das atividades acadêmicas no mês de fevereiro, observou-se uma elevação significativa no consumo de energia, em parte devido o verão, o que leva ao aumento da quantidade de aparelhos de ar condicionado sendo utilizados. Os meses de fevereiro e março apresentaram picos de consumo, ultrapassando os 400.000 kWh. Com o período de recesso durante o final de abril e começo de maio, o consumo de energia nesses dois meses se equiparou. Nos meses de junho a outubro, o consumo de energia apresentou algumas oscilações devido à variação de temperatura e pausas no período letivo, como o recesso de São João, todavia, o consumo ficou compreendido na faixa de 300.000 a 350.000 kWh.

O consumo no mês de setembro foi o segundo menor do ano devido o segundo grande recesso escolar anual. Voltando a se elevar a partir do mês de outubro com a volta as aulas e apresentando o terceiro pico do ano acima de 400.000 kWh no mês de novembro. Assim, pode-se concluir que os dados coincidem com o calendário acadêmico do campus.

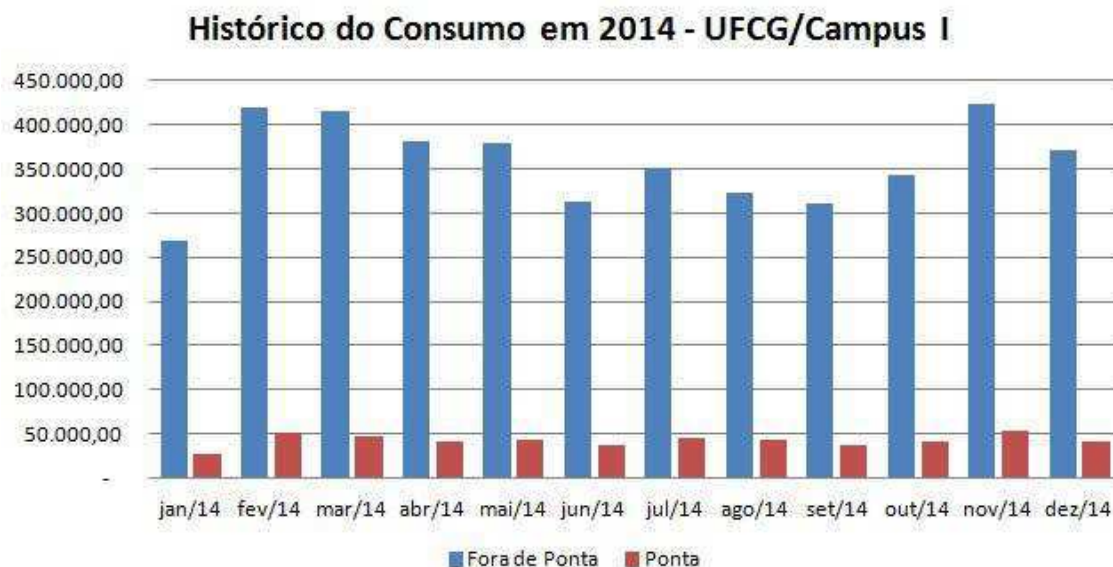


Figura 17. Histórico do consumo nos horários de ponta e fora de ponta. [Elaboração do autor]

Na Figura 18 são apresentados os dados comparativos sobre demanda de potência no horário de ponta e fora de ponta também durante o ano de 2014. Nota-se que os dados apresentam comportamento análogo aos dados de consumo de energia do campus. A demanda máxima e mínima medida, respectivamente, foi de 1.806 kW e 798 kW no horário fora de ponta e de 1.330 kW e 518 kW no horário de ponta.

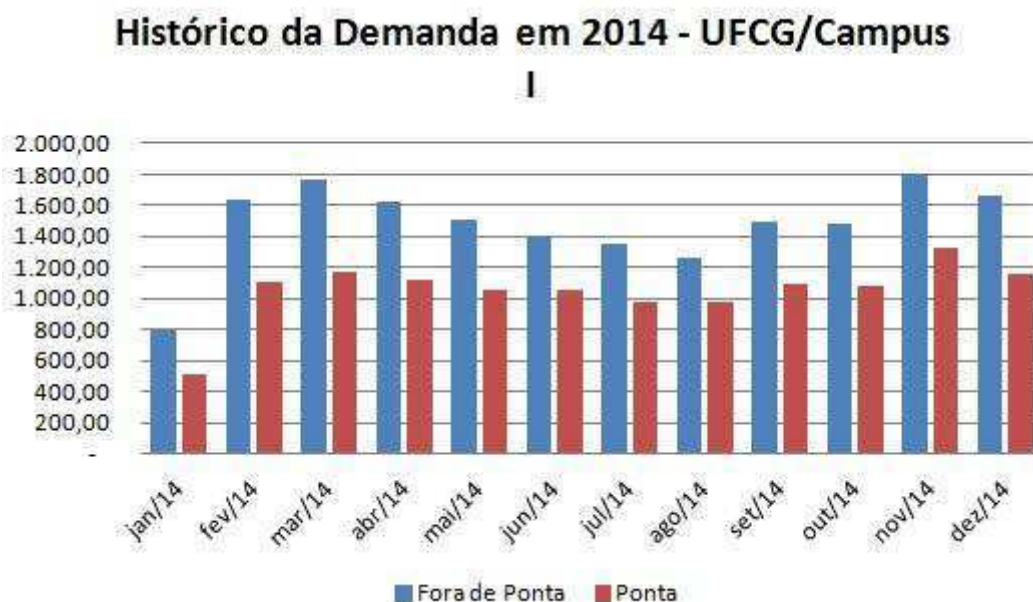


Figura 18. Histórico de demanda nos horários de ponta e fora de ponta. [Elaboração do autor]

5.3 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

O diagnóstico energético tem por objetivo identificar oportunidades de economia e propor melhorias para o consumo de energia elétrica. Assim, diversas metodologias para esse tipo de ação vêm sendo desenvolvidas a cada ano. Nesse sentido, a Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão instituiu a Instrução Normativa nº 10, de 12 de novembro de 2012, na qual são apresentadas regras para elaboração e desenvolvimento dos Planos de Gestão e Logística Sustentável – PLS, na Administração Pública Federal direta, autárquica, fundacional e nas empresas estatais dependentes.

