

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO
ENGENHARIA ELÉTRICA

GIOVANNI FILIPE LEONEL OLIVEIRA

ABASTECIMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS CONSIDERANDO ENERGIA
FOTOVOLTAICA

GOIÂNIA
JULHO, 2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC nº 1204/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG):

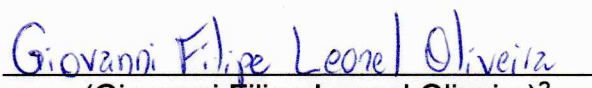
Nome completo do autor: Giovanni Filipe Leonel Oliveira

Título do trabalho: Abastecimento de Veículos Elétricos Considerando Energia Fotovoltaica

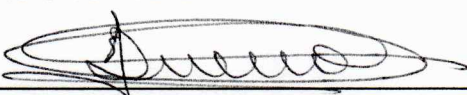
2. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF do TCCG.


(Giovanni Filipe Leonel Oliveira)²

Ciente e de acordo:


(Prof. Dr. Euler Bueno dos Santos)²

Data: 11 / 07 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² As assinaturas devem ser originais sendo assinadas no próprio documento, imagens coladas não serão aceitas.

GIOVANNI FILIPE LEONEL OLIVEIRA

**ABASTECIMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS CONSIDERANDO ENERGIA
FOTOVOLTAICA**

Projeto Final de Curso a ser apresentado ao curso de graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Goiás – UFG, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Euler Bueno dos Santos

**GOIÂNIA
JULHO, 2019**

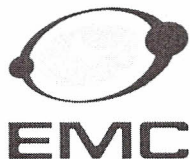
Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, Giovanni Filipe Leonel
Abastecimento de Veículos Elétricos Considerando Energia
Fotovoltaica [manuscrito] / Giovanni Filipe Leonel Oliveira. - 2019.
68 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Euler Bueno dos Santos.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Engenharia Elétrica, Goiânia, 2019.
Bibliografia.

1. Geração Fotovoltaica. 2. Veículos Elétricos. 3. Estação de
Recarga. 4. Viabilidade Econômica. I. Santos, Euler Bueno dos, orient.
II. Título.

CDU 621.3



ATA DE AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL

CURSO

(X) Eng. Elétrica () Eng. Mecânica () Eng. de Computação
() Projeto Final 1 () Projeto Final II

AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL

Título do projeto: ABASTECIMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS CONSIDERANDO ENERGIA

FOTOVOLTAICA

BANCA AVALIADORA

Membro 1: Prof. Dr. Euler Bueno dos Santos

Membro 2: Profa. Dra. Ana Cláudia Marques do Valle

Membro 3: Prof. Dr. Fernando Nunes Belchior

ESTUDANTES

Matrícula	Nome
201609830	Giovanni Filipe Leonel Oliveira

NOTAS

Matrícula	Membro 1				Membro 2				Membro 3				Média
	NPT	NTE	NAA	NF	NPT	NTE	NAA	NF	NPT	NTE	NAA	NF	
201609830	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

NPT – Nota plano de trabalho; NTE – Nota do trabalho escrito; NAA – Nota de apresentação e arguição

Para Eng. Elétrica, Mecânica e PFC2 da Eng. Da Computação: $NF = 0,1 \times NPT + 0,45 \times NTE + 0,45 \times NAA$

Para PFC1 da Eng. Da Computação: $NF = 0,3 \times NPT + 0,7 \times NAA$

Goiânia, 11 de julho de 2019.

Membro 1

Membro 2

Membro 3

AGRADECIMENTOS

O meu muito obrigado:

- a Deus pela oportunidade de viver e aprender;
- a minha mãe Angela e a meu pai Marcos, que foram meus primeiros professores e motivadores;
- a minha irmã Giovanna, a amiga que ganhei de presente;
- a todos os meu familiares, amigos e colegas pelos bons momentos e ensinamentos;
- a todos os professores, que são os grandes responsáveis pelo meu conhecimento técnico de que disponho hoje, em especial ao meu orientador Prof. Euler Bueno que vem me apoiando há um bom tempo e aos integrantes da banca Prof^a. Ana Cláudia e Prof. Fernando Belchior pelo tempo dedicado a leitura e correção deste trabalho.

RESUMO

Com a popularização dos veículos elétricos a necessidade de implantação de postos de recarga tornar-se-á iminente. Espera-se que no Brasil, a adoção de veículos elétricos para descarbonizar o setor de transportes seja mais lenta que no resto do mundo, em função dos biocombustíveis. Porém, é certo que os veículos elétricos serão parte considerável da frota no futuro e poderão impactar profundamente na rede elétrica.

As vantagens da implantação de estações de recarga podem ser verificadas quando for possível fazer o uso de fontes renováveis de geração de energia. É oportuno salientar, que o uso de fontes renováveis, apresenta como benefício a redução de gases nocivos ao meio ambiente.

Este trabalho aborda importantes dispositivos elétricos afetos a temática de veículos elétricos e geração fotovoltaica. Além disto, propõe uma estação de recarga de veículos elétricos hipotética na cidade de Goiânia-GO. É apresentada uma análise econômica de um sistema de geração fotovoltaica, para atender a referida estação, considerando o espaço disponível para acomodação dos módulos fotovoltaicos.

São mostrados também dois cenários financeiros onde são considerados o financiamento bancário e o uso de capital próprio.

Palavras-Chave: Geração Fotovoltaica, Veículos Elétricos, Estação de Recarga, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

With the popularization of electric vehicles, the need to install recharging stations will become imminent. It is expected that in Brazil, the adoption of electric vehicles to decarbonize the transportation sector will be slower than in the rest of the world, due to biofuels. However, it is certain that electric vehicles will be a considerable part of the fleet in the future and may have a profound impact on the electric grid.

The advantages of deploying recharging stations can be verified when it is possible to use renewable energy sources. It should be noted that the use of renewable sources has the benefit of reducing harmful gases into the environment.

This work addresses important electrical devices related to the subject of electric vehicles and photovoltaic generation. In addition, it proposes a hypothetical electric vehicle recharging station in the city of Goiânia-GO. An economic analysis of a photovoltaic generation system is presented to attend said station, considering the space available for accommodating the photovoltaic modules.

There are also two financial scenarios where bank financing and the use of equity are considered.

Keywords: Photovoltaic Generation, Electric Vehicles, Recharge Station, Economic Viability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	9
1.2 MOTIVAÇÃO	9
1.3 JUSTIFICATIVA	10
1.4 DELIMITAÇÃO	10
1.5 METODOLOGIA	11
1.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 ENERGIA SOLAR	13
2.2 MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA	15
2.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	16
2.2.2 TIPOS DE MEDIDORES	17
2.2.2.1 MEDIDOR ELETROMECAÂNICO	17
2.2.2.2 MEDIDOR ELETRÔNICO	18
2.3 BATERIAS	20
2.3.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	20
2.3.2 EVOLUÇÃO DAS BATERIAS	21
2.3.3 PRINCIPAIS TIPOS DE BATERIAS	22
2.3.3.1 CHUMBO-ÁCIDA	23
2.3.3.2 NÍQUEL-CÁDMIO (NiCd)	24
2.3.3.3 HIDRETOS METÁLICOS DE NÍQUEL (NiMH)	25
2.3.3.4 ÍONS DE LÍTIO	25
2.3.3.5 ÍONS DE LÍTIO-POLÍMERO	27
2.3.3.6 OUTRAS	27
2.4 NOBREAKS	28
2.4.1 CONCEITO	29
2.4.2 TOPOLOGIAS DE NOBREAK	29
2.4.2.1 <i>STANDBY</i> OU <i>OFFLINE</i>	29
2.4.2.2 INTERATIVO	30
2.4.2.3 <i>STANDBY FERRO</i>	30

2.4.2.4 DUPLA CONVERSÃO OU <i>ONLINE</i>	31
2.4.2.5 CONVERSÃO DELTA <i>ONLINE</i>	32
2.4.2.6 ROTATIVO OU <i>FLYWHEEL</i>	33
2.5 VEÍCULOS ELÉTRICOS	33
2.5.1 CONCEITO	33
2.5.2 HISTÓRICO	33
2.5.3 TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	34
2.5.3.1 VEÍCULOS HÍBRIDOS	34
2.5.3.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS PUROS	36
2.5.4 RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS <i>PLUG-IN</i>	37
2.6 AVALIAÇÃO FINANCEIRA DE OPORTUNIDADES DE INVESTIMENTO	39
2.6.1 O PRAZO DE PAYBACK E A TAXA CONTÁBIL DE RETORNO	39
2.6.2 O VALOR PRESENTE LÍQUIDO	40
2.6.3 A RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO	41
2.6.4 A TAXA INTERNA DE RETORNO	41
2.6.5 ALTERNATIVAS MUTUAMENTE EXCLUDENTES E/OU COM RACIONAMENTO DE CAPITAL	42
3 DESENVOLVIMENTO	44
3.1 DETERMINAÇÃO DOS REQUISITOS DE DEMANDA E CONSUMO	46
3.2 POTECIAL FOTOVOLTAICO EM GOIÂNIA-GO	49
3.3 DADOS CLIMATOLÓGICOS DE GOIÂNIA	50
3.4 DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO	51
3.5 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	55
4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	57
5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	62
BIBLIOGRAFIA	64

1 INTRODUÇÃO

Todos os países dependem de energia elétrica. Quanto mais desenvolvido um país maior a sua necessidade de energia. Na maioria das vezes essa energia vem dos combustíveis fósseis, como o carvão mineral, gás natural e o petróleo. Os problemas desta matriz energética são: recursos não renováveis; sua queima produz gases causadores do efeito estufa e liberam metais pesados na atmosfera; as maiores reservas e, por conseguinte, os maiores produtores são muitas vezes países politicamente e socialmente instáveis.

Preocupados com a grande dependência dos combustíveis fósseis e visando honrar acordos de descarbonização alguns países estão incentivando o uso de fontes renováveis e o uso de veículos elétricos.

Carros elétricos estão sendo introduzidos no mundo todo com o objetivo de descarbonizar o setor de transportes e de reduzir a poluição atmosférica. Reino Unido e França anunciaram que veículos à combustão interna (VCIs) não serão mais produzidos a partir de 2040. Holanda e Índia não venderão mais VCIs a partir de 2030. Na Alemanha, espera-se que a venda de VCIs seja proibida também a partir de 2030. Na Noruega, o governo planeja “ações fortes para alcançar o objetivo de zero novos carros a combustíveis fósseis vendidos a partir de 2025” (SILVA, 2017).

Deste modo, torna-se imprescindível entender sobre os veículos elétricos, já que se espera que no futuro próximo este tipo de carga seja extensamente difundida.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos apresentar material fundamental ao aprimoramento de conhecimentos necessários para se projetar, implementar, vistoriar e proceder manutenção em eletro postos considerando sistemas fotovoltaicos.

