



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica

Magno Maia Torres

**Gerência do Consumo de Energia via *On Grid* com Análise do uso
de Energia Solar**

Campina Grande – PB

Março de 2018

Magno Maia Torres

Gerência do Consumo de Energia via *On Grid* com Análise do uso de Energia Solar

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação de Curso de Graduação 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: Processamento de Energia

Orientador: Edmar Candeia Gurjão

Campina Grande – PB

Março de 2018

Magno Maia Torres

Gerência do Consumo de Energia via *On Grid* com Análise do uso de Energia Solar

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação de Curso de Graduação 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.

Trabalho aprovado em: Campina Grande - PB, / /

Leimar de Oliveira, UFCG

Professor Avaliador

Edmar Candeia Gurjão, UFCG

Professor Orientador

Campina Grande – PB

Março de 2018

Dedico este trabalho à mãe natureza, que ainda nos fornece alternativas para o nosso sustento, mesmo com toda a destruição praticada pelo ser humano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, Neuza e Gaspar, por me darem todo o apoio necessário para seguir na minha jornada. Agradeço a minha irmã Bruna, pelos momentos sinceros.

Agradeço a toda a minha família, que é unida em todos os momentos. Em especial, agradeço aos meus avós, por acreditarem na minha capacidade.

Agradeço ao professor Edmar Candeia, que me orientou neste trabalho e, em sala de aula, mostrou-me ter uma didática de ensino que deveria ser base para todos os professores de Engenharia Elétrica.

Agradeço aos meus amigos Francisco Flávio, Aquiles, Leiza e Cleuves, por me ajudarem nos momentos mais difíceis do curso. Também agradeço aos meus colegas de trabalho, Edmar Pinto e Valber, por darem muitas dicas de soluções de engenharia, que só são percebidas na prática.

Por fim, agradeço a Tchaikowsky e, principalmente, Adail, que me deu apoio em um dos momentos mais conturbados da graduação, o meu acidente.

Que um dia a nossa energia se dissipe pela natureza e sirva de alimento para a fauna ea flora, assim como a fauna ea flora foram nossos alimentos, por toda a eternidade.

RESUMO

Este trabalho objetiva a pesquisa econômica da possível utilização de um banco de baterias alimentando as cargas do bloco CJ, edifício da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), caso se adotasse a bandeira tarifária branca. Inicialmente, o trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre os temas relevantes sobre a energia solar, uma alternativa renovável que pode servir para carregar as baterias idealizadas no sistema. Também é explicado o funcionamento da tarifa branca. A última parte deste trabalho mostra a possibilidade na redução do custo no consumo de energia do bloco CJ.

Palavras-chave: Bandeira Branca, Sistema, Fotovoltaico.

ABSTRACT

This work aims at the economic research of the possible use of a battery bank feeding the loads of the CJ block, Federal University of Campina Grande (UFCG), if the white tariff was adopted. Initially, the work presents a bibliographical review on the relevant topics on solar energy, a renewable alternative that can be used to charge the idealized batteries in the system. It also explains the operation of the white tariff. The last part of this work shows the possibility in reducing the energy consumption cost of the CJ building.

Keywords: White Flag, System, Photovoltaic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01.....	17
Figura 02.....	18
Figura 03.....	20
Figura 04.....	21
Figura 05.....	23
Figura 06.....	25
Figura 07.....	27
Figura 08.....	31
Figura 09.....	33
Figura 10.....	34
Figura 11.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 01.....	29
Tabela 02.....	30
Tabela 03.....	32
Tabela 04.....	33
Tabela 05.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EUA	United States of America
GW	<i>Gigawatt</i>
KVA	<i>Kilovoltampere</i>
KWh	<i>Quilowatt-hora</i>
KW	<i>Quilowatts</i>
MW	<i>Megawatt</i>
R\$	Reais
TE	Tarifa de Energia
TUST	Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Organização do Trabalho.....	15
2. Fundamentação Teórica.....	16
2.1 Energia Renovável Derivada do Sol.....	16
2.1.1 Energia Solar Térmica.....	16
2.1.2 Energia Solar Fotovoltaica.....	18
2.1.2.1 Eficiência das Células Fotovoltaicas.....	19
2.1.2.2 Preço das Células Fotovoltaicas.....	21
2.1.2.3 Crescimento do Uso da Energia Fotovoltaica.....	22
3. Coordenação e Sincronismo do Sistema Fotovoltaico.....	25
3.1 Bandeira Tarifária Branca.....	27
4. Metodologia de Pesquisa.....	29
4.1 Sistema de Energia Solar na Bandeira Branca.....	29
5.1.1 Banco de Baterias.....	30
5. Resultados.....	31
5.1 Consumo Total Fora do Horário de Ponta.....	32
5.2 Consumo Total nos Horários Intermediários.....	33
5.3 Consumo Total no Horário de Ponta.....	34
5.4 Economia com Sistema de Bandeira Branca.....	35
6. Considerações Finais.....	37
Referências Bibliográficas	38
Anexa A.....	40

1 Introdução

A operação de energia elétrica para transmissão e distribuição, tem alto custo de manutenção dos equipamentos. É preciso, cada vez mais, de novas tecnologias para diminuir o consumo energético, e estimular a geração de energia renovável.

Com isso, o gerenciamento de energia em tempo real (*On Grid*), pode possibilitar a economia ao evitar consumos desnecessários. Com os dados em tempo real, a gerência *On Grid* potencializa alternativas de engenharia para que o sistema fique mais eficiente.

Uma dinâmica de controle pode ser construída com a finalidade de otimizar a operação do sistema. Para isso, é preciso estudos que abranjam várias alternativas para o sistema.

Uma das necessidades, é a possibilidade do uso mais eficiente da energia solar, evitando que a rede elétrica atenda as cargas em horários de pico, quando a bandeira tarifária faz cobranças extras pelo consumo. Toda a energia solar gerada deve atender as cargas em tempo real, proporcionando não só a diminuição do abastecimento pela concessionária, em dias com tarifa alta, mas, também, tendo a sua utilização diminuída ao máximo, independente da bandeira.

Outro modo de economia, é o uso da energia da rede fora dos horários de pico, onde a bandeira é branca. Nesses horários, consumidores acima de 500 kWh por mês, pagam de 10% a 20% a menos pelo consumo.

1.1 Objetivos

O objetivo principal é fazer uma estimativa econômica de consumo do bloco CJ, caso a UFCG adote a tarifa branca. Essa estimativa fará a comparação com a tarifação convencional, atualmente adotada pelo campus.

Analisar a bandeira branca e implementar formas de gerenciar a utilização da energia elétrica em consumidores com energia própria, com intuito de minimizar o uso da energia da concessionária.

Além disso, aprimorar o uso da geração de energia proveniente do sol, para atender as cargas, de tal forma que o estudo aborda um possível carregamento de um banco de baterias por meio de painéis solares, supondo que esse sistema não perderá o sincronismo com a rede elétrica. Dessa forma, o estudo consiste em prever o consumo obtido no final do mês, com essas baterias alimentando as cargas no horário de ponta.

Dentre os objetivos específicos da referida pesquisa podem ser citados: (i) avaliar a padronização do controle dinâmico a rede de distribuição, possibilitando o conhecimento de qualidade para melhorias; (ii) elucidar a instalação do sistema fotovoltaico, proporcionado pelas concessionárias; (iii) melhorar aproveitamento de energia, estimulando o uso da energia solar; (iv) estudar o nível de consumo no horário de ponta, por meio de medições em tempo real, para viabilizar a dedicação do banco de baterias nesse horário, e, assim, tentar prever a redução dos custos; e (v) avaliar o consumo de potência ativa via *On Grid*.

1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em 7 capítulos. O capítulo 1 é introdutório e contextualiza o trabalho, define seus objetivos e apresenta a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica do trabalho e faz uma revisão bibliográfica da células fotovoltaicas, tema básico do trabalho.