Assim, conforme apresentado no Anexo III ("Sugestão de indicadores"), da instrução normativa anteriormente citada, foram montadas as tabelas 3, 4, 5, 6 e 7, onde são descritos os indicadores sugeridos.

Segundo informações obtidas junto à Pró-Reitoria de Ensino e a Secretaria de Recursos Humanos, em novembro de 2014, a UFCG contava com 7411 alunos matriculados no período vigente, 708 servidores técnico-administrativos em exercício e 979 professores, com um total de 9.098 pessoas.

Para o cálculo dos gastos com energia pela área, utilizou-se a área total do Campus I da UFCG que corresponde a aproximadamente 308.000 m².

No Quadro 6, é apresentado o consumo mensal de energia elétrica durante todo o ano de 2014. Um novo parâmetro, o consumo de energia per capita, é apresentado com o intuito de permitir que a partir de estudos futuros em outros campi da UFCG ou de outras universidades, os dados possam ser comparados com os obtidos em Campina Grande, possibilitando assim, chegar a um valor aceitável de consumo de energia dentro das possibilidades atuais, levando em conta o apelo cada vez maior pelo uso sustentável da energia elétrica.

Mês	Consumo de energia elétrica (Quantidade de kWh consumidos)	Consumo de energia elétrica per capita* (Quantidade em kWh/total de alunos, servidores e professores do campus I)
Janeiro de 2014	295.400	32,47
Fevereiro de 2014	469.000	51,55

Março de 2014	463.400	50,93
Abril de 2014	422.800	50,40
Mai de 2014	422.800	46,47
Junho de 2014	350.000	38,47
Julho de 2014	396.200	43,55
Agosto de 2014	366.800	40,32
Setembro de 2014	348.600	38,32
Outubro de 2014	383.600	42,16
Novembro de 2014	477.400	52,47
Dezembro de 2014	413.000	45,39

Quadro 6. Consumo de energia elétrica per capita mensal do campus I da UFCG. [Elaborada pelo autor]

No Quadro 7 é possível observar os valores gastos mensalmente com energia elétrica no campus I da UFCG, bem como a despesa per capita com energia elétrica, considerando os alunos regularmente matriculados, os servidores técnico-administrativos e os professores em exercício da instituição. O mês de novembro foi o que gerou maior despesa com eletricidade, com um valor correspondente a R\$ 18,70 por pessoa. Já o mês de janeiro registrou o menor gasto, com um valor de R\$ 10,90 por pessoa.

Espera-se que a aplicação do Plano de Gestão e Logística Sustentável do Ministério do Planejamento em outros campi pelo Brasil permita o levantamento de uma média nacional de gasto com eletricidade nas instituições de ensino superior do país.

Mês	Gasto com energia elétrica (Valor em reais)	Gasto com energia elétrica per capita (Valor em reais / total de alunos, servidores e professores do Campus I)
Janeiro de 2014	99.124,59	10,90
Fevereiro de 2014	166.559,36	18,31
Março de 2014	151.940,92	16,70

Abril de 2014	140.105,57	15,40
Mai de 2014	141.250,48	15,53
Junho de 2014	117.138,96	12,88
Julho de 2014	135.522,84	14,90
Agosto de 2014	126.668,58	13,92
Setembro de 2014	114.216,88	12,55
Outubro de 2014	124.517,74	13,69
Novembro de 2014	170.122,12	18,70
Dezembro de 2014	136.063,52	14,96

Quadro 7. Despesa per capita com energia elétrica no campus I da UFCG. [Elaborada pelo autor]

Nos Quadros 8 e 9 são apresentadas as adequações da instituição aos contratos de demanda na ponta e fora de ponta. Esse parâmetro é apresentado de forma percentual e obtido a partir da relação entre a demanda gasta e a demanda contratada.

A partir da análise dos dados é possível observar que no horário fora de ponta, ocorreram variações acentuadas na demanda de potência, devido pausas nas atividades acadêmicas, como o recesso escolar no mês de janeiro. Além disso, nos meses de março e novembro a demanda requerida ultrapassou a contratada, acarretando no pagamento de multa pelo excesso de demanda.

Mês	Demanda registrada fora de ponta/Demanda contratada fora de ponta (%)
Janeiro de 2014	$\frac{798}{1700} \cdot 100\% = 46,94\%$
Fevereiro de 2014	$\frac{1638}{1700} \cdot 100\% = 96,35\%$
Março de 2014	$\frac{1764}{1700} \cdot 100\% = 103,76\%$
Abril de 2014	$\frac{1624}{1700} \cdot 100\% = 95,53\%$
Mai de 2014	$\frac{1512}{1700} \cdot 100\% = 88,94\%$

Junho de 2014	$\frac{1400}{1700} \cdot 100\% = 82,35\%$
Julho de 2014	$\frac{1358}{1700} \cdot 100\% = 79,88\%$
Agosto de 2014	$\frac{1260}{1700} \cdot 100\% = 74,12\%$
Setembro de 2014	$\frac{1498}{1700} \cdot 100\% = 88,12\%$
Outubro de 2014	$\frac{1484}{1700} \cdot 100\% = 87,29\%$
Novembro de 2014	$\frac{1806}{1700} \cdot 100\% = 106,24\%$
Dezembro de 2014	$\frac{1498}{1700} \cdot 100\% = 98,00\%$

Quadro 8. Adequação de contrato de demanda (fora de ponta). [Elaborada pelo autor]

A partir da análise do Quadro 9, conclui-se que nem toda a demanda contratada para o horário de ponta foi utilizada, acarretando em uma parcela de demanda ociosa que pode gerar multa por falta de utilização pela UFCG. Assim, o valor mais adequado para contrato de demanda no horário de ponta seria de 1.200 kW, o que representaria uma menor variação de custo para a instituição.

A partir da necessidade de adequação do grupo tarifário ao qual está inserida a UFCG, constata-se que a melhor opção para instituição seria a transferência para o subgrupo azul A3, tendo em vista que o campus passaria a pagar tarifas diferenciadas para a demanda consumida nos horários de ponta e fora de ponta, o que se mostra vantajoso financeiramente para a universidade. Todavia, seria necessária a construção de uma subestação de 69 kV para o enquadramento na modalidade azul do subgrupo A3. Assim, faz-se necessário a realização de uma análise financeira para viabilidade do projeto. Nesse estudo devem ser analisados parâmetros como: Tempo de Retorno do Investimento na Subestação, Taxa Interna de Retorno e o Valor Presente Líquido.