1.2 MOTIVAÇÃO

Este trabalho foi motivado pela necessidade de se preocupar com a sustentabilidade, principalmente no que se refere a alteração da atmosfera devido a injeção de materiais poluentes.

1.3 JUSTIFICATIVA

SILVA (2017) pontua que no Brasil “a descarbonização no setor de transportes até 2030 ocorrerá por meio da utilização de biocombustíveis”. No entanto, espera-se que a adoção de veículos elétricos seja considerada, porém mais lenta, devido a opção do uso de biocombustíveis.

Como a solução do biocombustível é mais barata e fácil de ser implementada, possivelmente ela será considerada primeiro. Assim, o impacto na rede elétrica de início não será grande pois, de modo gradual e suave, os veículos elétricos penetrarão no mercado e o sistema elétrico terá tempo para ir se adaptando.

A maior barreira para a adoção de veículos elétricos é seu custo. A Renault, Nissan e Chevrolet anunciaram o lançamento de 3 carros totalmente elétricos no ano de 2019 no Brasil, quais sejam o Zoe, Leaf e o Bolt. O mais barato deles, o Renault Zoe parte de R\$ 149.990,00 (cotado em 24/06/2019), um preço que restringe os possíveis adquirentes. Porém, “futuramente, o Brasil entrará em uma “segunda onda” do carro elétrico, em que custos terão caído, a tecnologia de recarga terá evoluído, e a regulação terá se adaptado, levando em consideração as melhores práticas adotadas ao redor do planeta” (SILVA, 2017). A partir deste momento, veículos a combustão interna perderão sua vantagem e os carros elétricos irão corresponder a maioria dos veículos na frota nacional.

Pelo exposto justifica-se trabalhos visando a recarga de baterias de veículos elétricos.

1.4 DELIMITAÇÃO

O termo veículo elétrico é abrangente e engloba, motocicletas, carros, caminhões, trens, etc. Neste trabalho utiliza-se este termo para referir-se a carros elétricos, ou seja, automóveis leves elétricos de passeio. Este trabalho mostra como se dá o carregamento destes veículos de modo rápido.

Imagina-se que os proprietários de veículos elétricos irão carregar as baterias de seus veículos durante a noite em suas residências, porém como as baterias possuem limitações, a autonomia dos veículos é restrita, fazendo-se necessário a existência de eletro postos, ou estações de recargas rápidas por exemplo em rodovias.

Este trabalho busca sanar dúvidas quanto as estações de recarga, já que são diferentes da carga lenta nas residências. Estas estações demandam muito mais energia da rede elétrica.

Uma forma de mitigar esta demanda é fazer o uso da Energia Fotovoltaica, tão abundante no Brasil.

1.5 METODOLOGIA

É usada extensa pesquisa bibliográfica orientada na literatura técnica para o domínio dos diversos tópicos afetos a temática. Também é modelada a geração de energia fotovoltaica numa estação de carregamento hipotética, por meio de uma simulação de caso possível de implantação. Por fim, o consumo de energia elétrica estimado e a geração de energia elétrica estimada na estação de recarga com uso da geração fotovoltaica é analisada sob a ótica econômica, por meio de indicadores de engenharia econômica para a verificação da viabilidade econômica.

1.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os normativos técnicos utilizados a respeito de instalações elétricas de baixa tensão considerados foram: CELG-D (2016), ABNT (2004) e ABNT (2013a). E o trabalho auxiliar para cálculo utilizando o método dos lúmens foi LUZ (2017).

O normativo técnico considerado a respeito da formatação do trabalho acadêmico foi ABNT (2011). Ainda com relação a formatação e a produção de trabalhos científicos foi utilizado LAKATOS & MARCONI (2009) e COSTA (2012).

O normativo técnico considerado sobre geração de energia solar foi ABNT (2013b). Referências com a mesma temática foram: APAZA CHOQUEHUANCA (2017), CAMARGO (2017), CARNEIRO (2009), COMGÁS (2011), CRESESB (2008), CRESESB (2018), NEVES (2016) e PINHO & GALDINO (2014).

O normativo técnico considerado sobre veículos elétricos foram: IEC (2017), IEC (2014). Referências com a temática relativa a veículos elétricos, estações de recarga e baterias automotivas foram: ANDWARI (2017), BARAN & LEGY (2011), BARROS (2013), CASTRO, BARROS & VEIGA (2013), CASTRO & FERREIRA (2010), DELGADO (2017), RASKIN & SHAN (2006), RODRIGUES *et al* (2014), SILVA (2017) e YOUNG (2013).

Outras informações técnicas e normas utilizadas foram: ANEEL (2017), ANEEL (2010), ANEEL (2018).

As referências utilizadas no estudo da medição de energia, medidores e redes inteligentes foram: CAIRES (2012), CAPETTA (2009), DE SOUZA (2015), FONSECA (2013), HARDY (2013), JHALORA, LAPA, SAIDEL & DI SANTO (2010), MÍNGUEZ (2007), NOGUEIRA, LEMOS, TOMASIN & BELCHIOR (2017), PINHEIRO NETO *et al* (2011) e UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (2008).

As referências utilizadas no estudo de baterias e outras formas de armazenamento de energia foram: LINDEN & REDDY (2003), MCCLUER & CHRISTIN (2011), MICHELINI (2017), NISENBAUM (2011), OLIVEIRA (2014), SAMUEL & BAILLOTA, SOUSA & MURTA (2004) e TRINDADE (2006).

As referências utilizadas no estudo de sistemas de alimentação ininterrupta foram: FRIGO (2015), RASMUSSEN (2003) e SOUZA *et al* (2015).

HIGGINS (2014) serviu de base para toda a fundamentação teórica sobre análise financeira e BRASIL (2018) serviu de auxílio ao estimar o custo inicial do investimento para instalação da geração fotovoltaica.

As folhas de dados fornecidas pelos fabricantes foram: ABB (2017), CANADIAN SOLAR INC (2018), EFACEC (2016), FREEDOM (2008), NANSEN (2016a), NANSEN (2016b) e PHILIPS (2019).

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é estruturado nas seguintes seções além desta seção introdutória:

Seção 2 – Apresenta a fundamentação teórica, com conceitos de forma sintética sobre energia solar, medidores de energia, baterias, nobreaks, veículos elétricos e sobre avaliação financeira de oportunidades de investimentos;

Seção 3 – Contém o desenvolvimento do trabalho. O desenvolvimento consiste em basicamente determinar os requisitos de demanda e consumo, explanar sobre o potencial fotovoltaico de Goiânia e dados climatológicos e apresentar os dimensionamentos do sistema e previsões de geração;

Seção 4 – Apresenta a análise de viabilidade financeira para o sistema fotovoltaico verificando se o seu uso consegue mitigar os custos de energia;

Seção 5 – Expõe a conclusão do trabalho e propõe temas para trabalhos futuros;

Referências Bibliográficas – Apresenta as referências bibliográficas consultadas para a realização deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA SOLAR

O sol é a estrela central do sistema solar, de onde obtém-se energia em forma de luz ou calor. Por ser uma estrela ativa, em seu interior acontece uma reação termonuclear responsável por fundir o hidrogênio em hélio, num processo conhecido como fusão nuclear. Esta reação é extremamente eficiente e produz uma grande quantidade de calor. Assim, no sol duas forças estão em equilíbrio: a gravidade que comprime a estrela e a fusão nuclear que tende a expandir a estrela.

É importante frisar que todas as estrelas têm um ciclo de vida, o sol não é diferente, estima-se com grande confiança de acordo com a literatura que o sol está na sua meia vida e que ainda tem combustível suficiente para manter a reação termonuclear por mais 5 bilhões de anos, na escala de tempo terrestre. Nota-se que o tempo em que o sol produzirá energia é muito superior ao tempo de toda a história humana. Assim, infere-se que o Sol é uma fonte de energia “inesgotável na escala terrestre de tempo” (PINHO, 2014), de modo que, se torna uma fonte de energia promissora por ser limpa, segura e gratuita.

É em função da energia do sol que correntes de ar, a evaporação da água e a fotossíntese ocorrem. Deste modo é possível afirmar que “o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra” (PINHO, 2014).

De acordo com PINHO (2014) para fins de engenharia pode-se simplificar as formas de energia solar em duas: a energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica. Estas são duas formas de se aproveitar a energia de grande potencial que o sol oferece de modo direto.

A energia solar térmica é captada por meio de coletores solares cuja função é absorver a radiação solar incidente. Os coletores aquecem líquidos ou gases que são então armazenados para serem utilizados posteriormente. Existem coletores solares planos cuja função mais usual é aquecer água para uso residencial e aquecedores que concentram a radiação solar por meio de lentes e espelhos capazes de gerar vapor para uso em turbinas. Desta maneira é possível aproveitar a energia térmica diretamente ou usá-la para gerar energia elétrica.

A energia solar fotovoltaica “é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão” (PINHO, 2014). Ao conjunto de células dá-se o nome de módulo fotovoltaico. Esses módulos são associados

resultando em painéis fotovoltaicos. Os painéis são usualmente ligados a dispositivos de condicionamento e conversão de energia para que a energia de saída seja alternada e compatível com as instalações elétricas existentes. Também é possível armazenar a energia em baterias. Porém, segundo PINHO (2014) as baterias ainda não atingiram o grau de desenvolvimento desejado.

“O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz” (CRESESB, 2008).

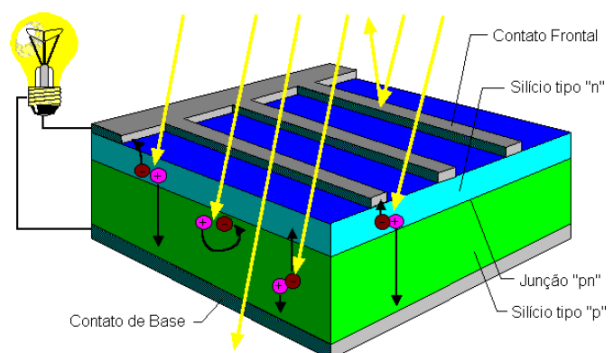
O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n (CRESESB, 2008).

Se, por outro lado, introduzem-se átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada buraco ou lacuna e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante p (CRESESB, 2008).

Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção pn. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n (CRESESB, 2008).

Se uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o gap, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito Fotovoltaico. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas (CRESESB, 2008).