O Capítulo 3 apresenta a coordenação e burocracia para instalação para instalação dos medidores e sistema de geração solar. Também será feito um estudo sobre a bandeira tarifária branca, onde é mostrado as vantagens e desvantagens, assim como a exposição de formas inteligentes de consumo para diminuir os gastos na fatura.

No Capítulo 4 é feito uma exposição da plataforma *On Grid* e um estudo de

caso em volta da curva de carga, levantada pelos valores fornecidos via *On Grid*.

No Capítulo 5 é mostrado os resultados resultados obtidos com o dados coletados na plataforma *Graphana*.

No capítulo 6 apresenta as considerações finais sobre o trabalho e possíveis trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

No decorrer desta seção, serão apresentados e descritos os temas relacionados à energia renovável derivada do sol, com uma breve revisão bibliográfica em torno da tecnologia na eficiência das placas e telhas solares.

2.1 Energia Renovável Derivada do Sol

A energia solar é uma energia eletromagnética derivada do sol, que é transformada em energia elétrica por meio de diversos processos e métodos. Esse tipo de energia é muito conhecida por abrir debates sobre a possibilidade de amenizar o consumo de energia fornecida pela rede elétrica.

No entanto, a energia solar não é usada apenas para ser convertida para o consumo de energia elétrica, apresentando, também, outras características de utilização. É com essa premissa que será comentado alguns dos processos de geração, tomando como base as duas principais formas de aproveitamento de energia, que são a elétrica e a térmica.

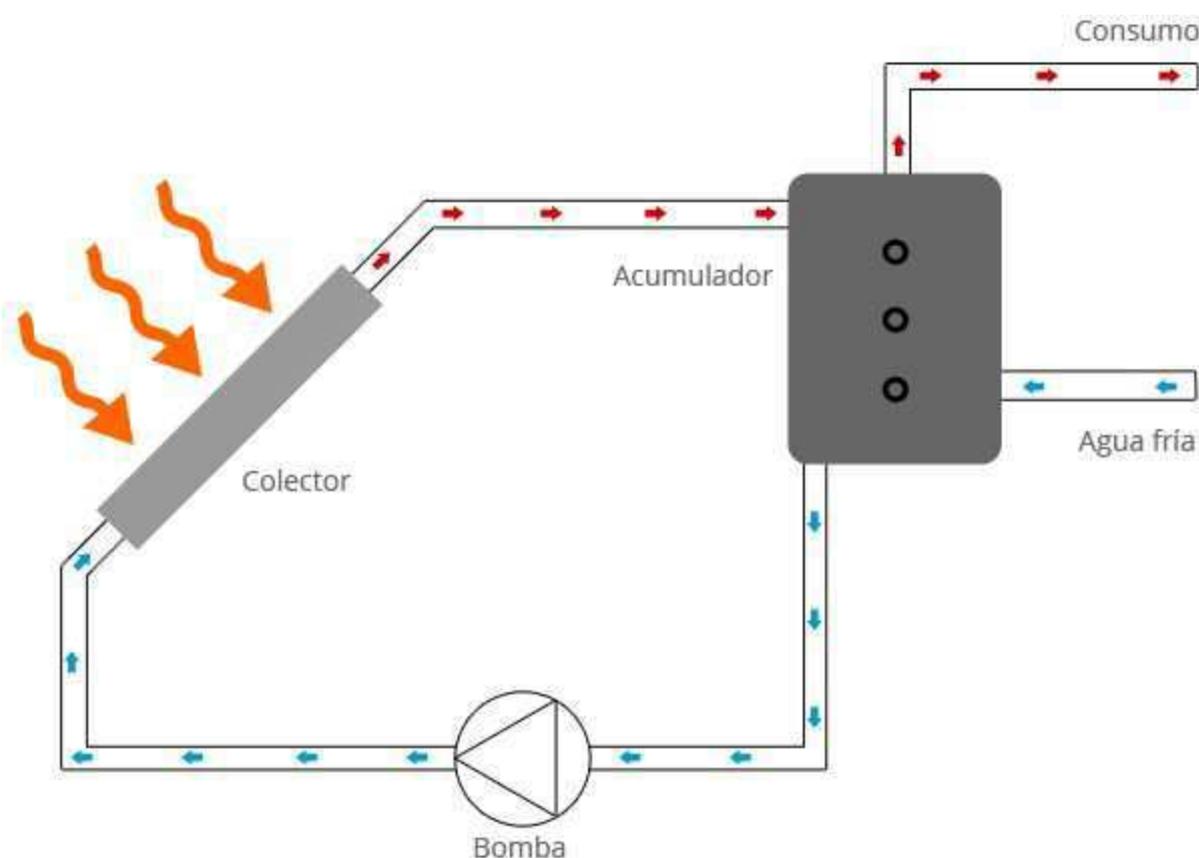
2.1.1 Energia Solar Térmica

A energia solar térmica aproveita a energia proveniente do sol para gerar energia térmica, que pode ser convertida em energia elétrica, ou para outros fins comerciais.

A forma de energia solar térmica mais conhecida é a transferência de calor para recipientes de água, com a finalidade de ser utilizada para higiene pessoal. Outra finalidade, além do uso residencial, é o aquecimento de água para fins industriais.

Na Figura 1, apresenta-se um sistema simplificado de energia solar térmica, onde o coletor aquece e transfere calor para o acumulador por meio da circulação da água feita pela bomba. O líquido aquecido é enviado para consumo. No recipiente do acumulador, as moléculas de água quente, por serem mais leves, ficam na parte superior, e as moléculas de água fria, mais pesadas, se aloca na parte inferior e retomam o ciclo.

Fig. 1 – Representação de um sistema de energia solar térmica



Fonte: Adaptada de <http://www.ekidom.com/tipos-de-instalaciones-solares-termicas> .

Os coletores são equipamentos que são sensíveis a radiação solar, transformando-a em calor, que é transferido para um fluido. Nesses coletores, têm um ponto de foco na superfície refletora, onde está localizado um receptor, que possibilita o escoamento do fluido.

Também na energia heliotérmica, é utilizado um sistema de concentradores explicado no parágrafo anterior, sendo o líquido aquecido dentro dos concentradores transformado em vapor, impulsionando uma turbina que gera energia elétrica. Na Figura 2, têm-se exemplos de concentradores parabólicos e torre de concentração solar, mostrando uma estrutura real de energia heliotérmica.

Fig. 2 – Representação de um sistema de energia solar térmica



Fonte: Adaptada de <https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar-.html> .

2.1.2 Energia Solar Fotovoltaica

A energia fotovoltaica é outra forma de aproveitamento da irradiação solar para gerar energia elétrica, por meio da conversão direta de luz em eletricidade. O que possibilita essa conversão são células fotovoltaicas, fabricadas com material semicondutor.

A distribuição da luz solar é feita por todo o globo terrestre, mas o nível da intensidade solar depende da região. Ou seja, lugares mais perto da linha imaginária do equador têm maior irradiação solar.

O Brasil está numa região do planeta terra que proporciona um grande potencial solar como alternativa energética. Para entender como essa fonte de energia é utilizada, será exposto a seguir, a evolução na eficiência das células fotovoltaicas, a redução dos custos e os principais motivos que resultaram no crescimento do uso da energia fotovoltaica nos últimos anos.