Mês	Demanda registrada na ponta/Demanda contratada na ponta (%)
Janeiro de 2014	$\frac{518}{1700} \cdot 100\% = 30,47\%$
Fevereiro de 2014	$\frac{1106}{1700} \cdot 100\% = 65,06\%$
Março de 2014	$\frac{1176}{1700} \cdot 100\% = 69,18\%$

Abril de 2014	$\frac{1120}{1700} \cdot 100\% = 65,88\%$
Mai de 2014	$\frac{1050}{1700} \cdot 100\% = 61,76\%$
Junho de 2014	$\frac{1050}{1700} \cdot 100\% = 61,76\%$
Julho de 2014	$\frac{980}{1700} \cdot 100\% = 57,65\%$
Agosto de 2014	$\frac{980}{1700} \cdot 100\% = 57,65\%$
Setembro de 2014	$\frac{1092}{1700} \cdot 100\% = 64,24\%$
Outubro de 2014	$\frac{1078}{1700} \cdot 100\% = 63,41\%$
Novembro de 2014	$\frac{1330}{1700} \cdot 100\% = 78,24\%$
Dezembro de 2014	$\frac{1162}{1700} \cdot 100\% = 68,35\%$

Quadro 9. Adequação de contrato de demanda (ponta). [Elaborada pelo autor]

No Quadro 10 são apresentados os gastos por área na UFCG para os meses de 2014. Assim como o gasto de energia per capita e o consumo de energia per capita, espera-se que esse parâmetro sugerido pelo Plano de Gestão e Logística Sustentável do Ministério do Planejamento venha a ser utilizado como ponto de comparação com o consumo de eletricidade de outros campi do país.

Mês	R\$/Área total
Janeiro de 2014	0,32 R\$/m ²
Fevereiro de 2014	0,54 R\$/m ²
Março de 2014	0,49 R\$/m ²
Abril de 2014	0,45 R\$/m ²
Mai de 2014	0,45 R\$/m ²
Junho de 2014	0,38 R\$/m ²
Julho de 2014	0,44 R\$/m ²
Agosto de 2014	0,41 R\$/m ²
Setembro de 2014	0,37 R\$/m ²

Outubro de 2014	0,40 R\$/m ²
Novembro de 2014	0,55 R\$/m ²
Dezembro de 2014	0,44 R\$/m ²

Quadro 10. Gasto com energia elétrica pela área do campus. [Elaborada pelo autor]

5.4 ESTUDO DE CASO

Por se tratar de um insumo essencial e com elevado valor comercial, a eletricidade ganha cada vez mais importância no contexto econômico da nação. Um país em desenvolvimento precisa apresentar uma sofisticada estrutura de geração, transmissão e distribuição de energia para atender aos consumidores em potencial. Assim, a preocupação com a continuidade do serviço de fornecimento de energia elétrica é uma questão de prioridade nacional, já que fica evidente que qualquer interrupção implicará em transtornos de ordem maior.

Além da continuidade de serviço do sistema, o termo “Qualidade de Energia Elétrica- QEE” vem sendo recorrente nas mais diversas análises sobre sistemas elétricos. Essa expressão se refere aos critérios que devem ser satisfeitos de forma que sejam evitadas alterações na tensão, corrente ou na frequência que resultem em falha ou má operação de equipamentos, da geração ao uso final.

A tensão que é fornecida aos mais diversos tipos de consumidores precisa ter módulo e frequência dentro das respectivas faixas de variação permissíveis, e forma de onda com o mínimo de distorções de caráter permanente.

Assim, para uma análise apurada a cerca da QEE fornecida a um determinado sistema, alguns aspectos diretamente relacionados ao comportamento em regime permanente ou transitório precisam ser analisados, conforme enumerado a seguir.

5.4.1 TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

A norma vigente para o setor de distribuição de energia elétrica estabelece os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente, os indicadores individuais e coletivos de conformidade de tensão elétrica, os critérios de medição e registro, os prazos de regularização e de compensação ao consumidor, caso os limites de tensão observados não se encontrem na faixa de atendimento adequado.

Os valores nominais devem ser fixados em função dos níveis de planejamento do sistema de distribuição de modo que haja compatibilidade com os níveis de projeto dos equipamentos elétricos de uso final.

A tensão em regime permanente deve ser avaliada por meio de um conjunto de leituras obtidas por medição apropriada, e comparadas com correspondentes valores de referência.

Para cada tensão de referência, as leituras a ela associadas classificam-se em três categorias: adequadas, precárias ou críticas, conforme mostrado nos Quadros 10, 11 e 12; baseando-se no afastamento do valor da tensão de leitura em relação à tensão de referência.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – Resolução N° 505

TL – Tensão de Leitura; TR – Tensão de Referência

Adequada	$0,93*TR \leq TL \leq 1,05*TR$
Precária	$0,90*TR \leq TL < 0,93*TR$
Crítica	$TL < 0,90*TR$ ou $TL > 1,05*TR$

Quadro 11. Pontos de conexão em tensão nominal superior a 1kV e inferior a 69kV

Adequada	$201 \leq TL \leq 231$ $116 \leq TL \leq 133$
Precária	$189 \leq TL < 201$ ou $231 < TL \leq 233$ $109 \leq TL < 116$ ou $133 < TL \leq 140$
Crítica	$TL < 189$ ou $TL > 233$ $TL < 109$ ou $TL > 140$

Quadro 12. Pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (220/127 V)

Adequada	$348 \leq TL \leq 396$ $201 \leq TL \leq 231$
Precária	$327 \leq TL < 348$ ou $396 < TL \leq 403$ $189 \leq TL < 201$ ou $231 < TL \leq 233$
Crítica	$TL < 327$ ou $TL > 403$ $TL < 189$ ou $TL > 233$

Quadro 13. Pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220 V)

As variações de tensão de curta e longa duração podem causar sérios danos ao sistema em questão, caso não sejam devidamente combatidas.

A sobretensão nos equipamentos pode causar danos como à queima de circuitos eletrônicos, perda de dados em dispositivos de armazenamento, reinicialização de computadores, além do acionamento de dispositivos de proteção da rede primária e secundária de distribuição do campus (fusíveis, disjuntores, reles de sobretensão).

Todas essas ocorrências correspondem a sérios danos para a universidade, tendo em vista que podem causar a interrupção de aulas, prejudicar a tramitação de processos juntos a reitoria, além de interromperem a realização de determinados experimentos em laboratórios da instituição comprometendo o andamento de projetos de pesquisa.