Figura 2.1 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica



Fonte: CRESESB (2008)

É possível inferir que a produção da energia solar fotovoltaica e da energia solar térmica só ocorre quando há incidência de luz solar, seja de modo direto ou indireto. A noite não é possível aproveitar a energia solar. Existem algumas soluções para esta restrição. A mais evidente é armazenar esta energia para uso posterior. Para a energia solar térmica esta solução é satisfatória, porém para armazenar a energia elétrica carece-se de melhores baterias. Outra solução é montar sistemas híbridos. No caso da energia térmica pode-se associar um sistema de aquecimento solar com um sistema de aquecimento a gás ou até mesmo elétrico. No caso da energia elétrica, produzida pelo sistema fotovoltaico, pode-se associar a energia fornecida pela concessionária. O uso de medidores bidirecionais permite contabilizar a energia consumida e a produzida e reduzir a energia consumida da concessionária ou até mesmo gerar créditos, caso sua produção de energia seja maior que o consumo durante o mês.

O uso de armazenamento ou a associação com outras formas de fornecimento de energia proporciona vantagens, pois a produção de energia solar apresenta grande variabilidade em função da alternância dos dias e noites, das estações do ano e períodos de passagem de nuvens e chuvosos (CRESESB, 2008), já que as características elétricas de um painel sofrem forte influência da intensidade luminosa e da temperatura das células.

2.2 MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

Os medidores de energia elétrica são dispositivos cuja função é medir a energia elétrica ou parâmetros da energia elétrica. O principal objetivo de um medidor é realizar o levantamento da energia consumida e, assim, poder cobrar por essa energia de forma acordada entre os fornecedores e consumidores. Contudo, a medição de energia também exerce outras funções como, por exemplo, realizar medidas que possibilitem o estudo do comportamento do

consumidor, em outras palavras, determinar a curva de carga. Esse estudo é essencial para se buscar uma melhor eficiência energética, visando a redução da demanda e, por consequência, a redução de custos.

Serão abordados, principalmente, medidores cuja principal função é medir a energia elétrica consumida por pequenos consumidores residenciais ou comerciais, alimentados em baixa tensão (Grupo B). De modo que, usualmente, estes consumidores são cobrados pela potência ativa consumida ao longo de um período de análise, estando facultados a estes consumidores a medição do fator de potência.

A medição de energia para consumidores do Grupo B é de responsabilidade das distribuidoras e a regulamentação aplicável está no decreto 41.019/1957 e na resolução da ANEEL 414/2010.

Segundo MÍNGUEZ (2007) “Os litígios entre consumidores e fornecedores podem ser bastante reduzidos se os cuidados necessários forem dispensados a correta medição da energia elétrica consumida”. Assim, os medidores precisam ser sobretudo confiáveis e precisos. Também precisam ser economicamente viáveis e seguros.

2.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O princípio básico da medição de grandezas elétricas se dá pela medição da tensão e corrente. De posse destas medidas é possível obter a potência ativa a partir da potência instantânea $p(t)$ já que:

$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad (2.1)$$

Sendo $v(t)$ a tensão no instante t e $i(t)$ a corrente no instante t . Podemos então calcular a potência média, sendo T o período considerado:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \times i(t) dt \quad (2.2)$$

A cada segundo a energia elétrica consumida será dada por:

$$Wh = \frac{1}{3600} \int_0^t P dt \quad (2.3)$$

Se o registro de energia for unidirecional a energia ativa reversa será somada a energia ativa direta:

$$P = |P| \quad (2.4)$$

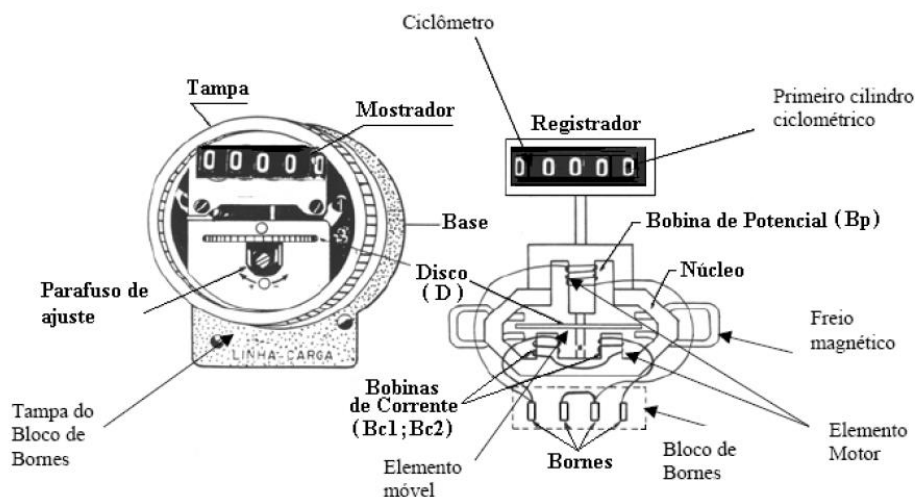
2.2.2 TIPOS DE MEDIDORES

Existem dois tipos de medidores em função do princípio de funcionamento. O mais antigo e ainda muito usado em larga escala devido o menor custo é o medidor eletromecânico. Em contraposição, sendo mais recente e preciso há o medidor eletrônico.

2.2.2.1 MEDIDOR ELETROMECAÂNICO

O medidor eletromecânico, também conhecido como medidor de indução, funciona como “um motor elétrico cuja interação de fluxos magnéticos produz movimento no rotor” (MÍNGUEZ, 2007). O conjugado motor que aparece no disco (rotor) ocorre devido ao fenômeno da indução eletromagnética. O fluxo produzido pela bobina de potencial (estator), que está ligada em paralelo a carga, atravessa o disco produzindo correntes parasitas. Essas correntes interagem com as correntes parasitas produzidas pelo fluxo magnético gerado por uma ou mais bobinas de corrente (estator), que estão ligadas em série com a carga. Essas interações geram uma força, e, por conseguinte, um conjugado fazendo o disco girar. Para controlar o movimento há um elemento frenador que induz um conjugado oposto. Isto permite que o disco gire de acordo com a velocidade de calibração. O movimento do rotor move uma série de engrenagens e aparatos mecânicos que incrementam um registrador também mecânico, responsável por totalizar e mostrar a energia consumida. Pode-se concluir que a velocidade do rotor é proporcional à potência absorvida pela carga, já que os valores de corrente e tensão influenciam na intensidade dos fluxos magnéticos, e, por conseguinte, nas correntes parasitas e conjugado resultante do rotor.

Figura 2.2 – Esquema básico de um medidor eletromecânico



Fonte: UFSC (2008)

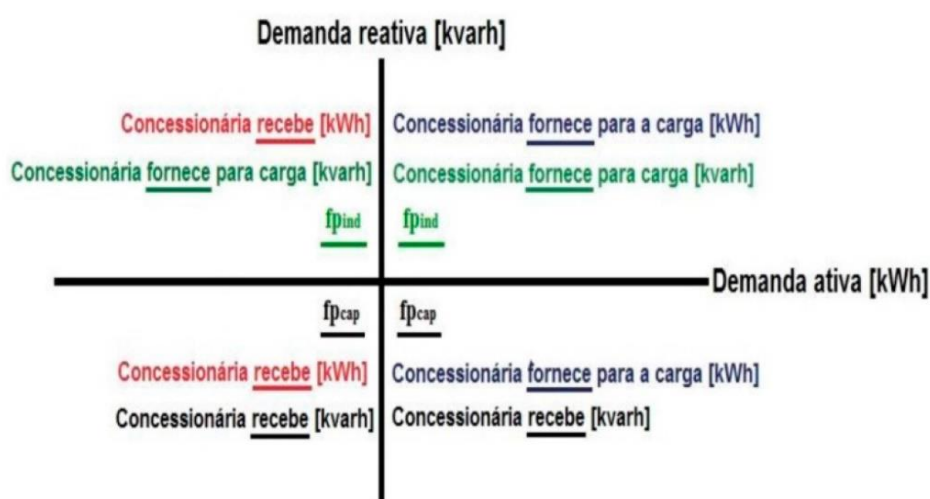
2.2.2.2 MEDIDOR ELETRÔNICO

O medidor eletrônico possui maior exatidão e, usualmente, pode monitorar outros parâmetros elétricos, oferecendo mais informações sobre o consumo. Além disso, pode conter saídas de comunicação, permitindo monitorar o consumo em tempo real.

Com o advento da cogeração de energia por parte dos consumidores faz-se necessário a medição da energia produzida e consumida pelo consumidor. O dispositivo capaz de medir a energia nas duas direções entre o consumidor e concessionária é conhecido como medidor bidirecional e é capaz de medir a energia nos dois sentidos, pois dispõe de um totalizador no sentido direto e um totalizador no sentido reverso. O medidor bidirecional é imprescindível no caso da geração distribuída, já que, permite contabilizar o consumo e a geração. O medidor bidirecional funciona como dois medidores unidirecionais, sendo que um mede a energia no sentido reverso e outro no sentido direto.

Medidores bidirecionais comumente são referidos como medidores de quatro quadrantes, caso ainda contabilizem a energia reativa nos dois sentidos. Quando o fluxo de potência ativa é positivo tem-se que a concessionária fornece energia ativa. Isto ocorre nos quadrantes I e IV. Nos quadrantes II e III a potência ativa é suprimida pelo consumidor. Nos quadrantes I e II o consumidor recebe energia reativa e nos quadrantes III e IV ele a fornece.

Figura 2.3 – Medição nos quatro quadrantes



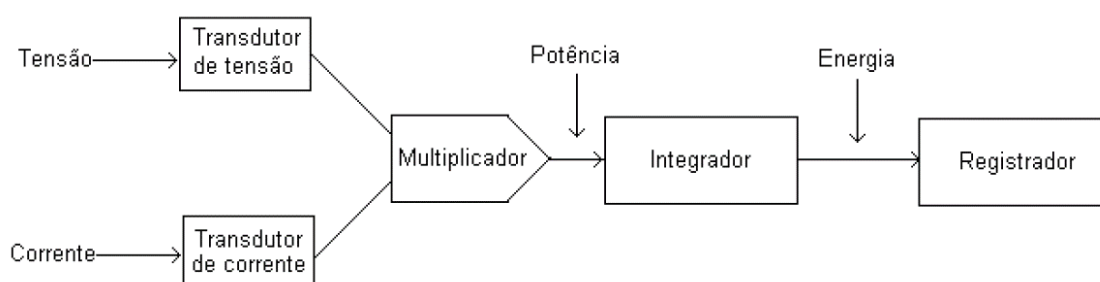
Fonte: NOGUEIRA *et al.* (2017)

Como principais vantagens dos medidores eletrônicos em relação aos medidores eletromecânicos destacam-se: melhor classe de exatidão, multifuncionalidade, medição de energias ativa e reativa capacitiva e indutiva, nos 2 sentidos de fluxo de energia (4 quadrantes), medição e armazenamento de outras grandezas como tensão, corrente, monitoramento de qualidade de energia, programação e armazenamento de

alarmes associados ao sistema de potência e aos medidores, acesso remoto e simultâneo de mais de um usuário aos dados, baixo consumo, simplicidade de instalação, operação e manutenção, velocidade de transporte de dados, flexibilidade operacional e tamanho reduzido (CAPETTA, 2009)

Os valores de tensão e corrente instantâneos são obtidos por meio de transdutores apropriados. Essas grandezas elétricas são convertidas por um conversor analógico-digital e então multiplicadas por um microcontrolador resultando na potência instantânea. O microcontrolador realiza o somatório das potências instantâneas, resultando na energia consumida em um intervalo de tempo. Em seguida, o valor da energia consumida é armazenado em uma memória e exibido no visor do medidor.