2.1.2.1 Eficiência das Células Fotovoltaicas

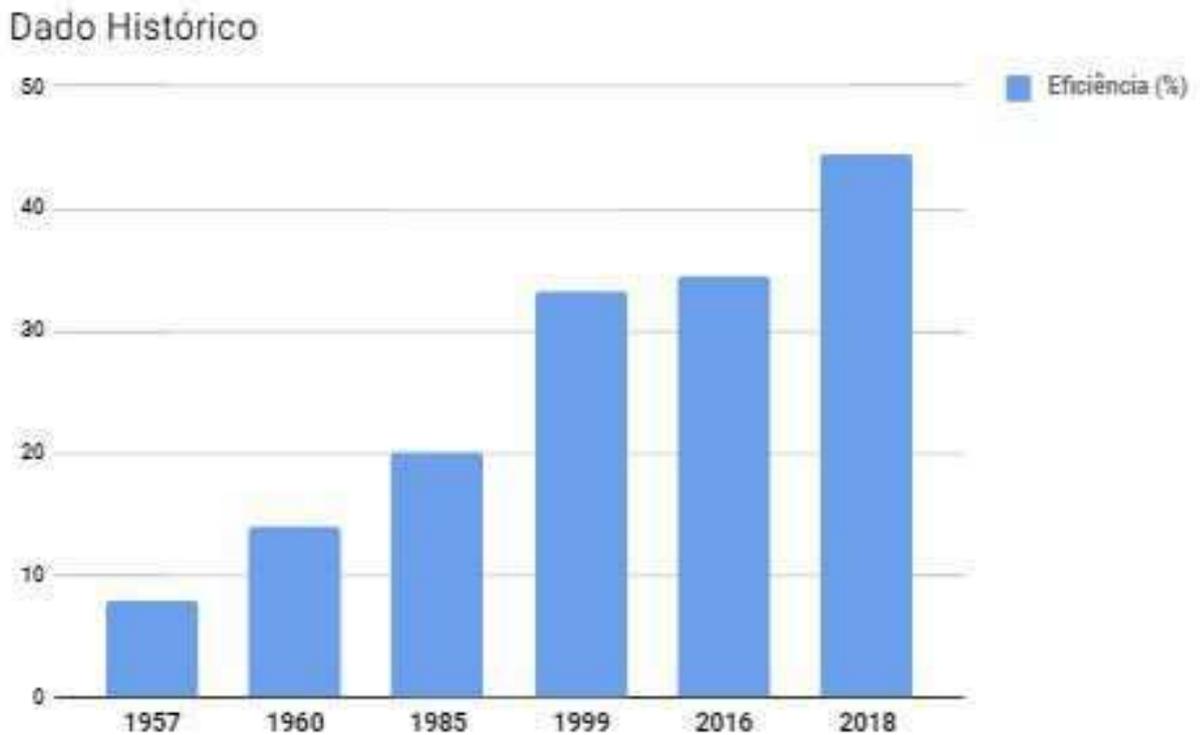
Para entender o crescimento da capacidade de geração da energia solar no mundo, será feita uma análise da eficiência das células solares. Essa análise conterá dados sobre o aumento histórico da eficiência durante os anos, e quais serão as estimativas para o futuro.

A eficiência das placas consiste na porcentagem de energia solar irradiada na fotocélula que é convertida em energia elétrica. Ou seja, quanto maior for a sua eficiência, mais energia em *Watts* por metro quadrado será gerada.

A primeira tecnologia com geração solar foi criada em 1873, pelo engenheiro eletricitista *Willoughby Smith*, quando ele descobriu que o selênio tinha propriedades fotocondutiva. Só em 1883, foi criada a primeira célula solar pelo inventor *Charles Fritts*, que era a base de *selênio*.

Na Figura 3, é apresentado um gráfico com os principais pontos da evolução histórica da eficiência de geração das placas solares. De 1957 a 1960, a *Hoffman Eletronics* obteve uma eficiência de 8% para 14%. Em 1985, a Universidade de *South Wales*, nos EUA, conseguiu desenvolver células a base de silício com 20% de eficiência. Em 1999, o *National Renewable Energy Laboratory* em conjunto com a *Spectrolab Inc.*, alcançaram uma eficiência de 33%, um recorde quebrado de forma expressiva somente em 2016, quando a Universidade de *South Wales* conseguiu elevar a eficiência para 34,5%.

Fig.3 – Evolução histórica da eficiência das células fotovoltaicas



Fonte: Adaptada pelo próprio autor.

No ano de 2017, foi descoberta na Universidade *George Washington* a célula solar mais eficiente do mundo, com uma eficiência de 44,5%. Essa tecnologia usa painéis fotovoltaicos concentrados, com lentes que concentram luz em pequenas fotocélulas. Um dos pesquisadores mais influentes nessa pesquisa, o Dr. *Matthew Lumb*, afirma que "O nosso novo dispositivo é capaz de desbloquear a energia armazenada nos fótons de longa duração, perdidos nas células solares fotovoltaicas convencionais e, portanto, fornece um caminho para a realização da célula solar de multi-junção final".

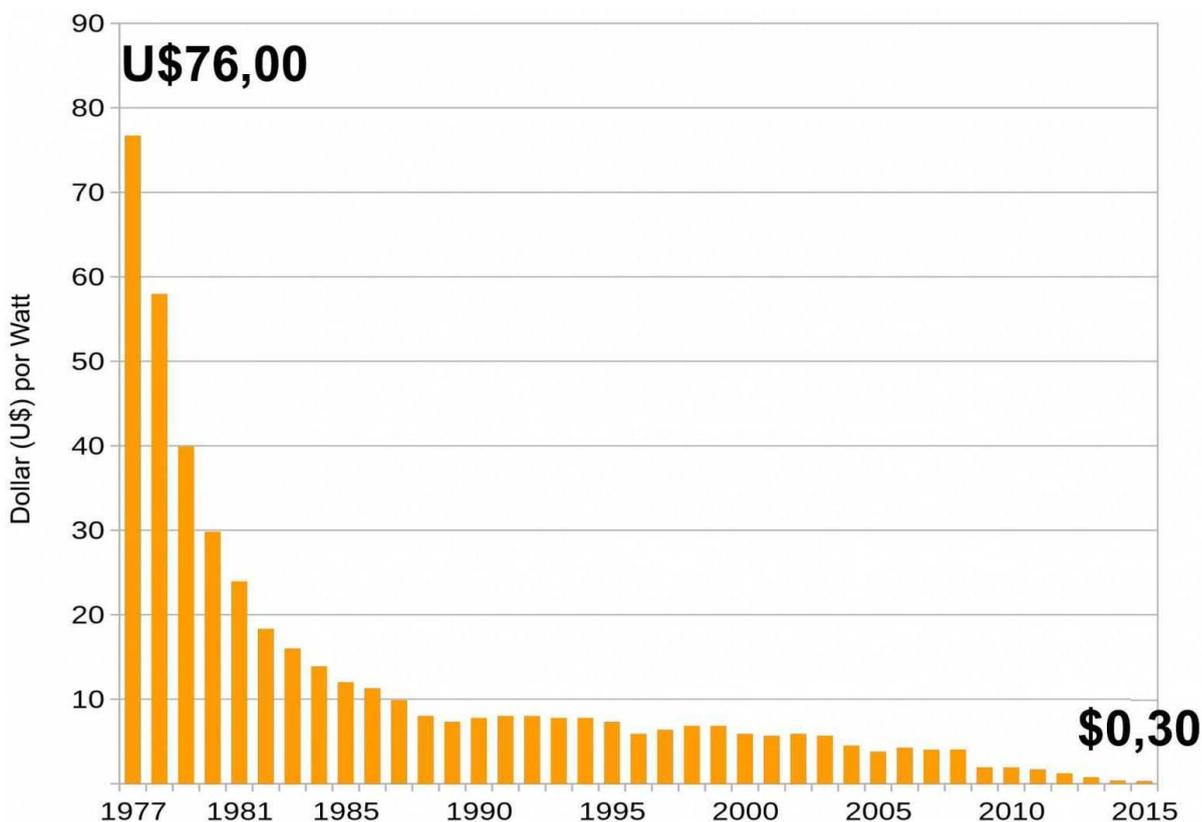
Os estudos dessa pesquisa mostram que as placas comercializadas, que têm uma eficiência máxima de 25%, necessitam apenas da metade do espaço para produzir a mesma quantidade de energia elétrica. Conclui-se que a acessibilidade comercial da energia solar não acompanha a evolução tecnológica com a mesma proporção.