5.4.2 FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência é um importante parâmetro que permite estimar o percentual da potência total fornecida (kVA) que é efetivamente utilizado na forma de potência ativa (kW). Logo, o fator de potência mostra o grau de eficiência de um determinado sistema elétrico. Valores altos desse parâmetro (próximos a 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos mostram a má utilização da energia, além de representar uma sobrecarga para todo o sistema.

O valor do fator de potência deverá ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativas e reativas (P , Q), ou das energias ativas e reativas (EA , ER), conforme as expressões (5.1) e (5.2).

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (5.1)$$

$$fp = \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}} \quad (5.2)$$

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabelece em seu documento "Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional" – Prodinst módulo 8 – qualidade de energia elétrica em unidades consumidoras com tensão inferior a 230 kV devem ter fator de potência, medido no ponto de conexão, compreendido entre 0.92 e 1.0 (indutivo) ou 1.0 e 0.92 capacitivo. Para consumidores com tensão acima de 230 kV, os valores deverão estar fixados conforme o procedimento específico da rede em questão.

5.4.3 HARMÔNICOS

A distorção harmônica é um fenômeno relacionado com deformações nas formas de onda de corrente e tensão em relação à onda senoidal perfeita, de frequência

fundamental. Esse tipo de forma de onda contém componentes com frequências múltiplas da fundamental.

Essas deformações são impostas ao sistema periódico pela relação não-linear tensão/corrente, característica de determinados componentes da rede, como por exemplo, transformadores e motores, cujos núcleos ferromagnéticos são sujeitos à saturação. Outra causa de não-linearidades são as descontinuidades devido ao chaveamento em conversores eletrônicos, pontes retificadoras e compensadores estáticos.

As correntes harmônicas geram perdas nos condutores de energia elétrica, acentuadas pelo efeito pelicular. As perdas são maiores quando cargas monofásicas absorvem corrente com componente harmônica de terceira ordem. O condutor neutro é bastante prejudicado por correntes desse tipo, necessitando assim, atenção no seu dimensionamento quando cargas não-lineares estão presentes.

5.4.4 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

O desequilíbrio de tensão é um problema de regime permanente relacionado a alterações nos padrões trifásicos do sistema de distribuição. Esse tipo de problema tem influência direta na qualidade da energia elétrica que é entregue ao consumidor final. O combate a esse fenômeno é bastante complicado, tendo em vista que diversas são as causas do seu surgimento, dentre elas:

- Impedâncias diferentes entre as fases dos sistemas de transmissão ou distribuição;
- Cargas trifásicas desequilibradas;
- Distribuição desigual de cargas monofásicas e bifásicas.

As cargas motoras são os elementos mais prejudicados pela ocorrência do desequilíbrio de tensão, mais precisamente nos motores de indução trifásicos. A ocorrência desse fenômeno provoca redução da vida útil do motor, além de ruído e sobreaquecimento. Em outras palavras, reduz a eficiência do equipamento.

5.4.5 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

O fenômeno de flutuação da tensão se caracteriza por uma variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão.

O incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa em sistemas de iluminação incandescente causada pela variação da tensão fornecida se apresenta como

o ponto de partida para implementação de estudo sobre a qualidade da energia entregue ao sistema em questão.

A determinação da qualidade da tensão de um barramento de baixa tensão do sistema de distribuição do campus, quanto á flutuação de tensão, pode evitar incômodos para os estudantes provocados pelo efeito da cintilação luminosa das lâmpadas, o que pode vir a prejudicar atividades simples como ler ou assistir aula.

5.4.6 VARIAÇÃO NA FREQUÊNCIA

Um valor de frequência constante possibilita a manutenção do sincronismo entre os diferentes geradores do sistema de potência com geração descentralizada, sendo assim, capaz de manter um equilíbrio dinâmico entre a potência gerada e a potência solicitada pelas cargas. A necessidade desse controle contínuo da geração em função da demanda decorre da impossibilidade de armazenamento da energia elétrica.

O sistema de distribuição e as instalações a ele conectadas devem operar, em regime permanente, com frequência entre 59,9 Hz e 60,1 Hz, que é a faixa de tolerância especificada pela ANEEL. Variações no valor da frequência fora dessa faixa podem levar o sistema elétrico a sérios distúrbios, dependendo da duração da ocorrência.

5.5 MONITORAMENTO DE ENERGIA

O presente estudo de caso envolve a realização de uma série de inspeções que permitam analisar a qualidade da energia elétrica fornecida ao campus I da UFCG.

As medições são realizadas com o intuito de identificar distúrbios provenientes da concessionária de energia elétrica, além de problemas internos a instalação elétrica monitorada. Todo esse processo é fundamental para evitar interrupções forçadas e consequentemente prejuízos financeiros, garantindo assim, a continuidade do sistema.

Para das medições das grandezas elétricas voltadas para o monitoramento da QEE foi utilizado o medidor modelo SEL-735, conforme mostrado na Figura 19. Esse medidor foi projetado e fabricado de acordo com a norma IEC 61000-4-30 classes A e S, tendo classe de precisão de 0,2%.



Figura 19. Multimetro SEL-735. [Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories].

A partir de sua utilização é possível realizar uma série de medições, desde tensão e corrente por fase e entre fases até fator de potência e demanda. Possibilitando assim, qualificar a energia elétrica medida.

O aparelho é portátil e de fácil manuseio, de forma que pode ser instalado sem grandes dificuldades nos mais diversos ambientes. Após a instalação, o equipamento fica efetuando as medições pelo tempo que for determinado pelo usuário, assim, se torna possível medir, por exemplo, o perfil de demanda diário de uma determinada instalação elétrica.

Após as medições, os dados podem ser extraídos para um computador qualquer, por meio de comunicação ethernet ou serial, de forma que possam ser processados por um software que vem junto com o equipamento, chamado de *AcSELeator QuickSet SEL-5030*. Esse *software* possui uma interface homem-máquina que permite obter informações em tempo real, capturar gráficos e controlar o equipamento de medição via computador.

Conforme apresentado na Figura 20, é possível visualizar o campus I da UFCG, segundo imagem obtida por satélite. O Departamento de Engenharia Elétrica é delimitado pelas linhas pretas. Os dois pontos vermelhos na parte inferior do DEE sinalizam o bloco onde está localizado o Centro de Engenharia Elétrica e Informática e que foi escolhido para o estudo de caso.