Figura 2.4 - Diagrama de blocos do medidor eletrônico



Fonte: MÍNGUEZ (2007)

O uso de medidores eletrônicos é imprescindível para a evolução da rede elétrica em uma rede inteligente (*smart grid*) e pode, facilmente, incorporar novos protocolos de medição, a medida que estes surgirem com uma simples atualização de *software*. O uso de novos algoritmos para o cálculo da energia se faz necessário, pois há uma tendência de que as cargas e o sistema elétrico em geral se tornem mais complexos e a forma de onda se distancie cada vez mais da senóide perfeita.

Além dos benefícios ao consumidor, o sistema de *smart grids* (redes inteligentes) é visto como importante ferramenta para gestão do sistema elétrico nacional. Através dele será possível introduzir tarifas diferenciadas para consumidores residenciais, promover a interação do consumidor com a conta de energia, reduzir as perdas não técnicas e prevenir algum eventual dano à rede elétrica. (NOGUEIRA *et al.*, 2017)

Um medidor eletrônico que seja capaz de fornecer múltiplas informações para o consumidor, as concessionárias e frequentemente comuniquem-se com centrais de controle e supervisão são referidos como medidores inteligentes.

2.3 BATERIAS

Uma bateria é um dispositivo elétrico cuja função é prover uma corrente elétrica contínua. É um dispositivo usado extensivamente pela sua capacidade de fornecer energia elétrica a uma infinidade de aparelhos. Também, serve como suprimento de energia de emergência e como uma forma de se armazenar energia elétrica advinda de painéis fotovoltaicos, uma vez que, a energia fotovoltaica não é produzida sem luz solar, fazendo-se necessário suprir sua demanda com a energia armazenada durante horário em que não ocorre a produção de energia solar fotovoltaica.

2.3.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Uma bateria é um conjunto de pilhas ou células. Cada célula é formada basicamente por dois eletrodos e um eletrólito. A produção de energia se dá por uma reação química entre os elementos constituintes da bateria que libera elétrons em um eletrodo e o absorve em outro. Deste modo, se for provido um caminho externo para a movimentação dos elétrons, como por exemplo, conectar os eletrodos em um circuito elétrico fechado, uma corrente elétrica existirá neste circuito em função da movimentação dos elétrons.

Na verdade, pilha ou bateria é um sistema que, através de um fenômeno químico, realiza a transformação de energia química em energia elétrica, isto é, realiza uma reação química de oxidação e redução (oxirredução), na qual ocorre a movimentação de elétrons por um circuito elétrico externo (NISENBAUM, 2011).

Podemos entender o conceito de energia química como a energia potencial resultante da configuração estrutural dos átomos ou moléculas, ou seja, a energia que está armazenada nos átomos ou nas moléculas e que é modificada quando acontece uma reação química. Como consequência desse conceito, podemos estabelecer que ao modificarmos a configuração estrutural das substâncias químicas teremos uma alteração no conteúdo energético das novas substâncias formadas (NISENBAUM, 2011).

A tendência dos compostos químicos é entrar em equilíbrio, buscando um estado estável, de menor energia. Assim, ao se colocar eletrodos de materiais previamente escolhidos em um eletrólito que permita que a reação ocorra tem-se a reação de oxirredução. Um eletrodo perde elétrons sofrendo oxidação e outro ganha elétrons sofrendo redução.

Existem pilhas e baterias primárias, ou seja, aquelas que não podem ser recarregadas, pois a reação química é irreversível. E há aquelas secundárias, que permitem recarga pela

aplicação de uma corrente de modo a inverter a reação química. Cessando o processo de recarga a reação química pode ocorrer novamente fornecendo a energia armazenada.

A combinação dos elementos dos eletrodos e eletrólitos permitem produzir diversos tipos de baterias. Cada tipo de bateria possui parâmetros elétricos básicos diversos, que dependem não só dos elementos constituintes, mas também do tamanho e da topologia de ligação das células. Os principais parâmetros a serem escolhidos do ponto de vista elétrico são:

- Corrente Elétrica: é o fluxo de cargas elétricas dado em Ampère (A). A corrente nominal da bateria pode ser representada por 1C. Exemplificando: se é drenada uma corrente de 0,5C, significa que está sendo drenada a metade da corrente nominal da bateria, se estamos carregando com uma corrente de 0,2C, dizemos que a bateria está sendo carregada com 20% da corrente nominal;
- Tensão Elétrica: é a diferença de potencial elétrica entre dois pontos, necessária para o estabelecimento de uma corrente elétrica. A unidade é Volts (V). A tensão de uma bateria depende dos elementos usados na célula, do número de células e da topologia de ligação entre as células;
- Capacidade: é a energia que pode ser tirada da bateria, ou a corrente que pode ser drenada em um período de tempo. Usualmente é medida em Ampère-hora (Ah) ou miliampère-hora (mAh). Uma bateria de 2200mAh pode alimentar uma carga com uma corrente de 100mA por 22 horas. Também pode ser medida em Wh, que pode ser obtida pela capacidade em Ampère-hora multiplicada pela tensão.

2.3.2 EVOLUÇÃO DAS BATERIAS

As baterias e pilhas estão intimamente ligadas ao surgimento e evolução da eletroquímica. Em 1786, o médico e pesquisador italiano, Luigi Galvani observou que ao se dissecar uma rã fixada por um gancho de latão, a perna do anfíbio se mexia quando o cientista a tocava com seu bisturi de ferro. A explicação correta para este fenômeno veio em 1793, quando o físico e matemático italiano Alessandro Volta observou que dois metais diferentes em um eletrólito forneciam eletricidade.

Somente “em 1800, Volta inventou a primeira pilha elétrica. Antes dela, a energia elétrica era gerada por máquinas eletrostáticas e armazenada em capacitores que serviam depois como fontes de tensão elétrica” (NISENBAUM, 2011). A invenção da pilha permitiu a

execução de muitos experimentos químicos e físicos, pois servia como fonte de eletricidade de autonomia superior aos capacitores, contribuindo para evolução do conhecimento científico.

Depois da contribuição de Volta iniciou-se a busca por eletrodos práticos e eficientes. De forma resumida, pode-se sintetizar as contribuições que se seguiram:

- Em 1800 Alessandro Volta criou a Pilha de Volta composta de eletrodos de prata e zinco e eletrólito composto de panos umedecidos em sal ou ácidos fracos;
- Em 1836 John Frederic Daniell criou a Pilha de Daniell composta de eletrodos de zinco e cobre cada um mergulhado em um eletrólito composto de uma solução com seus próprios íons, interligados por uma ponte salina entre as soluções;
- Em 1839 William Robert Grove criou a Pilha de Grove composta de eletrodos de platina e zinco e eletrólitos de ácido nítrico e ácido sulfúrico;
- Em 1839 William Robert Grove também criou a Célula de Combustível (A energia é produzida pela reação entre oxigênio e hidrogênio);
- Em 1859 Gaston Planté criou a Bateria de Chumbo-Ácido composta de eletrodos de chumbo e dióxido de chumbo imersos em uma solução de ácido sulfúrico. Foi a primeira bateria recarregável;
- Em 1866 Georges Leclanché criou a Pilha de Leclanché composta de eletrodos de zinco e grafite e um eletrólito pastoso composto de dióxido de manganês, carvão em pó, cloreto de amônio, cloreto de zinco e água. Também conhecida como pilha seca por ser a precursora da pilha comum dos dias atuais;
- Em 1899 Waldmar Jungner criou a pilha de níquel cádmio composta de eletrodos de níquel e cádmio em um meio alcalino de hidróxido de potássio;
- Em 1901 Thomas Edison substituiu o cádmio por ferro, criando a bateria de níquel-ferro (NiFe). Esta não oferecia um bom desempenho, pois apresentava baixa energia, grande sensibilidade a temperaturas e alta taxa de auto descarga;
- Em 1917 Gilbert Newton Lewis iniciou pesquisas utilizando lítio nos eletrodos, somente mais tarde, em 1970 as pilhas de lítio e íons de lítio foram comercializadas.

2.3.3 PRINCIPAIS TIPOS DE BATERIAS

Ao longo dos anos vem se experimentando diversos materiais nos eletrodos e eletrólitos, produzindo os vários tipos de baterias existentes. Cada uma com características

peculiares, que lhe conferem vantagens e desvantagens. Sendo, portanto, cada tipo de bateria aplicável em casos específicos.

2.3.3.1 CHUMBO-ÁCIDA

As baterias de chumbo-ácida são extremamente populares principalmente devido ao seu baixo custo. Porém apresentam uma queda considerável em sua vida útil quando submetidas a altas temperaturas e ciclos de descarga maiores que 80%. Tipicamente sua célula possui uma tensão nominal de 2V (Quando totalmente carregadas 2,12V e quando totalmente descarregadas 1,75V), assim não se deve descarregar uma célula de modo que sua tensão seja menor que 1,93V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 30 a 50 Wh/kg e possuem uma longevidade entre 500 e 800 ciclos de carga.

Como regra geral deve-se respeitar um limite máximo de descarga por hora de 30% da capacidade nominal da bateria (SOUSA, 2004). Sendo recomendável não ultrapassar uma taxa máxima de descarga por hora de 20% (0,2C) de sua capacidade nominal.

Este tipo de bateria é extensivamente utilizado em equipamentos hospitalares, cadeira de rodas elétricas, luzes de emergência, nobreaks de grande e pequeno porte, automóveis e empilhadeiras (MICHELINI, 2017).