2.1.2.2 Preço das Células Fotovoltaicas

Considerando o custo do material fabricado e a sua abundância no planeta, será mostrado uma pesquisa histórica sobre preço e acessibilidade da energia solar. Em seguida, será feito uma reflexão sobre o aumento da eficiência e custo de mercado.

Na Figura 4, é apresentado um gráfico da redução do custo das placas fotovoltaicas no decorrer do últimos quarenta anos.

Fig.4 – Redução histórica do custo das células fotovoltaicas



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html> .

Observa-se que o custo das fotocélulas vem diminuindo durante os anos, tornando o aproveitamento da energia solar mais viável. Essa estatística se justifica pelo aprimoramento de fabricação, aumento na escala de produção e elevação da eficiência, resultado dos avanços tecnológicos.

A eficiência é o fator que mais influencia no barateamento das placas, pois a tecnologia vai se tornando ultrapassada, forçando um menor custo de mercado.

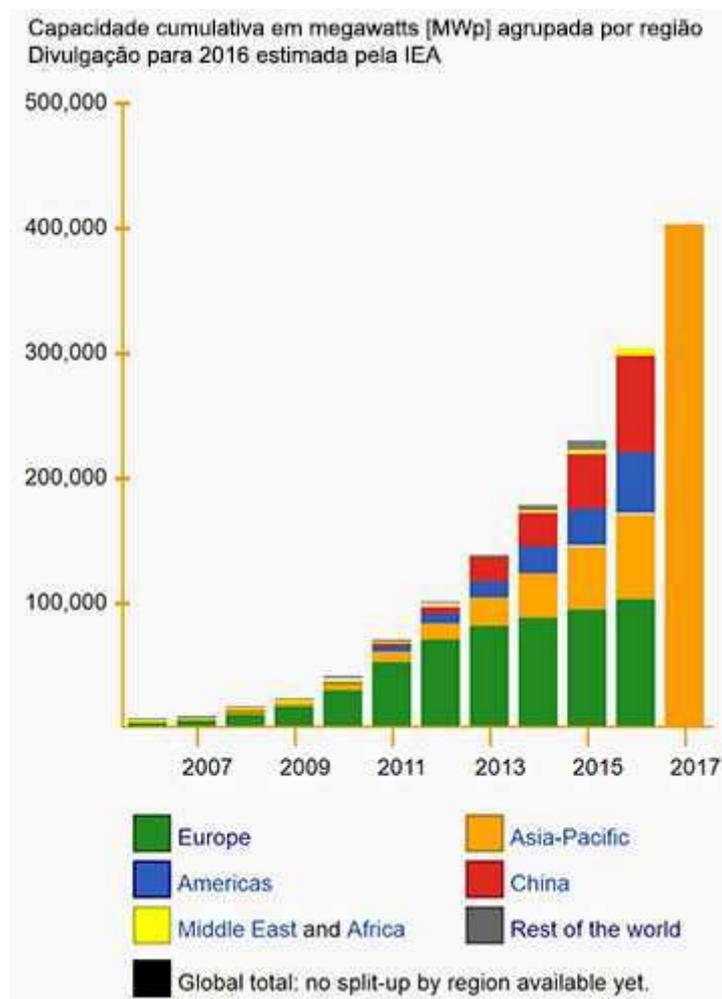
Como foi apresentado na seção anterior, as placas mais eficientes do mundo não predominam o mercado a curto prazo. Esse fato se justifica, principalmente, pela matéria prima escassa que é utilizada para proporcionar a alta eficiência, ou a complexidade de fabricação das fotocélulas, tornando inviável para ser comercializadas. O ideal é se fazer estudos para que essas placas de alta eficiência se tornem viáveis economicamente, com a menor necessidade de manutenção.

2.1.2.3 Crescimento do Uso da Energia Fotovoltaica

Apesar da eficiência das células solares serem muito baixas do ponto de vista de engenharia, o incentivo do uso dessa alternativa de geração, proporcional a diminuição do custo econômico, impulsionaram a energia fotovoltaica para a terceira fonte de energia renovável mais importante a nível mundial, em termos de capacidade instalada.

Para entender o crescimento de uso dessa tecnologia e, posteriormente, explicar os impactos desse efeito, Na Figura 3 é mostrado um gráfico de evolução da energia fotovoltaica durante um intervalo de mais de dez anos.

Fig. 5 – Crescimento global da energia solar fotovoltaica



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html> | .

Observa-se pelo gráfico que, em 2007, o uso da energia fotovoltaica era quase irrelevante, com um valor aproximado de 10 MW. Contudo, houve um crescimento significativo durante os últimos dez anos, já que em 2017 a capacidade cumulativa era de 401,5 MW.

Outra observação importante é que o ápice de crescimento foi no ano de 2012, com um valor de 43%, pois, até esse ano, o crescimento era exponencial. No decorrer dos cinco anos seguintes, teve uma diminuição de quase 10% no crescimento da capacidade cumulativa, já que nos anos de 2016 e 2017 tiveram, respectivamente, um crescimento de 32% e 31%.

É com esses dados que se conclui que o incentivo para a implementação da energia fotovoltaica já não é como antes, o que explica a desaceleração no crescimento no mercado europeu. Apesar desta estatística, pesquisadores da área estimam a constante tendência de aumento no aproveitamento de energia solar nos próximos anos, podendo se tornar a principal alternativa de energia renovável.

Como o Brasil demorou a incentivar o uso da energia solar, pelo alto custo das células solares e as constantes manutenções exigidas no sistema de baixa eficiência, o uso da tecnologia fotovoltaica demorou a sair da inércia de crescimento, tendo um atraso de dez anos em comparação aos países desenvolvidos. Em contraponto, apesar do crescimento de capacidade cumulativa total de energia fotovoltaica ter diminuído nos últimos anos, no Brasil houve um enorme crescimento, ainda com grandes expectativas de aumento no decorrer dos próximos anos.

Segundo a associação brasileira de energia solar fotovoltaica, no Brasil houve uma expansão de 325% na capacidade instalada. Apesar da alta carga tributária no país, a queda nos preços e o aumento da eficiência nas placas deram mais segurança para o brasileiro adotar esse meio de geração como alternativa.

E o banco de informações de geração da agência nacional de energia elétrica, estipula que, até o ano de 2024, a expectativa da capacidade instalada de geração solar chegue a 7 GW.

Mesmo com os dados apresentados nessa seção, a tecnologia do sistema de energia solar ainda apresenta dúvidas sobre a sua estabilidade. A coordenação com a rede elétrica é pouco eficiente, os equipamentos apresentam muitos defeitos, necessitando de constante manutenção, e o preço ainda não justifica a baixa eficiência de geração de energia. Apesar desses problemas, a energia fotovoltaica é uma das formas de geração de energia elétrica mais limpa existente, além do sol ser a fonte de energia mais abundante do planeta, assim, formas para melhorar o aproveitamento da energia solar devem ser aprimoradas.