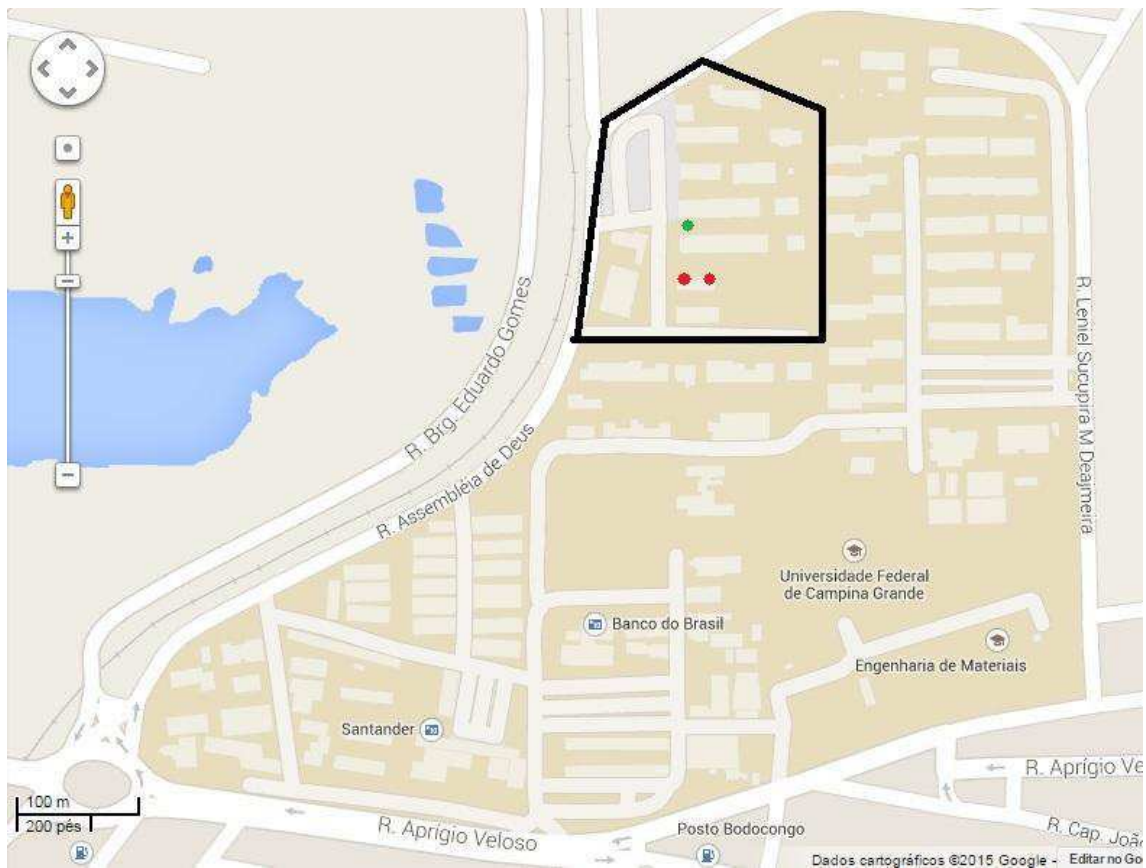


Figura 20. Mapa do Campus I da UFPA. [Obtido via Google Maps. Acesso em 24/01/2015 às 09h27min.]

No DEE a energia elétrica é entregue no nível de tensão de 13,8 kV e abaixado no transformador de distribuição de 225 kVA para 380V/220V, 60 Hz. No quadro de distribuição mostrado na Figura 21, a energia é encaminhada para os mais diferentes blocos e setores do departamento.

A escolha desse local para instalação do medidor se deu por se tratar de um cubículo de fácil acesso, abrigado das intempéries, no qual o medidor foi instalado com certo grau de segurança no tocante à interferência de pessoas alheias ao processo de medição, obedecendo às especificações de temperatura e umidade para a correta operação do equipamento.

De acordo com o fabricante, o SEL-735 pode ser utilizado em temperaturas que variam de -40°C até 80°C, e com umidade que pode variar de 5% a 95%, sem condensação. Além disso, o equipamento precisa estar em uma altitude de no máximo 2000 metros em relação ao nível do mar. Todas essas especificações foram atendidas no estudo de caso apresentado neste trabalho.



Figura 21. Ponto de instalação do medidor SEL-735 no DEE. [Fonte: Rayan Barreto]

A instalação a ser monitorada apresenta conexão trifásica a 4 fios. O SEL-735 foi conectado com as quatro garras de potencial ligadas a cada uma das fases e ao neutro. O monitoramento das correntes foi realizado por meios de bobinas de corrente (alicate amperimétrico), em cada uma das fases, conforme estabelece o método dos $(n-1)$ elementos, formalizado no Teorema de Blondel, sendo n o número de condutores. O medidor foi ligado à rede elétrica na tensão de 220 V a partir de uma tomada presente dentro do cubículo. No processo de instalação do medidor foram observadas as recomendações de segurança estabelecidas pela NR-10 [18], no tocante à instalação de equipamentos de medição em instalações elétricas energizadas.

As medições que compõem o estudo de caso foram realizadas por 10 dias, de forma ininterrupta, durante o período de 10 a 20 de outubro de 2014 no qual o equipamento permaneceu instalado.

Depois da retirada do equipamento, os dados coletados e armazenados na memória foram transmitidos para um computador, via cabo ethernet, e processados pelo software *AcSELerator QuickSet SEL-5030*.

5.6 GUIA DE INSPEÇÃO

Como forma de facilitar a coleta e o processamento dos dados obtidos nas medições, foi proposto um Guia de Inspeção.

Os dados presentes neste relatório permitem descrever o perfil de consumo da instalação elétrica em questão a partir dos resultados coletados pelo SEL-735. Na Figura 21 pode ser visualizado o local onde foi instalado o medidor. O quadro de distribuição onde foi instalado o equipamento esta localizado no Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG e pode ser localizado no mapa da figura 20 como o ponto verde.

Local de instalação do medidor: Entre os Blocos CG e CH do Departamento de Engenharia Elétrica.

Prédio sob medição: CEEI (Edifício Prof. Telmo Araújo)

Tempo de medição: 10 dias

Responsável pela medição: Rayan Lucas Barreto França

Data de coleta dos dados: 20/ 10/2014.