Existem três tecnologias de construção de uma bateria de chumbo-ácida:

- Fluidas: O eletrólito move-se livremente entre as células. Há baterias ventiladas (FVLA) em que o utilizador deve-se adicionar água destilada periodicamente e há aquelas seladas (VRLA), que dispensam manutenção pois possuem uma válvula para regular a pressão dos gases produzidos internamente;
- Gel: Possuem um aditivo de sílica no eletrólito de modo a imobilizá-lo. Dispensam manutenção por serem seladas com uma válvula para regulação dos gases;
- AGM (*Absorbed Glass Mat*): o eletrólito fica embebido em uma manta de fibra de vidro, sendo mais resistentes. Também são seladas e possuem válvula para regulação dos gases;

As baterias de chumbo-ácida podem ser classificadas quanto ao regime de trabalho em:

- *SLI (starting, lighting, ignition)*: conhecidas também como baterias automotivas. São constituídas de muitas chapas finas de chumbo com intuito de apresentar grande área de contato com o eletrólito. Deste modo, são capazes de fornecer uma

grande quantidade de energia num curto espaço de tempo, sendo ideal para partidas;

- *Deep-Cycle* (Estacionárias): Tem menos placas de chumbo, porém são mais grossas. Permitem que uma pequena quantidade de energia seja fornecida por muito tempo. São ideais para aplicações de emergência e armazenamento de energia fotovoltaica;
- *Marine Deep-Cycle* (Híbridas): São o meio termo entre as automotivas e as estacionárias. Comumente usadas em embarcações.

Para se carregar uma bateria de chumbo-ácida aplica-se uma forma de carregamento multiestágio: no período inicial, aplica-se uma corrente constante responsável por carregar aproximadamente 70% da capacidade da bateria; no segundo estágio aplica-se uma carga lenta mantendo constante a tensão de pico da célula que é responsável por carregar os 30% restantes da capacidade da bateria; por fim, aplica-se uma carga de flutuação para compensar as perdas do auto descarregamento.

2.3.3.2 NÍQUEL-CÁDMIO (NiCd)

Possuem um baixo custo e “um ótimo desempenho sob rigorosas condições de trabalho, em baixas temperaturas, subtensão e sobrecarga” (TRINDADE, 2006). Tem a grande desvantagem de sofrerem do efeito memória, isto é, adquirir uma capacidade de carga cada vez menor se não descarregadas completamente. Também tem uma alta taxa de auto descarga além de possuírem cádmio em sua composição que é tóxico e nocivo ao meio ambiente.

É uma tecnologia madura sendo muito empregada em: “telefones sem fio, walkie-talkies, equipamentos médicos e ferramentas elétricas” (MICHELINI, 2017).

Sua célula possui uma tensão nominal de 1,2V, sendo a tensão mínima típica de 1,0V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 45 a 80 Wh/kg e possuem uma longevidade entre 500 e 1000 ciclos de carga. Preferem uma carga rápida (1C) e pulsada, porém, baterias novas devem ser submetidas a ciclos lentos (0,1C) para equalizar a tensão das células. Admitem uma temperatura de operação de 0°C a 60°C.

2.3.3.3 HIDRETOS METÁLICOS DE NÍQUEL (NiMH)

Muito utilizadas em circuitos de médio e alto consumo, como ferramentas elétricas e veículos híbridos. Suportam grandes variações de temperaturas, porém sofrem de efeito memória se não descarregadas completamente. Embora este efeito seja menos proeminente que nas baterias de NiCd. Também apresentam um custo elevado e uma taxa de auto descarregamento considerável, maior até que a apresentada pelas baterias de NiCd. Como vantagem podemos citar a maior densidade de carga que nas baterias de NiCd.

“As principais aplicações dessas baterias são telefones celulares, câmeras digitais e notebooks mais antigos” (MICHELINI, 2017). São substitutas das baterias de NiCd pois apresentam características semelhantes, com o diferencial de não possuírem cádmio, sendo menos agressivas ao meio ambiente.

Tipicamente sua célula possui uma tensão nominal de 1,2V com a tensão mínima típica de 1,0V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 60 a 120 Wh/kg e possuem uma longevidade entre 500 e 1000 ciclos de carga. Preferem uma carga rápida inicial (1C) e uma moderada em seguida (0,3C a 0,5C) em um processo conhecido como “carga diferencial por etapas”, pois a ciclos lentos (0,1C) é difícil detectar quando estão completamente carregadas. Admitem uma temperatura de operação de 0°C a 60°C.

2.3.3.4 ÍONS DE LÍTIO

Estas baterias apresentam a grande vantagem de não sofrerem do efeito memória e propiciarem uma taxa de auto descarga baixa. São capazes de alimentarem circuitos de alta demanda de energia. Porém, ainda apresentam um custo elevado e podem apresentar problemas de segurança devido à instabilidade do lítio. Portanto, baterias recentes de lítio não o usam na forma metálica. Também são sensíveis ao descarregamento completo, a temperaturas extremas e ao sobre carregamento. Assim, faz-se necessário o uso de um circuito de proteção para manter sua operação segura.

Existem diferentes tipos de baterias de íons de lítio, sendo este um nome genérico. As químicas mais comuns são:

- Óxido de lítio cobalto (LiCoO_2) – LCO:

Tipicamente sua célula possui uma tensão nominal de 3,6V sendo a faixa de tensão de operação 3,0V até 4,2V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 150 a

200 Wh/kg e possuem uma longevidade entre 500 e 1000 ciclos de carga. Sua corrente de carga e descarga não deve ultrapassar 1C. Aplicadas geralmente em telefones celulares, *tablets*, *notebooks* e câmeras.

- Óxido de lítio manganês (LiMn_2O_4) – LMO:

Tipicamente sua célula possui uma tensão nominal de 3,7V sendo a faixa de tensão de operação 3,0V até 4,2V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 100 a 150 Wh/kg e possuem uma longevidade entre 300 e 700 ciclos de carga. Sua corrente de carga típica é de 0,7C a 1C podendo chegar até 3C. A corrente de descarga contínua pode ir de 1C à 10C e pulsada pode chegar até 30C por 2,5s. As principais aplicações são em ferramentas elétricas, dispositivos médicos e em veículos elétricos.

- Óxido de lítio níquel manganês cobalto (LiNiMnCoO_2) – NMC:

Tipicamente sua célula possui uma tensão nominal de 3,6V sendo a faixa de tensão de operação 3,0V até 4,2V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 150 a 220 Wh/kg e possuem uma longevidade entre 1000 e 2000 ciclos de carga. Sua corrente de carga típica é de 0,7C a 1C. A corrente de descarga contínua pode ir de 1C à 2C. As principais aplicações são em veículos elétricos, dispositivos médicos e em aplicações industriais.

Usualmente para fornecer energia elevada na aceleração de veículos elétricos é usada uma bateria de LMO e para fornecer autonomia utiliza-se baterias de NMC. Essa combinação está presente em veículos como Nissan Leaf, Chevy Volt e BMW i3.

- Fosfato de lítio ferro (LiFePO_4) – LFP:

Tipicamente sua célula possui uma tensão nominal de 3,2V sendo a faixa de tensão de operação 2,5V até 3,65V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 90 a 120 Wh/kg e possuem uma longevidade entre 1000 e 2000 ciclos de carga. Sua corrente de carga típica é de 1C. A corrente de descarga contínua pode ir de 1C à 25C em algumas células. São muito seguras, porém apresentam uma alta taxa de autodescarga. São usadas para substituir as baterias de chumbo ácida em veículos.

- Óxido de lítio níquel cobalto alumínio (LiNiCoAlO_2) – NCA:

Tipicamente sua célula possui uma tensão nominal de 3,6V sendo a faixa de tensão de operação 3,0V até 4,2V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 200 a 260 Wh/kg e possuem uma longevidade de 500 ciclos de carga. Sua corrente de carga típica é de 0,7C. A corrente de descarga contínua é de 1C. Em comparação as outras químicas de íons de lítio a NCA apresentam menor segurança e custo mais elevado. As principais aplicações são em veículos elétricos (Tesla), dispositivos médicos e em aplicações industriais.

- Titanato de lítio ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) – LTO:

Tipicamente sua célula possui uma tensão nominal de 2,4V sendo a faixa de tensão de operação 1,8V até 2,85V. As baterias tipicamente apresentam densidade de potência 70 a 80 Wh/kg e possuem uma longevidade entre 3000 e 7000 ciclos de carga. Sua corrente de carga típica é de 1C podendo chegar até 5C. A corrente de descarga contínua pode chegar até 10C e pulsada até 30C por 5s. As principais aplicações são em veículos elétricos (Mitsubishi i-MiEV e Honda Fit EV), nobreaks e em iluminação pública com energia solar.

2.3.3.5 ÍONS DE LÍTIO-POLÍMERO

Estas baterias diferem das demais de íons de lítio pois utilizam um eletrólito de polímero gelificado, diferente do separador poroso embebido em eletrólito. A grande maioria é construída com li-cobalto, porém é possível encontrar baterias construídas com NMC, li-fosfato e li-manganes. Embora tenham a química semelhante as baterias de íons de lítio típicas, as baterias de lítio-polímero têm energia específica ligeiramente maior e podem ser construídas em invólucros muito finos, podendo assumir as mais diversas geometrias. Assim como as de íons de lítio, as de íons de lítio-polímero não sofrem de efeito memória, porém apresentam um custo elevado. Possuem características semelhantes as baterias de íons de lítio dependendo da química usada.

2.3.3.6 OUTRAS

Existem ainda diferentes químicas de baterias nas fases de pesquisa e experimentação. A maioria destas novas tecnologias necessitam de maturação e redução de custos para a viabilidade e aplicação prática. Pode-se citar as baterias de: sal fundido, lítio-enxofre, lítio-ar, materiais orgânicos, nanoestruturas, etc.

As baterias de sal fundido estão sendo pesquisadas há muito tempo e já existem veículos elétricos experimentais que a utilizam. Dentre as químicas existentes deve-se destacar a de Sódio - Cloreto de Níquel (Na-NiCl_2), também conhecida por bateria ZEBRA. Estas baterias são capazes de operar com pouca manutenção e em amplas faixas de temperaturas, sendo resistentes a temperaturas elevadas já que temos como ânodo o sódio fundido e como eletrólito o NaAlCl_4 também fundido. Para completar o cátodo é o NaCl_2 e apresenta-se em estado sólido. O correto funcionamento depende de manter o eletrólito e o

ânodo fundidos, portanto no interior da bateria deve-se manter uma temperatura entre 270°C a 350°C. Em função desta característica ela apresenta altas taxas de auto descarga e parte da sua energia é usada para auto aquecimento. Em contrapartida esta bateria apresenta alta eficiência, aliada a alta densidade de energia, tempo de vida satisfatório e utiliza para sua construção materiais abundantes na natureza.

Embora busque-se a química ideal, uma solução para a bateria ideal seria a associação de baterias com características diversas, ou até mesmo a associação com outras formas de armazenamento de energia, como por exemplo, supercapacitores e células combustíveis. Este armazenamento híbrido seria capaz de aproveitar os pontos fortes de algumas químicas e mitigar suas desvantagens fazendo o uso de outra tecnologia como contraponto.