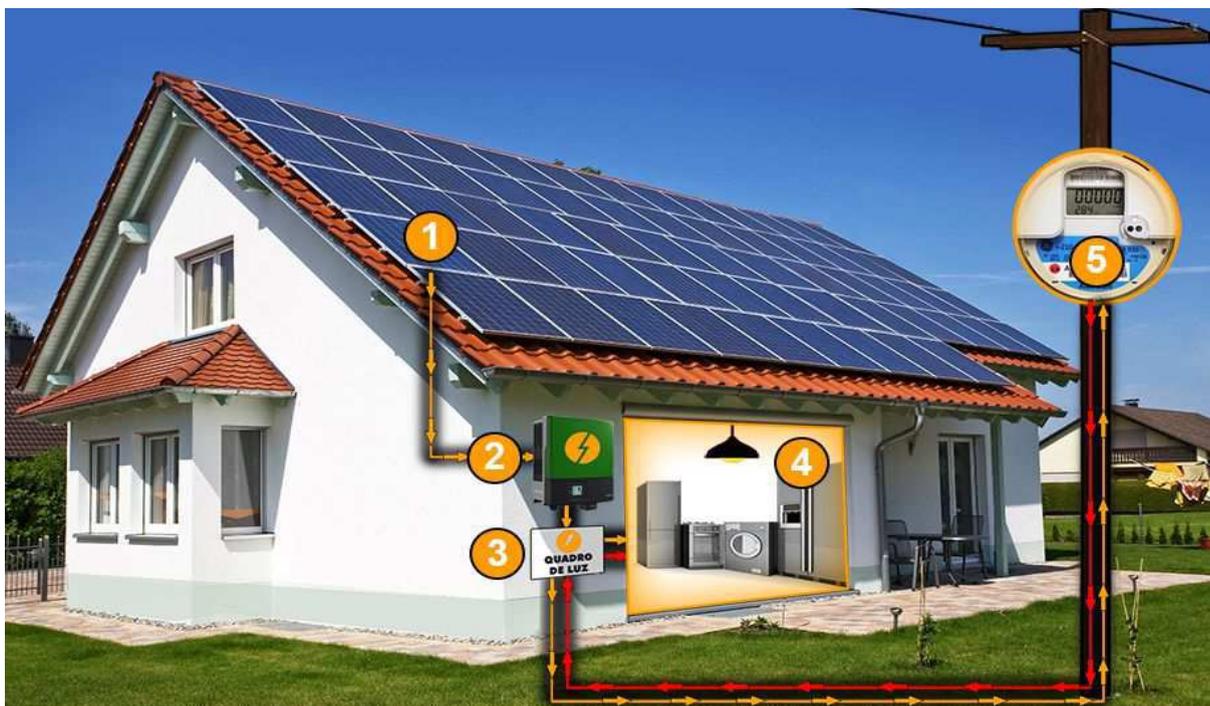
3 Coordenação e Sincronismo do Sistema Fotovoltaica

Nesta seção, será visto o processo burocrático de solicitação para a concessionária para implementar o sistema de sincronismo das placas com a rede elétrica, mostrando algumas dificuldades de instalação. Também será explicado a função da bandeira branca.

Com a possibilidade da energia gerada ser injetada na rede elétrica, por compensação de créditos, tornou-se desnecessário o uso das baterias para o armazenamento de energia. O problema está no sincronismo da coordenação criada pela ANEEL, que exige o desligamento do inversor numa possível interrupção do sistema elétrico, tornando as fotocélulas inutilizadas.

Na Figura 4, é apresentado um sistema real de energia solar fotovoltaica, mostrando toda a coordenação dos equipamentos, desde a geração, até o consumo e a injeção na rede.

Fig. 6 – Representação de um sistema de energia solar fotovoltaica



Fonte: Adaptada de <https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html> .

A coordenação do sistema mostrado na Figura 4 funciona da seguinte maneira:

- Passo 1: Os painéis fotovoltaicos reagem com a luz solar e produzem energia elétrica, que é transferida para o inversor.
- Passo 2: O inversor faz o gerenciamento inteligente do sistema, convertendo corrente contínua em corrente alternada, que vai para o quadro de luz.
- Passo 3: O quadro de luz distribui a energia para o consumo da residência.
- Passo 4: Todos os equipamentos elétricos são alimentados com essa energia, ou as cargas pré-estabelecidas.
- Passo 5: A energia que não é consumida é injetada na rede pelo medidor bidirecional, gerando créditos.

Os medidores bidirecionais são instalados para creditar a energia que é injetada na rede, podendo ser utilizada para consumo. O medidor faz o abatimento da energia creditada com a energia da rede, possibilitando reduzir ao mínimo o consumo pela concessionária. Por sua vez, o custo nunca será zerado, e o valor da taxa mínima a ser paga dependerá da carga instalada do consumidor.

Se o crédito energético for maior que a energia consumida, essa reserva poderá ser utilizada por outras unidades de consumo que estejam registradas pela mesma pessoa. Esses créditos também poderão servir para um consumo futuro, tendo uma validade de até 60 meses.

Para aderir a esse sistema por compensação de energia, é necessário que o contratante seja consumidor cativo e compre sua energia diretamente da distribuidora. Com a solicitação à concessionária e o perfil do consumidor aprovado após a inspeção, o medidor especial é custeado pelo solicitante e instalado gratuitamente, com os custos de manutenção e possíveis substituições de responsabilidade da distribuidora.

Uma barreira estabelecida pela resolução 482/12 da ANEEL, é que a potência em KW do sistema de energia solar fotovoltaico não pode ultrapassar a demanda contratada, acarretando em multa.

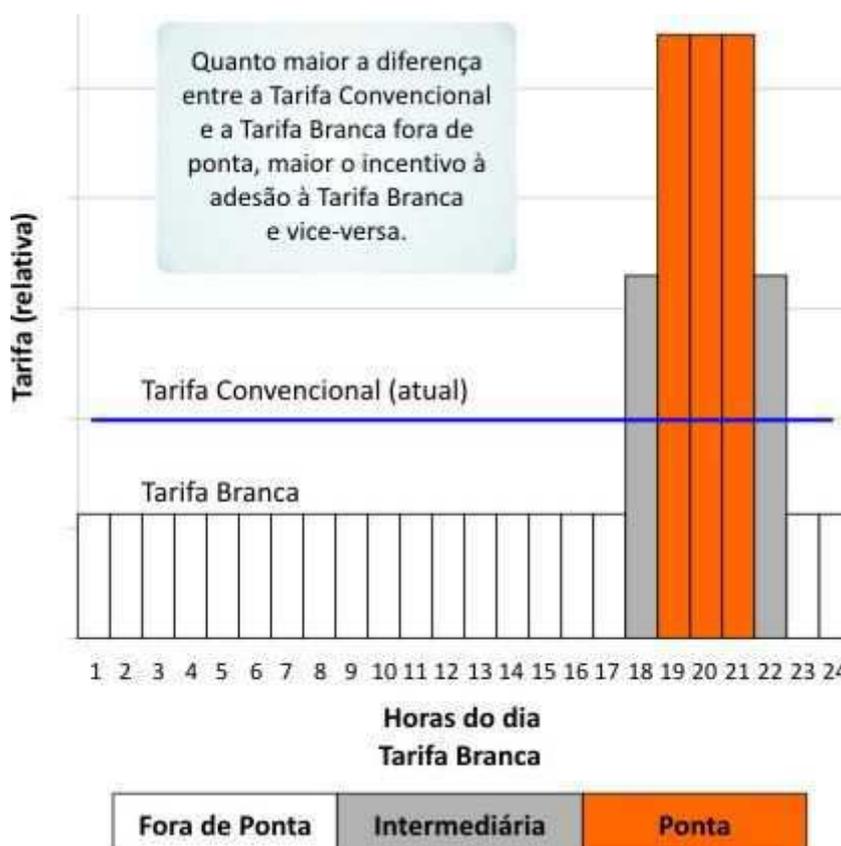
3.1 Bandeira Tarifária Branca

A bandeira tarifária branca é uma forma de tributação opcional para consumidores com a carga instalada mínima de 500 KW. Essa forma de tarifação tem como objetivo estimular os consumidores de porte industrial, a evitarem o consumo no horário de ponta.