5.6.1 TENSÃO POR FASE

Na Figura 22 é possível observar o diagrama fasorial das tensões trifásicas no lado de baixa tensão do transformador de distribuição, com os respectivos níveis de tensão e defasamento para cada fase. Conforme pode ser verificado, os valores obtidos nas medições estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução normativa da ANEEL [17].

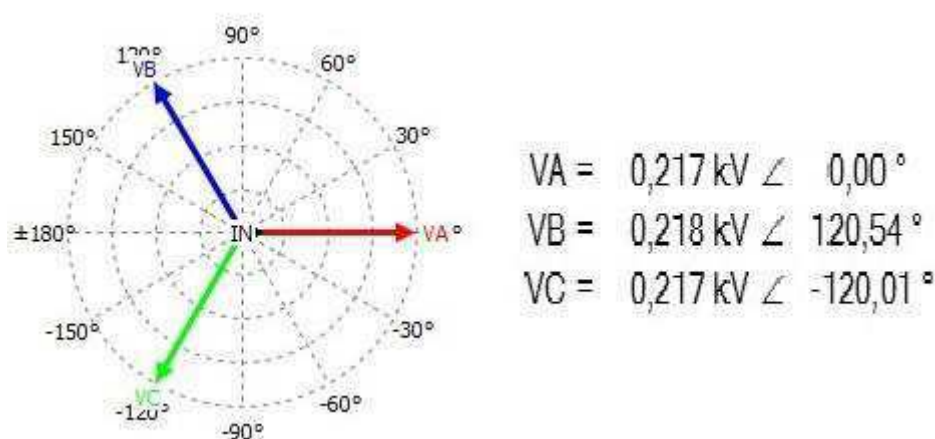


Figura 22. Níveis de tensão no lado de baixa tensão do transformador de distribuição.

5.6.2 FREQUÊNCIA

No Quadro 14 é apresentado o valor medido da frequência do sinal de tensão. Pode-se notar que o valor da frequência do sinal de tensão no secundário do transformador de distribuição está dentro dos valores estabelecidos pelo PRODIST [17].

f (Hz)
60,08

Quadro 14. Frequência do sinal de tensão.

5.6.3 FATOR DE POTÊNCIA

No Quadro 15 são apresentados os valores do Fator de Potência, por fase.

f.p. (fase A)	f.p. (fase B)	f.p. (fase C)
0,95	0,98	0,94

Quadro 15. Fator de Potência por fase.

Como os valores do fator de potência nas três fases está entre 0,92 e 1, eles estão dentro das exigências da ANEEL para esse parâmetro.

5.6.4 TAXA DE DISTORÇÃO HARMÔNICA

Nos Quadros 16 e 17 são apresentadas as taxas de distorção harmônica dos sinais de corrente e de tensão. A determinação destas taxas de distorção harmônica é importante, pois a partir delas é possível detectar a presença de não linearidades no sistema monitorado, facilitando assim, a adoção de técnicas que visem aumentar o grau de eficiência energética da instalação elétrica.

I_a	29,70 %
I_b	73,86 %
I_c	64,70 %
I_N	18,03 %

Quadro 16. Taxa de Distorção Harmônica para corrente.

V_a	2,59%
V_b	2,47%
V_c	2,56%

Quadro 17. Taxa de Distorção Harmônica para tensão.

Para os sinais de corrente, foram verificadas taxas de distorção harmônica superiores a 50% nas fases **B** e **C**. Taxas nesse nível implicam na existência de aquecimento nos cabos e nos circuitos elétricos e magnéticos do transformador. Na fase **A** foi verificada uma taxa de distorção harmônica inferior a 50%, entretanto, por ser maior que 10% isto é um indicativo da presença de cargas causadoras de poluição harmônica.

Nos sinais de tensão foram verificadas taxas de distorção harmônica inferiores a 5%, o que pode ser considerado normal [19].

5.6.5 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA

	Fase A	Fase B	Fase C
W (kWh)	347,00	334,48	335,37

Quadro 18. Energia Elétrica Ativa

5.6.6 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA REATIVA

	Fase A	Fase B	Fase C
Q (kvarh)	105,87	38,24	122,38

Quadro 19. Energia Elétrica Reativa

5.6.7 DEMANDA

	Fase A	Fase B	Fase C
W entregue (kW)	4,91	3,01	4,04
W pico (kW)	6,24	8,13	5,48

Quadro 20. Demanda por fase.

5.6.8 FATOR DE CRISTA

Nos Quadros 21 e 22 são apresentados os fatores de crista para os sinais de corrente e de tensão. O fator de crista é definido como a relação entre o valor de crista da corrente ou da tensão ($I_{\text{máx.}}$ ou $U_{\text{máx.}}$) e o seu valor eficaz.

$$FC = \frac{I_{\text{máx.}}}{I_{\text{rms.}}} \quad (5.3)$$

$$FC = \frac{V_{\text{máx.}}}{V_{\text{rms.}}} \quad (5.4)$$

O fator de crista típico das correntes absorvidas pelas cargas não lineares é superior a $\sqrt{2}$: podendo atingir valores iguais a 1,5 ou 2, chegando até a ultrapassar 5 nos casos críticos.

Um fator de crista muito elevado, como os valores apresentados nas medições realizadas no prédio do CEEI, é um indicativo de sobrecargas pontuais consideráveis. Estas sobrecargas, detectadas pelos dispositivos de proteções, podem dar origem a disparos intempestivos [19].

Para as medições realizadas nos dias 13, 15 e 16 de outubro de 2015, foi verificado que os fatores de crista para os sinais de corrente não estão dentro dos valores esperados. Conforme pode ser visualizado na Figura 23, onde o limite aceitável para o fator de crista é representado pela linha horizontal vermelha.