2.4 NOBREAKS

O desenvolvimento tecnológico cada vez maior cria maravilhas na engenharia para facilitar a vida do homem. Essas maravilhas quase sempre consomem energia elétrica, cujo consumo só aumenta. “O fornecimento de energia elétrica, nos anos atuais, vêm expondo, de modo crescente, características diferentes daquelas consideradas ideais” (SOUZA *et al.*, 2015). Este desvio das condições ideais ocorre, entre outros fatores, em função do aumento de carga e do aumento da complexidade dos sistemas de distribuição de energia.

Ainda de acordo com SOUZA *et al.* (2015) “tem-se constatado um aumento significativo dos pedidos de ressarcimento feitos por consumidores às concessionárias de energia”. Demonstrando que a qualidade de energia tem se tornado um assunto importante. Deve-se lembrar que “as interrupções são inadmissíveis em algumas aplicações consideradas críticas, como por exemplo, cargas hospitalares, de informática, industrial e de telecomunicação” (SOUZA *et al.*, 2015).

Tendo em vista os requisitos de continuidade e qualidade da energia elétrica soluções vem sendo aplicadas para viabilizar operações críticas. A solução mais comum é o uso de *Nobreak* ou *UPS* (*Uninterruptible Power Supply* que significa Fonte de Energia Ininterrupta).

Com a disseminação da energia fotovoltaica e a geração de energia distribuída, as pessoas podem aproveitar os conceitos e arquiteturas de *nobreaks* para terem alguma forma de armazenamento e suprimento de energia emergencial para suas casas. É importante frisar que veículos elétricos também poderão realizar esta função e até mesmo fornecer energia em horários de alta demanda já que dispõem de baterias que podem chegar a 100kWh.

2.4.1 CONCEITO

Sistemas *UPS*

são capazes de suprir energia elétrica de forma adequada e contínua, mesmo sob a presença de distúrbios e interrupções oriundos da concessionária de energia elétrica, durante um prazo pré-estabelecido. Para tanto, emprega-se um banco de baterias para suprimento auxiliar até que a rede elétrica seja regularizada ou um gerador de emergência seja conectado em paralelo com a rede elétrica (SOUZA *et al.*, 2015).

MARTINS, BONAN e FLORES (2005) pontuam, sobre sistemas *UPS*, onde “seu objetivo principal é fornecer energia sem interrupções, dentro de certas especificações, tais como valor eficaz da tensão, frequência, distorção harmônica, etc.” Essas especificações dependem da carga e da aplicação desta carga. Por exemplo,

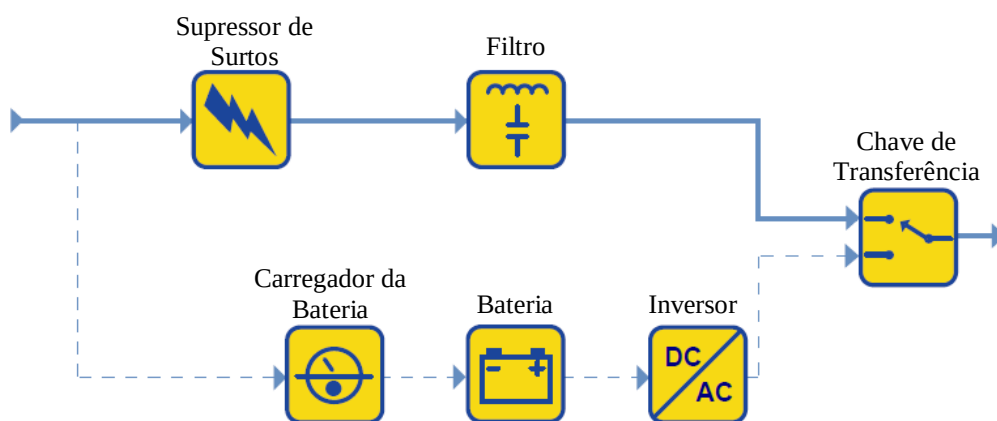
a utilização de nobreaks monofásicos como fonte ininterrupta para alimentação de grandes cargas não é a melhor opção. Em geral, para potências superiores a 15 kVA os nobreaks monofásicos não são a alternativa mais atrativa. A partir desta faixa de potência as estruturas trifásicas começam a ser mais atrativas (MARTINS, BONAN e FLORES, 2005)

A ideia básica de um sistema *UPS* é alimentar determinada carga com qualidade. Assim ele conta com blocos para regulação e filtragem, além de contar com blocos que possibilitem o carregamento e o uso de baterias para garantir a continuidade. Existem diversas topologias possíveis, com diferentes parâmetros de performance e aplicações.

2.4.2 TOPOLOGIAS DE *NOBREAK*

2.4.2.1 *STANDBY* OU *OFFLINE*

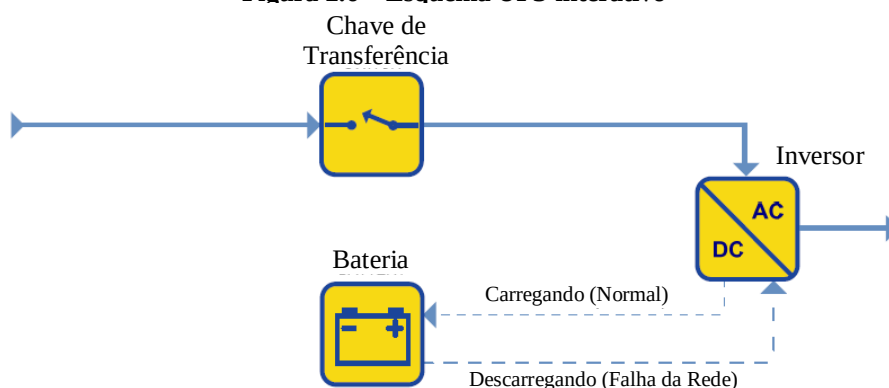
É o sistema mais comum em computadores de mesa por ser pequeno, eficiente e barato. Usado basicamente em pequenas potências residenciais. Quando a fonte primária está disponível o sistema de baterias e de inversor fica em *standby*. Se for um sistema *UPS* de qualidade, é possível que exista filtragem e um supressor de surtos na alimentação, porém não é possível implementar regulação de tensão na saída. Há também um tempo de chaveamento para a alimentação das baterias que, via de regra, não é sentido pela carga. O esquema deste sistema pode ser visto na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Esquema UPS standby ou off-Line

Fonte: Adaptado de RASMUSSEN (2003)

2.4.2.2 INTERATIVO

Muito comum em pequenas empresas para potências de até 5kVA também possui um custo pequeno, tamanho reduzido e alta eficiência. Nesta configuração um único conversor integra as funções de carregador de baterias, inversor e regulador de tensão. Além de dispor de baterias, caso a alimentação primária falhe, esta topologia provê certo condicionamento de tensão. Porém, não protege contra variações de frequência nem harmônicos, além de apresentar um pequeno tempo de comutação entre as fontes. A topologia pode ser vista na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Esquema UPS interativo

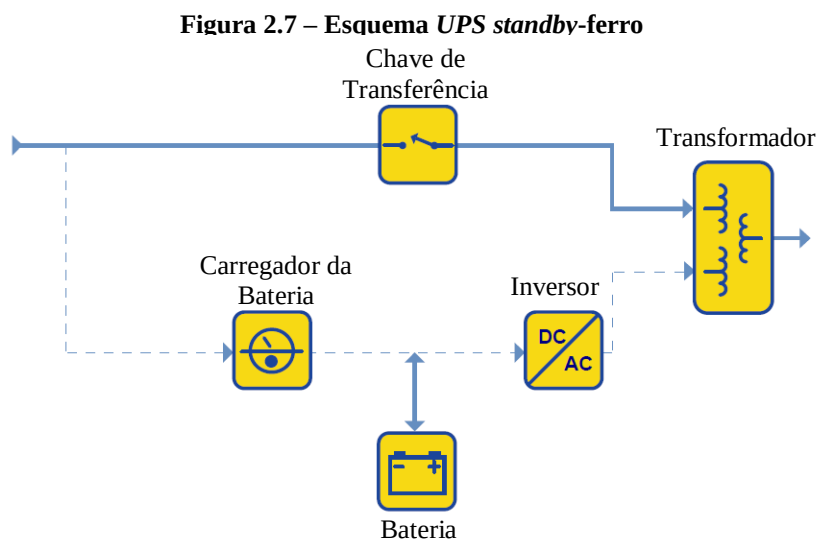
Fonte: Adaptado de RASMUSSEN (2003)

2.4.2.3 STANDBY FERRO

Este sistema está caindo em desuso, embora fosse popular para potências entre 3-15kVA. Seu projeto depende de um transformador saturado, por isto é um sistema pesado,

grande e ineficiente, já que produz muito calor. Também pode causar instabilidades dependendo da carga a ser alimentada, além de, ser incompatível com alguns geradores.

Nesta topologia o inversor fica em *standby* quando há fonte primária. Na ausência desta, o inversor e as baterias são responsáveis pela alimentação da carga. O transformador provê isolamento e regulação da tensão de forma limitada, porém por ser um grande indutor também insere distorções na tensão. A topologia pode ser vista na Figura 2.7.



Fonte: Adaptado de RASMUSSEN (2003)

2.4.2.4 DUPLA CONVERSÃO OU *ONLINE*

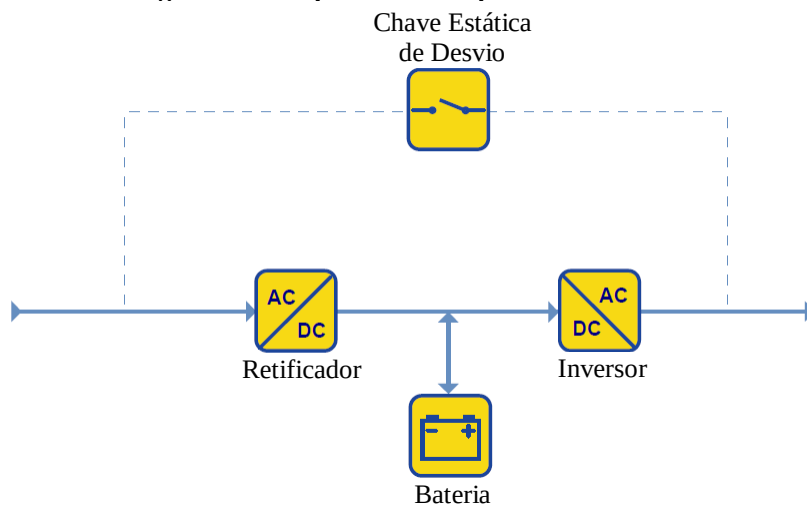
O UPS mais comum em *datacenters* e para cargas acima de 10kVA é o tipo Dupla Conversão ou *Online*. Tem eficiência menor que o Interativo e o *Off-Line*, em torno de 95%, pois a energia da carga sempre passa por um retificador e inversor. Em compensação, essa topologia isola completamente a energia da carga da energia da rede fornecendo uma tensão de saída com tensão e frequência regulada. “Esta é a única arquitetura de UPS que protege a carga contra os principais distúrbios da rede elétrica, sempre fornecendo tensão senoidal na saída além de não apresentar interrupção nas transferências de carga” (SOUZA *et al.*, 2015). A topologia pode ser vista na Figura 2.8.