O horário de pico é um tempo em que a curva do consumo de energia está no seu nível máximo, acontecendo normalmente entre 18h00min e 20h00min, intervalo que se difere dependendo da região e da concessionária. Essa tarifação é resultante do consumo concentrado de energia em um horário em que as pessoas estão chegando do trabalho e ligam os equipamentos alimentados com energia elétrica.

Para explicar a função da bandeira branca, na Figura 7 é ilustrado um gráfico que representa os horários desta bandeira.

Fig. 7 – Representação da bandeira branca nos dias úteis



Fonte: Adaptada de <http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca> .

A alternativa de migração deve ser estudada pelo consumidor, pois, fora do horário de ponta, ele terá uma tarifação de aproximadamente 18% a menos do normal que a concessionária cobra. Em contrapartida, no horário de ponta, a energia poderá ficar 84% mais cara.

A porcentagem de tarifação diminui nas horas intermediárias, mas ainda permanece com uma alta taxa de cobrança, sendo recomendado, também, evitar-se o consumo de energia nesses horários. As horas intermediárias consistem no valor de uma hora antes e uma hora depois do horário de pico.

4 Metodologia de Pesquisa

Nesta seção será apresentado a plataforma que processa todos os dados de consumo de energia, em tempo real, que serão utilizados para o estudo do consumo de energia. Também serão mostrados os métodos que resultarão nas devidas conclusões.

4.1 Sistema de Energia Solar na Bandeira Branca

Cada concessionária estipula o seu horários de ponta, sendo a Energisa quem estabelece as tarifas e horários de Campina Grande. Para se fazer os cálculos corretos em torno do consumo, deve-se escolher o grupo e a classe que são atribuídos ao consumidor.

No Quadro 1, é mostrado as classes e o grupo do consumidor tipo B3, que é atribuído a UFCG.

Tabela 1 - Descrições das Classes de Consumo

Grupo B3	
Classe	Comercial, Serviços e Outros
	Industrial
	Poderes Públicos
	Serviço Público

Fonte: Compilado pelo próprio autor.

O horário de ponta estabelecido pela Energisa Paraíba é de 17:30 às 20:30. As horas intermediárias equivalem ao intervalo de uma hora antes e uma hora depois do horário de pico.

No Quadro 2, apresenta-se as taxas de cobrança pelo consumo de energia em cada escala de horário.

Tabela 2 - Tarifas nas Classes de Horários

Grupo B3		
TUSD + TE (R\$/KWh)		
Fora de Ponta	Intermediário	Ponta
0,35706	0,66658	1,06196

Fonte: Compilado pelo próprio autor.

4.1.1 Banco de Baterias

Para entender como as baterias entram na estratégia de redução do consumo na bandeira branca, será tratado o sistema em 3 situações. A primeira, segunda e terceira situação equivale ao sistema funcionando fora do horário de ponta, no horário intermediário e no horário de ponta, respectivamente.

Na primeira situação, o sistema de energia solar funciona da mesma forma de energia compensativa explicada no esquema da Figura 6. O acréscimo no esquema terá um banco de baterias que serão carregadas, mas utilizados apenas na segunda situação.

Na segunda situação, o sistema da rede elétrica e das placas fotovoltaicas param de funcionar e deixam de alimentar as cargas. As baterias entram em ação e alimentam as cargas durante todo o horário intermediário e horário de ponta.

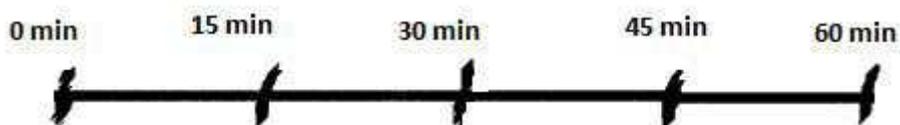
Esse esquema foi feito com o objetivo de ter a melhor estimativa de econômica adotando-se a bandeira branca. O modo como as baterias irão ser carregadas, ou como elas alimentaram as cargas, não fará parte desse trabalho. Mesmo assim, se o sistema proporcionar uma economia significativa, servirá de motivação para outras pesquisas que almejam possibilitar a melhor coordenação do banco de baterias com as cargas e a rede elétrica .

5 Resultados

Nesta seção, serão explicados todos os resultados obtidos. Os dados foram coletados fazendo-se a média de quatro valores de pico, retirados do gráfico a cada 15 minutos. O resultado dessa média será o consumo em *KWh*.

Na Figura 8, tem-se a representação de quatro intervalos estabelecidos para a amostragem de cada hora do dia.

Fig. 8 – Representação do consumo em *KWh*



Fonte: Compilado pelo próprio autor.

Tomando como base a Figura 8, cada intervalo de hora teve essa amostragem. Por exemplo, o intervalo de *17h30min* à *20h30min* será dividido em quatro subintervalos, espaçados de *15 min*. Em seguida, o valor de pico de cada subintervalo será coletado para ser feito a média desses quatro valores, obtendo-se uma estimativa em *KWh*.

O *Grafana* fornece os valores em potência aparente. Para resolver esse problema sem prejudicar a confiabilidade do estudo, será considerado o fator de potência mínimo exigido pelo Energisa, que é de *0,92*.

A bandeira branca não funciona para finais de semana e feriados. Por isso, os valores foram analisados em um dia útil, em horários de *7h30min* à *21:30*. O consumo entre os horários de *21:30* à *7:30* tende a ter um valor constante, que foi observado e considerado.

Nos cálculos para se obter o valor monetário pela bandeira convencional, usou-se a constante fornecida de *0,42402 R\$/KWh*, fornecida pela Energisa Borborema, que será multiplicada pelo consumo em *KWh*.

Será apresentado o valor total das potências, que é a soma das três fases que alimentam as cargas. Para facilitar os cálculos, foi utilizado a planilha *excel* como suporte.

5.1 Consumo Total Fora do Horário de Ponta

Para se calcular o consumo em reais (R\$) pela bandeira branca, pegou-se a constante 0,35706 R\$/KWh, atribuído ao valor fora do horário de ponta. Essa constante será multiplicada pelo consumo em KWh.

No Quadro 3, é apresentado todo o consumo fora do horário de ponta, mostrando-se os valores em R\$ da bandeira branca e da bandeira convencional.

Tabela 3 - Valores de Consumo Fora do Horário de Ponta

Horário	1º Int. (KW)	2º Int. (KW)	3º Int. (KW)	4º Int. (KW)	Consumo (KWh)	Consumo Bandeira Branca (R\$)	Consumo Bandeira Convencional (R\$)
7:30 à 8:30	2,484	2,5	4,69	5	3,6635	1,30808931	1,55
8:30 à 9:30	5,7	5,8	9,3	8,5	7,325	2,6154645	3,10
9:30 à 10:30	8,46	7,75	9,1	8,9	8,5525	3,05375565	3,62
10:30 à 11:30	6,44	7,78	7,2	6,8	7,055	2,5190583	2,99
11:30 à 12:30	9,2	9,1	8,95	9,36	9,1525	3,26799165	3,88
12:30 à 13:30	7,176	5,152	6,65	6,78	6,4395	2,29928787	2,73
13:30 à 14:30	7,1	5,1	6,12	7,2	6,38	2,2780428	2,70
14:30 à 15:30	7,912	5,888	9	6,1	5,205	1,8584973	2,20
15:30 à 16:30	6,1	5,96	6,3	9,8	7,04	2,5137024	2,98
Total	60,572	55,03	67,142	68	60,813	21,71	25,78

Fonte: Compilado pelo próprio autor.

No intervalo de 21:30 às 7:30, tem-se o consumo médio de 4.44 kVA, ou 4,08 KWh, totalizando durante essas dez horas um valor de 40,848 KWh. Com o total do consumo durante todo esse horário, na bandeira branca, será cobrado um valor de R\$ 14,58. Já na bandeira convencional, será cobrado um valor de R\$ 17,32.