	FC_{máx}	Data
I_a	8,88	15/10/14
I_b	6,94	16/10/14
I_c	5,55	15/10/14
I_n	7,20	13/10/14

Quadro 21. Fator de Crista para a corrente

	FC_{máx}	Data
V_a	1,41	13/10/14
V_b	1,41	13/10/14
V_c	1,40	13/10/14

Quadro 22. Fator de Crista para a tensão

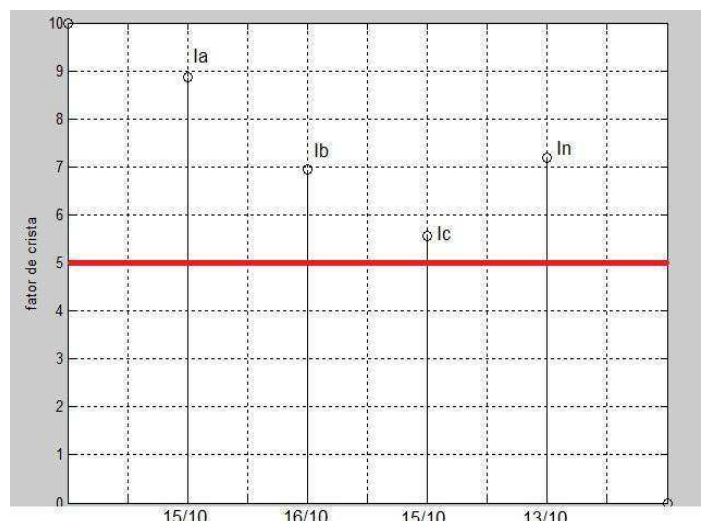


Figura 23. Fator de crista. [Elaboração do autor]

5.6.9 PERFIL DE CARGA

O software *AcSELerator QuickSet* também oferece como recurso a visualização dos perfis de carga da instalação elétrica monitorada. Para o CEEI, foi tomado o perfil de carga a partir da segunda-feira, 13 de outubro de 2014, até a sexta-feira, 17 de outubro. O resultado pode ser visualizado na Figura 24. É possível observar com clareza os picos de consumo de potência no horário comercial dos cinco dias, havendo um vale no meio do consumo correspondente a cada dia, o que corresponde à pausa para o almoço.

Na Figura 25 pode-se visualizar o perfil de carga de um único dia, quarta-feira 15 de outubro. Na imagem é possível notar um crescimento considerável do consumo próximo das 8 h, com uma queda também considerável por volta do meio dia. O consumo volta a crescer próximo das 14 h, com uma queda final após às 18h.

Ao término do horário comercial, pode-se verificar um consumo mínimo de energia, que corresponde em grande parte as lâmpadas que permanecem ligadas durante a noite nas áreas externas, por questão de segurança. O período de amostragem tomado nas medições foi de 15 minutos. A potência reativa corresponde à curva em azul, a potência ativa à curva em verde e a potência aparente está em amarelo.

- Em azul: potência reativa;
- Em verde: potência ativa;
- Em amarelo: potência aparente.

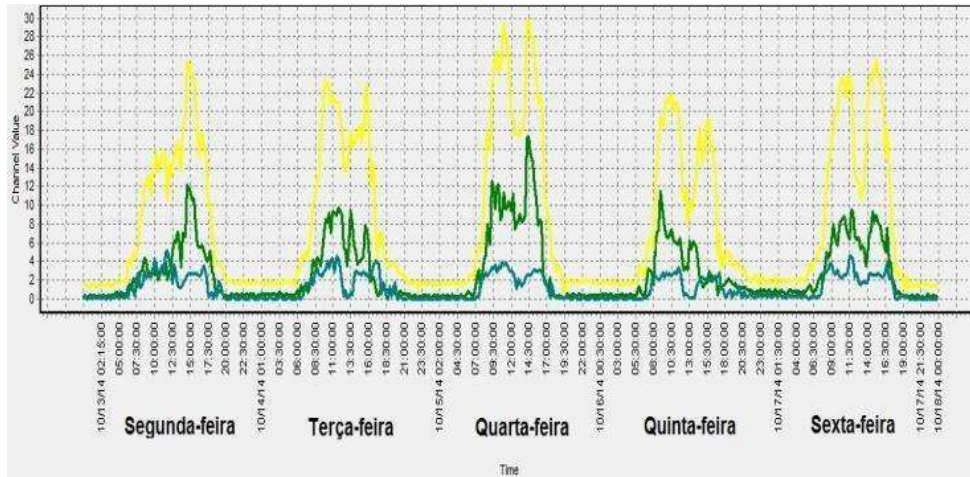


Figura 24. Perfil de carga – 13/10/2014 à 17/10/2014

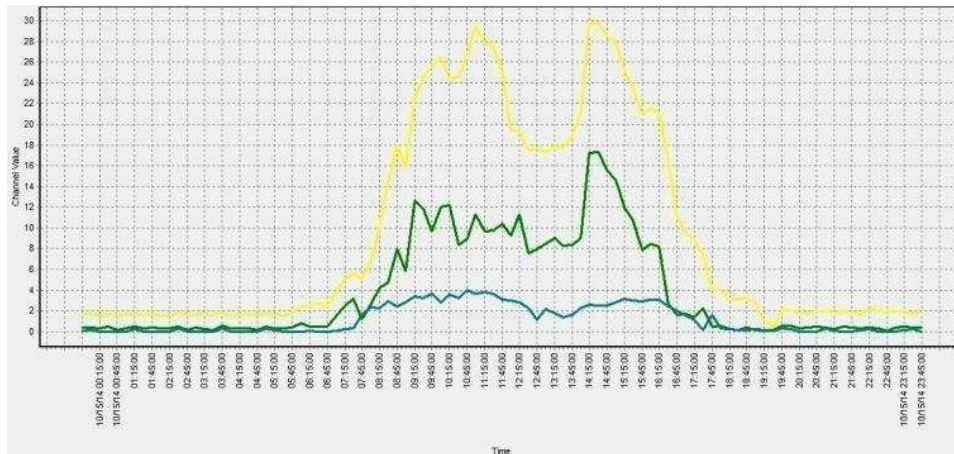


Figura 25. Perfil de carga – 15/10/2014

6 CONCLUSÃO

A partir do exposto nesse Trabalho de Conclusão de Curso, conclui-se que:

- O processo de utilização do aerogerador VERNE555 apresenta elevado grau de eficiência, tendo em vista que além de utilizar a turbina eólica como fonte primária na reação química de produção de hidrogênio (H_2), o produto da reação química, o oxigênio, é liberado diretamente na atmosfera.