Esta topologia apresenta três modos de operação:

- Modo rede: a energia da rede primária é retificada e invertida para em seguida alimentar a carga dentro dos parâmetros estabelecidos;
- Modo bateria: no caso de falta da fonte primária, a rede é desconectada e o banco de baterias alimenta o inversor que, por conseguinte, alimenta a carga;

- Modo *Bypass*: A carga é alimentada diretamente pela rede caso haja alguma falha na etapa de retificação ou inversão. Neste caso não há regulação de tensão e frequência.

Figura 2.8 – Esquema *UPS* dupla conversão ou *on-line*

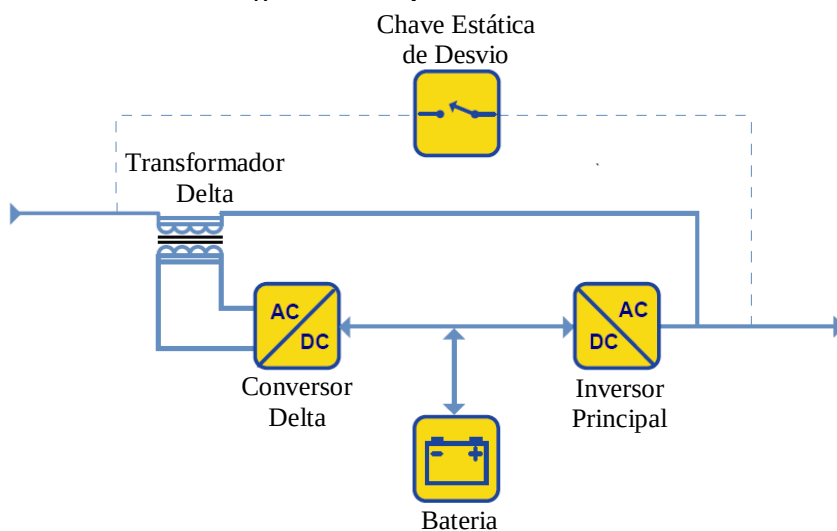


Fonte: Adaptado de RASMUSSEN (2003)

2.4.2.5 CONVERSÃO DELTA *ONLINE*

Este sistema *UPS* é uma tecnologia recente que objetiva melhorar o sistema de dupla conversão. Este sistema está disponível entre 5kVA até 1,6MW. Esta arquitetura é similar ao *UPS* de dupla conversão, pois seu inversor sempre é alimentado. Ele também provê comportamento análogo ao sistema de dupla conversão no caso de ausência da rede primária e de distúrbios na tensão e na frequência. A grande melhoria é em função da eficiência, já que a

Figura 2.9 – Esquema *UPS* delta *on-line*



Fonte: Adaptado de RASMUSSEN (2003)

conversão delta reduz as perdas de energia. Outra vantagem é que a energia na entrada é dinamicamente controlada, deste modo, este sistema é compatível com geradores, pois é capaz de manter o fator de potência e outros parâmetros de qualidade de energia em valores desejáveis. A Figura 2.9 mostra a topologia deste sistema.

2.4.2.6 ROTATIVO OU *FLYWHEEL*

Este tipo de *UPS* não utiliza baterias e, portanto, possui autonomia de segundos ou minutos. “É usado em aplicações que admitem um tempo de transferência curto em caso de falta de energia da concessionária” (FRIGO, 2015).

Durante o fornecimento normal de energia da rede, o nobreak rotativo atua como um motor, armazenando energia cinética no acumulador. No momento em que a rede elétrica falha, a energia cinética armazenada é transferida para o estator-alternador, atuando como um gerador e fornecendo energia à carga até o momento que o motor à diesel possa ser acoplado (FRIGO, 2015).

“O uso desse tipo de nobreak se torna mais vantajoso técnica e economicamente conforme a potência é aumentada, o que acontece a partir de aproximadamente 500kVA” (MCCLUER e CHRISTIN, 2011 *apud* FRIGO, 2015).

2.5 VEÍCULOS ELÉTRICOS

2.5.1 CONCEITO

“Um veículo elétrico é aquele tracionado por pelo menos um motor elétrico” (CASTRO & FERREIRA, 2010). Embora um veículo com motor a combustão interna disponha de sistemas elétricos e motores elétricos auxiliares, a eletricidade não é usada para tração, somente o motor a combustão.

2.5.2 HISTÓRICO

A proposta de se utilizar veículos elétricos não é recente. Remonta o final do século XIX e início do XX. Os veículos elétricos foram muito populares nos EUA neste período e coexistiam com veículos que se utilizavam da propulsão a vapor e a gasolina. “Em 1903,

havia cerca de quatro mil automóveis registrados na cidade de Nova York, sendo 53% a vapor, 27% a gasolina e 20% elétricos” (BARAN & LEGEY, 2011).

Porém com a popularização dos combustíveis derivados do petróleo e seus preços muito baixos, a invenção da partida elétrica, a abertura de rodovias que interligavam cada vez mais cidades e o sistema de produção desenvolvido por Henry Ford, que barateava os carros a gasolina, os veículos elétricos começaram a cair em desuso.

Somente com as recentes preocupações ambientais, instabilidades no preço do petróleo e a conscientização do valor estratégico da energia para um país, que muitas vezes depende de fontes externas, os veículos elétricos voltaram a pauta. Inicialmente ressurgiram os híbridos, mais precisamente o Toyota Prius em 1997 no Japão, com a proposta de melhorar a eficiência energética do veículo, poluir menos e ter autonomia comparável aos veículos a combustão, utilizando as tecnologias de baterias disponíveis sem depender da rede elétrica. Proposta semelhante aos primeiros híbridos no início do século XX: “O objetivo dos primeiros automóveis híbridos era o de compensar a baixa eficiência das baterias utilizadas nos veículos puramente elétricos e a falta de estrutura de distribuição de energia elétrica no início do século XX” (BARAN & LEGEY, 2011).

A partir de então surge o interesse em veículos elétricos graças ao sucesso de alguns modelos de híbridos nos mercados asiático, europeu e norte americano. A Figura 2.10 contém uma linha do tempo sintética sobre a história do veículo elétrico.

2.5.3 TIPOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

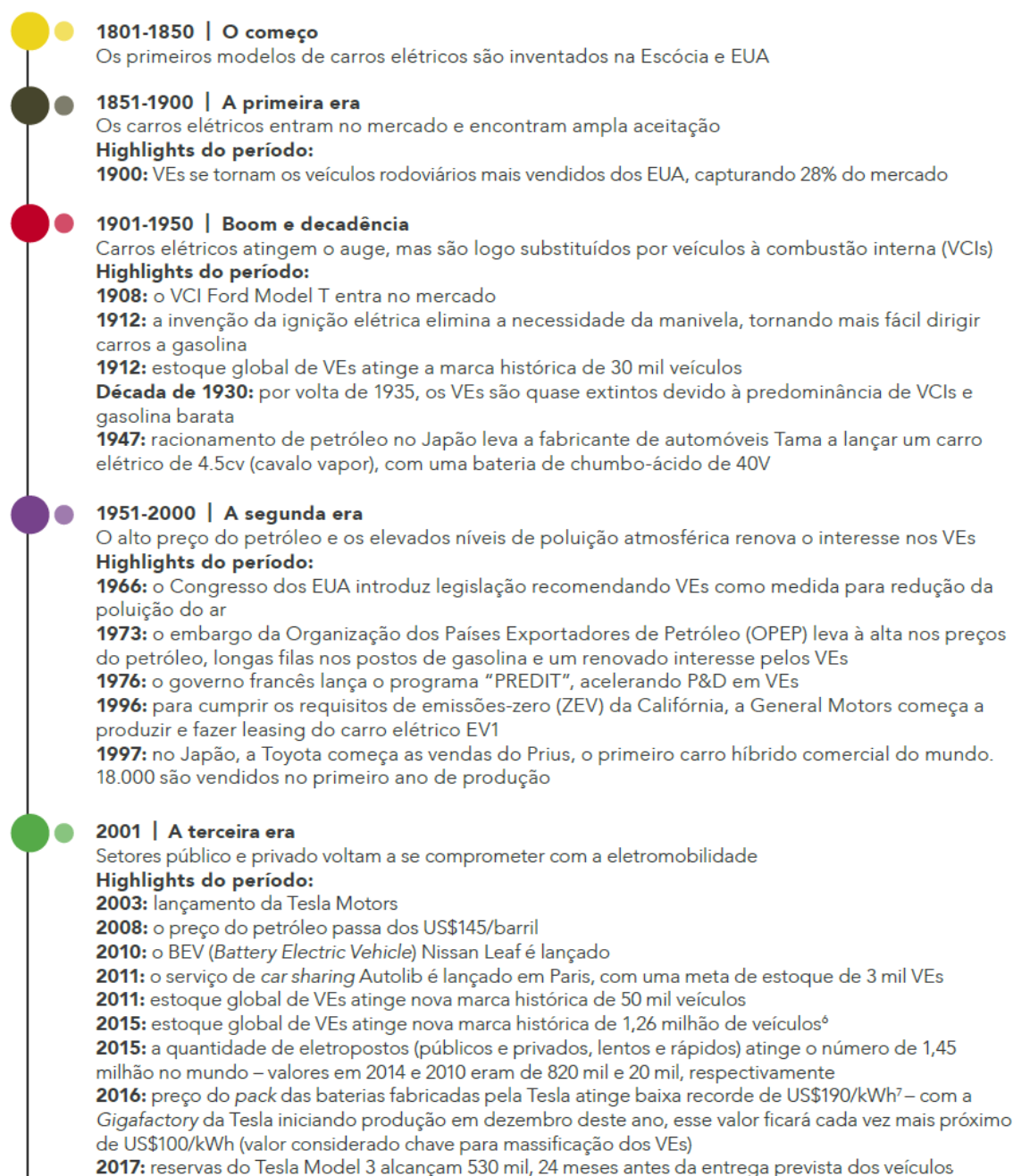
2.5.3.1 VEÍCULOS HÍBRIDOS

Veículos que combinam um motor de combustão interna com um ou mais motores elétricos para tração são chamados de veículos híbridos. A proposta dos híbridos é reduzir o gasto de energia associado à ineficiência dos processos mecânicos se comparados aos sistemas eletrônicos (RASKINE & SHAH, 2006 apud CASTRO & FERREIRA, 2010).