5.2 Consumo Total nos Horários Intermediários

Para multiplicar o consumo em *KWh*, pega-se a constante *0,66658/KWh*, atribuída ao valor no horário intermediário. No Quadro 4, é apresentado todo o consumo no horário intermediário.

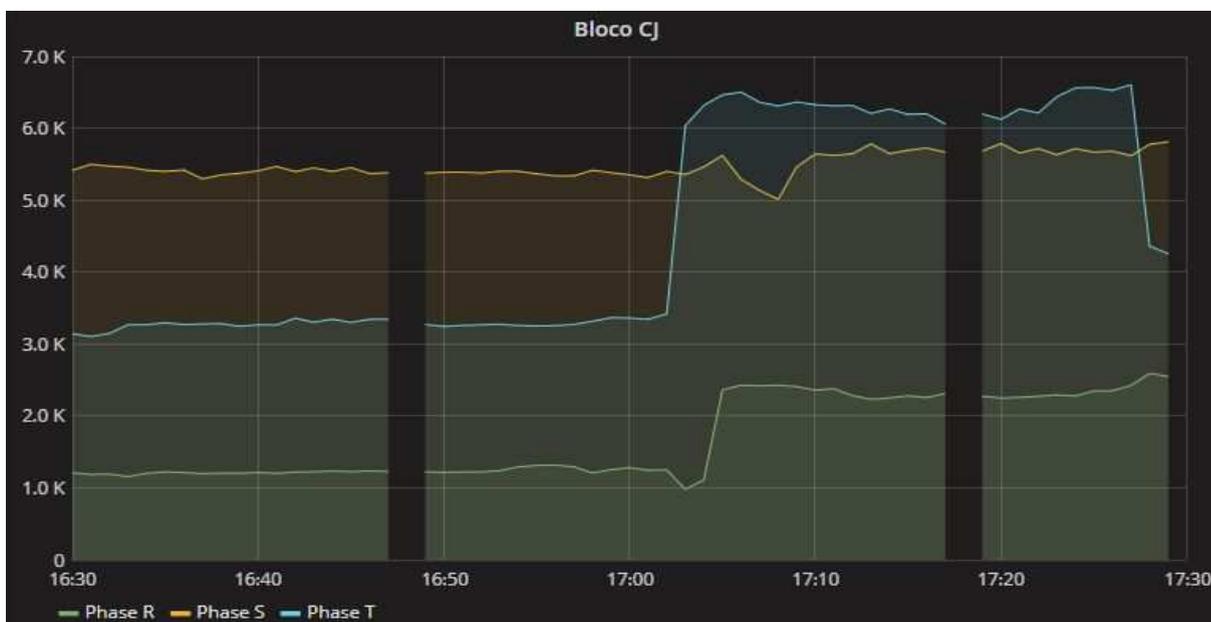
Tabela 4 - Valores de Consumo no Horário Intermediário

Horário	1º Int. (KW)	2º Int. (KW)	3º Int. (KW)	4º Int. (KW)	Consumo (KWh)	Consumo Bandeira Branca (R\$)	Consumo Bandeira Convencional (R\$)
16:30 à 17:30	9,32	9,35	13,34	13,12	11,2825	7,52	4,78
20:30 à 21:30	9,108	9,36	11,408	12,972	10,712	7,14	4,54
Total	18,428	18,71	24,748	26,092	21,9945	14,66	9,32

Fonte: Compilado pelo próprio autor.

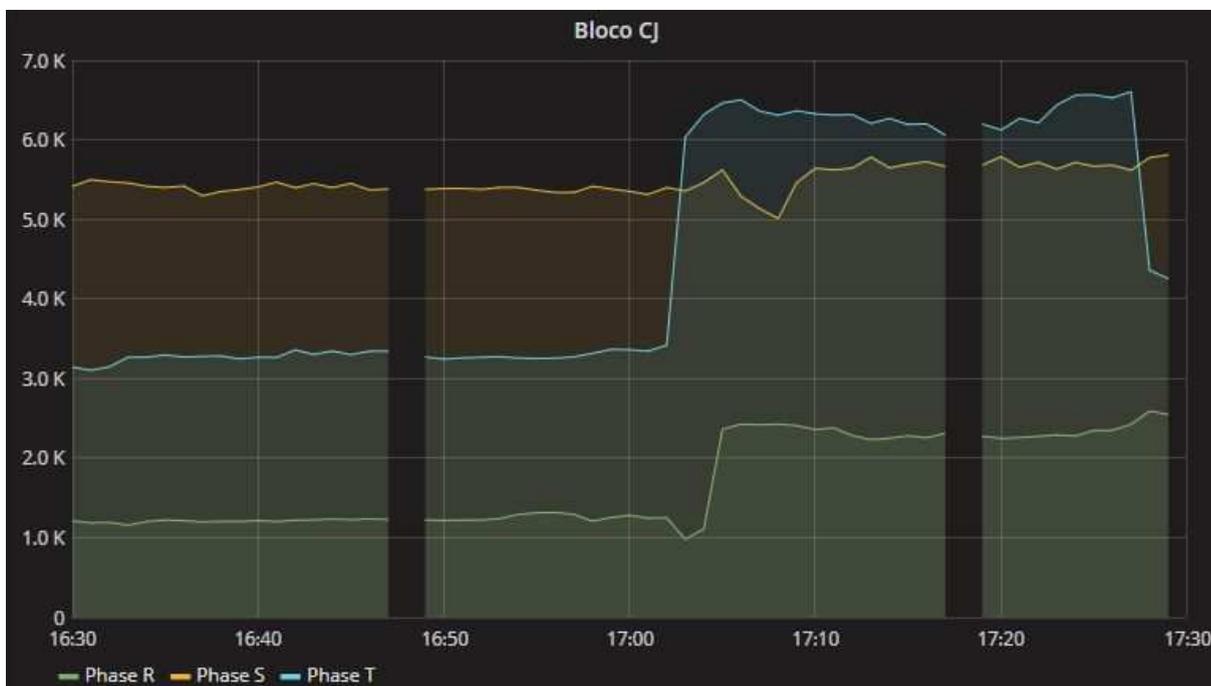
Na Figuras 8 e 9, são representados o consumo, em *KVA*, nos intervalos de *16h30* às *17h30min* e *20h30min* às *21h30min*, respectivamente.

Fig. 9 – Representação do consumo de 16h30min às 17h30min



Fonte: Compilado pelo próprio autor.

Fig. 10 – Representação do consumo de 20h30min às 21h30min



Fonte: Compilado pelo próprio autor.