- Assim como ocorre na maior parte do Brasil, na UFCG a energia solar também não é devidamente aproveitada como fonte de conversão para energia elétrica. Um dos fatores responsáveis por essa situação é que o custo inicial da tecnologia fotovoltaica ainda não é tão convidativa, entretanto, isso está diminuindo com a evolução tecnológica e o crescimento do uso nos países desenvolvidos.
- A partir da análise dos dados de consumo da frota de veículos da UFCG, constata-se a importância da substituição da gasolina comum por gasolina aditivada, tendo em vista que a gasolina aditivada é composta de detergentes e dispersantes que ajudam a manter limpo o motor do automóvel. Entretanto, devido as constantes variações nos preços dos combustíveis, é necessário efetuar análises de forma regular sobre a viabilidade econômica da utilização desse tipo de combustível.
- Faz-se necessário a definição de metas e critérios a serem cumpridos, visando o uso eficiente da frota de veículos da UFCG. Como, por exemplo, a priorização do agendamento para agrupamento de diferentes usuários por unidade de veículo. Além de dar preferência ao uso dos automóveis mais leves e econômicos em viagens.
- A partir da análise das faturas de energia elétrica da UFCG, constata-se a necessidade de adequação do grupo tarifário no qual a instituição está inserida. A melhor opção para a UFCG é a transferência para o subgrupo Azul A3. Todavia, seria necessário a construção de uma subestação de 69 kV para o enquadramento nesse subgrupo tarifário.
- A análise da taxa de distorção harmônica e do fator de crista para os sinais de corrente mostrou que, provavelmente, devido às características dos principais equipamentos eletroeletrônicos utilizados no prédio do CEEI, há uma circulação excessiva de harmônicas na rede diminuindo a qualidade da energia elétrica fornecida à instalação e ocasionando a sobrecarga no condutor do neutro.

REFERÊNCIAS

- [1] IUPAC Gold Book: Nuclear fusion reaction, consultado em 20/02/2015.
- [2] CASTRO, F. N.; LUCIANO, B. A. Eficiência energética em sistemas de iluminação pública. Revista O Setor Elétrico, v. 7, p. 38-47, 2012.
- [3] HADDAD, J. (Org.). Eficiência energética: integrando usos e evitando desperdícios. Brasília: ANEEL; ANP, 1999. 432 p.

- [4] MARQUES, M. C. S., HADDAD, J. e GUARDIA, E. C. (Coordenação) *Eficiência Energética: teoria & prática*. 1ª ed. Itajubá: FUPAI, 2007.
- [5] MORAN, M. J. e SHAPIRO, H. N. *Princípios de Termodinâmica para Engenharia*. 7ª Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [6] ROVERE, E. L. L. (Coord.) *Estimativa da redução das emissões de GEE até 2030, a partir de cenários de eficiência energética para veículos leves no Brasil*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, abril de 2014.
- [7] INTERBROS TECNOLOGIA E SOLUÇÕES DE INTERNET LTDA. *Carona Brasil: Solução sustentável de compartilhamento de veículos para o mundo universitário*. Brasil. São Paulo. 2014.
- [8] DIAS, C., LOPES, D. R., FERREIRA, L. M., BALES, M. P., SILVA, S. R. *Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo*. São Paulo. 2011 – 2013.
- [9] J. C. Oliveira e A. C. Delaiba, “Qualidade da Energia Elétrica,” Minicurso ministrado no Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Campina Grande, 17 a 19 de Julho de 2006.
- [10] H. S. Bronzeado e A. J. P. Ramos, “Uma proposta de nomenclatura nacional de termos e definições associados à qualidade da energia elétrica”. *Revista Eletricidade Moderna*. São Paulo: Aranda, p. 50-55. Março de 1998.
- [11] C. G. Oliveira, F. Sato, E. R. Filho, M. M. Kubo, “Estudo de caso de Eficiência Energética e Qualidade de Energia Elétrica”. In: *Anais da VIII Conferência Internacional de Aplicações Industrial - INDUSCON*, Poços de Caldas, Agosto de 2008.
- [12] D. F. P. Moura e B. A. Luciano, “Eficiência energética e qualidade de energia: estudo dos efeitos das harmônicas em lâmpadas fluorescentes compactas”. In: *Anais da 52a Reunião Anual da SBPC*, Brasília, 2000.
- [13] R. S. Nóbrega e B. A. Luciano, “Qualidade de energia associada à eficiência energética”. In: *Anais do VIII Encontro de Iniciação Científica da UFPB, Ciências Exatas e Engenharias*. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2000. v. I.
- [14] B. A. Luciano e J. E. Souza Filho, “Eficiência energética relacionada com a redução de perdas e com a qualidade de energia elétrica”. In: *Anais do IX Encontro de Iniciação Científica da UFPB*. João Pessoa: UFPB, 2001.
- [15] J. M. C. Albuquerque e B. A. Luciano, “Eficiência energética e qualidade de energia elétrica: uma abordagem sistêmica incluindo estudo de casos”. In: *Anais do X Encontro de Iniciação Científica da UFPB*. João Pessoa - PB: UFPB, 2002.

- [16] A. D. Pereira, “Eficiência energética e qualidade de energia em sistemas de distribuição de energia elétrica”. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, 2012.
- [17] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema nacional. PRODIST, Módulo 8, "Qualidade de Energia Elétrica", Resolução Normativa No 469/2011.
- [18] NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE. Portaria GM nº 598, de 07 de dezembro de 2004.
- [19] SCHNEIDER ELETRIC/Procobre. Workshop – Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Qualidade de energia – Harmônicas, março de 2003.
- [20] SECRETARIA de LOGÍSTICA e TECNOLOGIA da INFORMAÇÃO do MINISTÉRIO do PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO e GESTÃO. Instrução Normativa Nº 10, 12 de novembro de 2012, publicada no D.O.U., nº 220, de 14/11/2012, Seção I, pág. 113.
- [21] BARBOSA, R. Manual de iluminação pública eficiente. Rio de Janeiro: IBAN-DUMA/ELETROBRÁS-PROCEL, 1998.
- [22] FADE-UFPE/CEPEL. Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).
- [23] ALVAREZ, A. L. M. Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [24] SAIDEL, M. A.; ALVAREZ, A. L. M. The Rational Electric Energy Use in University Campus of São Paulo's University. *Renewable Energy*, São Paulo, v. 15-16, n.4004, p. 2563-2566, 1998.
- [25] Silveira, S. e Reis L. B. dos. Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável: Introdução de uma Visão Multidisciplinar 2ed. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- [26] Departamento de Qualidade Ambiental da Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. PLANO DE CONTROLE DE POLUIÇÃO VEICULAR, DIAGNÓSTICO E ACOMPANHAMENTO.