5.3 Consumo Total no Horário de Ponta

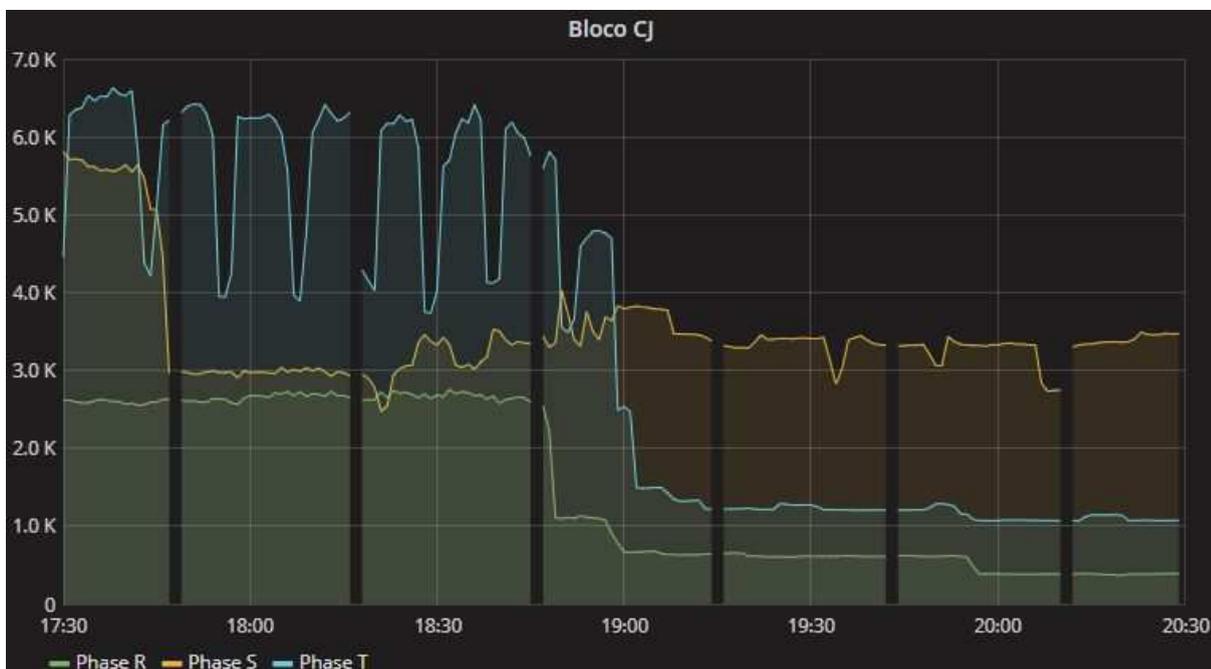
Nesse cálculo, utiliza-se a constante $1,06196 \text{ R\$/KWh}$, atribuída ao valor no horário de ponta, e multiplica esse valor pelo consumo em KWh . No Quadro 5, é apresentado todo o consumo no horário de ponta.

Tabela 5 - Valores de Consumo no Horário de Ponta

Horário	1º Int. (KW)	2º Int. (KW)	3º Int. (KW)	4º Int. (KW)	Consumo (KWh)	Consumo Bandeira Branca (R\$)	Consumo Bandeira Convencional (R\$)
17:30 à 18:30	13,8	13,03	11,7	11	12,4825	13,25	5,29
18:30 à 19:30	8,832	9,35	10,7	8,1	9,2455	9,81	3,92
19:30 à 20:30	4,876	5	5,62	5,2	5,174	3,44	2,19
Total	27,508	27,38	28,02	25	26,902	26,52	11,40

Fonte: Compilado pelo próprio autor.

Fig. 11 – Representação do consumo de 17h30 às 20h20min



Fonte: Compilado pelo próprio autor.

5.4 Economia Com o Sistema de Bandeira Branca

Analisando os resultados, em dias úteis, em cada período durante um mês, supondo que o padrão de consumo mensal segue ao que foi levantado pelos gráficos apresentados, pode-se observar que a economia da bandeira branca em relação a bandeira convencional é comparada da seguinte forma:

- Fora do horário de ponta: Se durante um dia útil tem-se uma economia de *R\$ 6,83*, durante vinte dias úteis, que correspondem a um mês completo, tem-se uma economia de *R\$ 136,6*.
- Horário intermediário: Durante um mês, o consumidor tem o risco de pagar *R\$ 106,8* a mais.
- Horário de ponta: o consumidor tem o risco de pagar *R\$ 302,4* a mais.

O bloco CJ da UFCG tem um nível de consumo, no período de ponta, que pode resultar em um aumento na conta de luz no valor de *R\$ 302,4*, não sendo a bandeira branca uma alternativa imediata. Para se beneficiar, os funcionários do bloco CJ poderiam evitar, ao máximo, o uso de equipamentos elétricos no horário de ponta.

Se as cargas do bloco CJ fossem alimentadas por um banco de baterias, nos horários de ponta e intermediário, de tal forma que não precisasse da energia proveniente da rede elétrica, durante um mês, a bandeira branca iria proporcionar uma economia de aproximadamente *R\$ 550,4* na conta de luz.

6 Considerações Finais

No decorrer deste trabalho, foi apresentado as formas de geração de energia elétrica pela fonte de energia solar. O contexto histórico sobre eficiência, custos de comercialização e aprimoramento na tecnologia, mostrou o quão essa relação beneficiou para incentivar economicamente o uso da energia solar como alternativa renovável.

A principal contribuição desta pesquisa foi mostrar os riscos do aumento de custos no uso da bandeira branca, em comparação a tarifa convencional, evidenciando, também, alternativas econômicas com as estratégias de consumo. O objetivo era coletar os valores de consumo em *KWh* em todos os horários de um dia útil, e fazer os cálculos para saber o valor monetário que seria economizado na conta de luz, caso o consumo da rede elétrica no horário de ponta fosse substituído pela alimentação de um banco de baterias.

O objetivo foi alcançado, e o *Grafana* foi a plataforma utilizada para se verificar o consumo de energia registrado do bloco CJ, tendo a planilha *excel* como apoio para os cálculos. Os valores seriam mais robustos se o consumo fornecido em tempo real tivesse em potência ativa, e o período de amostragem fosse feito para cada dia útil, durante um mês.

Como trabalho futuro, é proposta a pesquisa econômica sobre o banco de baterias, levando em conta a sua eficiência, e o que seria mais viável do ponto de vista econômico. Ou seja, fazer uma pesquisa econômica para saber se é interessante utilizar a baterias no horário de ponta, todos os dias úteis, ou utilizá-las somente nos dias em que a demanda de energia estivesse alta, para evitar-se uma possível queda na vida útil e uma suposta reposição no sistema de alimentação recarregável.

Referências Bibliográficas

[1] Filho, João Mamede, Instalações Elétricas Industriais, 2ª Edição.

[2] Disponível em:

<http://www.abraceel.com.br/archives/files/Abraaceel_Cartilha_MercadoLivre_V9.pdf>. Último acesso: 06 de novembro de 2017.

[3] Disponível em:

<<http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/73-o-que-sao-os-sistemas-conectados-a-rede-on-grid>>. Último acesso: 06 de novembro de 2017.

[4] Disponível em:

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar_fotovoltaica>. Último acesso: 28 de fevereiro de fevereiro de 2018.

[5] Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.htmlv>>. Último acesso: 28 de fevereiro de fevereiro de 2018.

[6] Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Último acesso: 28 de fevereiro de fevereiro de 2018.

[7] Disponível em:

<<http://blog.bluesol.com.br/energia-solar-cresce-no-brasil-em-2017/>>. Último acesso: 04 de março de 2018.

[8] Disponível em:

<<http://blog.bluesol.com.br/painel-solar-sua-criacao-e-historia/>>. Último acesso: 04 de março de 2018.

[9] Disponível em:

<<https://www.portal-energia.com/celula-solar-fotovoltaica-maior-eficiencia/>>. Último acesso: 04 de março de 2018.

[10] Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>. Último acesso: 06 de março de 2018.

[11] Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/a_regulamentacao_dos_creditos_de_energia>
. 07 de março de 2018. Último acesso: 06 de março de 2018.

[12] Disponível em:

<<http://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>>.
Último acesso: 06 de março de 2018.

[13] Disponível em:

<http://www.abraceel.com.br/zpublisher/secoes/mercado_livre.asp?m_id=19150>. Último acesso: 07 de março de 2018.

[14] Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Último acesso: 07 de março de 2018.

[15] Disponível em:

<<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,tarifa-branca-na-conta-de-luz-comecara-em-janeiro-de-2018,70001990521>>. Último acesso: 08 de março de 2018.

[16] Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/alta-tensao/-/asset_publisher/zNaRBjCLDqbE/content/alta-tensao/654800?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Falta-tensao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zNaRBjCLDqbE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D2%26p_p_col_count%3D3>. Último acesso: 08 de março de 2018.

[17] Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>>.
Último acesso: 08 de março de 2018.

[18] Disponível em:

<<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Último acesso: 08 de março de 2018.

Anexo A

Neste anexo contém todos os gráficos utilizados para se obter os valores de consumo fora do horário de pico.