DELGADO *et al* (2017) pontua que a eficiência energética dos motores elétricos pode chegar a 80% enquanto que dos veículos a combustão situa-se entre 12% e 18%.

É possível adotar ciclos alternativos ao Otto em motores de combustão interna nos veículos híbridos, pois o motor elétrico pode agir quando os ciclos alternativos não são eficientes. Por exemplo, pode-se utilizar o ciclo Atkinson-Miller para altas velocidades e altas rotações e o motor elétrico para baixas velocidades e baixas rotações. Nos híbridos também é possível implementar com facilidade o sistema *Start & Stop*, utilizar paradigmas eficientes para transmissão e aproveitar tecnologias de recarga de bateria como a frenagem regenerativa de modo extensivo.

Figura 2.10 – Linha do tempo dos veículos elétricos



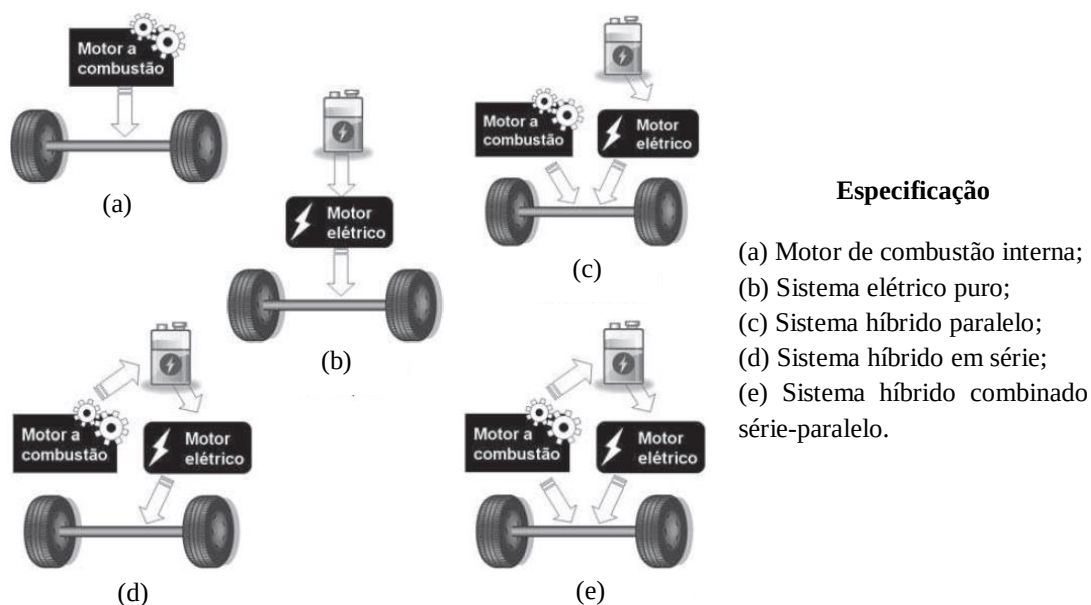
Fonte: DELGADO et al (2017)

Há três arquiteturas possíveis em veículos híbridos:

- Sistema híbrido série: o motor elétrico é responsável pela tração e o motor a combustão é ligado a um gerador capaz de alimentar o motor elétrico.
- Sistema híbrido paralelo: tanto o motor elétrico quanto o motor a combustão interna são capazes de tracionar o veículo, um complementa o outro.
- Sistema híbrido série-paralelo: ambos motores são capazes de tracionar o veículo e o motor a combustão tem ainda a capacidade de gerar energia para recarga das baterias.

Os veículos híbridos podem obter a energia elétrica por meio da frenagem regenerativa, motores a combustão interna ou até mesmo podem ser conectados a carregadores na rede elétrica. Quando dispõem deste último recurso são comumente chamados de veículos híbridos *plug-in*, pois podem ser plugados a uma tomada elétrica.

Figura 2.11 – Arquitetura dos veículos elétricos



Fonte: Adaptado de CASTRO & FERREIRA (2010)

2.5.3.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS PUROS

Os veículos puramente elétricos não têm um motor a combustão. São integralmente movidos por energia elétrica, seja provida por baterias, por células de combustível, por placas fotovoltaicas (energia solar) ou ligados à rede elétrica, como os *trólebus*. Entre esses, a maioria dos lançamentos das grandes montadoras tem se concentrado em veículos movidos a bateria (CASTRO & FERREIRA, 2010).

Nos veículos que fazem o uso da bateria para armazenar a energia, há uma grande dependência deste importante componente para a autonomia e o custo do veículo. Espera-se

que com o maior interesse da indústria nestes veículos ocorra um aperfeiçoamento das tecnologias existentes e incentivo a pesquisa de novos dispositivos visando maior autonomia, menor tempo de recarga, maior densidade de energia e redução dos custos.

2.5.4 RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS *PLUG-IN*

Há duas formas básicas para se recarregar veículos elétricos *plug-in*: a forma indutiva e a forma condutiva. Na forma indutiva uma estação de recarga cria um campo magnético que é captado pelo veículo. Através da corrente induzida ele carrega as baterias. “A carga indutiva (indução eletromagnética) necessita de uma estação de recarga, tem alta durabilidade, é mais segura, mas possui baixa eficiência e é necessário muito tempo para uma recarga completa” (ESCALANTE, PENNA & NASCIMENTO, 2018). A forma condutiva faz o uso do contato físico para a recarga através de condutores.

Devido a diversidade de fabricantes houve a necessidade de se padronizar o sistema de carga condutiva, especificando a parte elétrica, mecânica, os protocolos de comunicação e requisitos de desempenho. A norma ABNT NBR IEC 61851:2013 (Tradução da IEC 61851) é a norma adotada no Brasil para os sistemas de carregamento condutivo para veículos elétricos. Ela prevê quatro modos de recarga para as baterias dos veículos elétricos como pode ser visto na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Modos de recarga de baterias de veículos elétricos

Modo de Recarga	Característica/Aplicação	Tensão	Corrente ^a
Modo 1	· Carga lenta (alimentação CA monofásica ou trifásica) · Recarga em tomada residencial de uso geral	$\leq 250\text{ V (1}\phi\text{)}$ $\leq 480\text{ V (3}\phi\text{)}$	16 A
Modo 2	· Carga lenta (alimentação CA monofásica ou trifásica) · Recarga em tomada residencial de uso específico (proteção e controle-piloto incorporados ao cabo ou ao conector do VE)	$\leq 250\text{ V (1}\phi\text{)}$ $\leq 480\text{ V (3}\phi\text{)}$	32 A
Modo 3	· Carga lenta (alimentação CA monofásica ou trifásica) utilizando SAVE dedicado · Ponto de recarga (residencial/público)	$\leq 250\text{ V (1}\phi\text{)}$ $\leq 480\text{ V (3}\phi\text{)}$	32 A
Modo 4^b	· Carga rápida (alimentação CC) · Estações de recarga	—	—

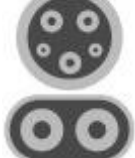
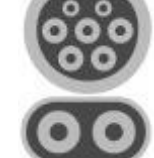
^aMaiores valores de corrente são permitidos para os Modos 2 e 3, desde que suportados pelos elementos do sistema de recarga;

^bEm desenvolvimento.

Fonte: RODRIGUES *et al* (2014)

O padrão de plugue adotado no Brasil e Europa é o preconizado pela norma IEC 62196, que é compatível com outros padrões já existentes: o padrão SAE J1772, utilizado nos Estados Unidos da América e o padrão denominado CHAdeMO utilizado no Japão. É importante frisar que o padrão Americano e Japonês não tem compatibilidade entre si, por isso alguns carros trazem ambos conectores. Existe ainda padrões chineses da GB/T e padrões proprietários da marca Tesla.

Tabela 2.2 – Padrões comuns de plugues para recarga de veículos elétricos

Tipo de Corrente	Região				
	Japão	EUA		Europa/Resto do Mundo	China
CA					
	SAE J1772 (Tipo 1)	SAE J1772 (Tipo 1)	Tesla Supercharger	Mennekes / IEC 62196 (Tipo 2)	GB/T
CC					
	CHAdeMO	CCS Combo 1	Tesla Supercharger	CCS Combo 2	GB/T

Fonte: Adaptado de <https://emotorwerks.com/news/blog/552-ev-charging-connector-types> em 28/05/2019

A carga lenta no Modo 1 não apresenta dificuldades pois o carregador usado é o instalado no próprio veículo, de modo que é necessário apenas conectá-lo a uma tomada de uso geral. A desvantagem é que a carga é muito demorada, pois a potência é muito pequena. Porém, esta é uma solução plausível para veículos híbridos *plug-in* que não possuem baterias com alta capacidade.

No caso dos veículos puramente elétricos, as baterias são de maior capacidade e, portanto, para serem carregados em um tempo satisfatório é necessária uma infraestrutura dedicada para esta função, com um circuito de uso específico e proteções capazes de suportar potências consideráveis. Assim deve-se usar no mínimo o Modo 2.

O Modo 3 possui potências semelhantes ao Modo 2, porém contém um Sistema de Alimentação de Veículos Elétricos (SAVE) dedicado com melhorias no controle e proteção que permite um carregamento em melhor tempo.

O Modo 4, ainda em desenvolvimento, prevê a alimentação em corrente alternada de um carregador externo (estação de recarga), que converte a corrente para corrente contínua, de

modo a permitir a recarga diretamente nas baterias. A estação também embute circuitos de proteção e controle. Este modo demanda grandes investimentos em infraestrutura, pois utiliza altas potências, podendo ser utilizado para cargas rápidas em rodovias ou espaços públicos, por exemplo.

2.6 AVALIAÇÃO FINANCEIRA DE OPORTUNIDADES DE INVESTIMENTO

Segundo HIGGINS (2014) “o principal determinante daquilo que uma empresa se tornará é o investimento que ela faz hoje”. Investir é desembolsar dinheiro hoje para alcançar objetivos que trarão benefícios futuros. Porém, antes de investir “é preciso decidir se os benefícios futuros previstos são grandes o bastante, diante dos riscos, para justificar o desembolso no presente; em segundo lugar, é preciso decidir se o investimento proposto é a maneira mais eficaz em termos de custos para alcançar o objetivo” (HIGGINS, 2014).

Para auxiliar na avaliação destas oportunidades de investimento conta-se com técnicas de fluxo de caixa descontado, que serão abordadas nesta subseção. Estas técnicas são úteis para avaliar se uma ação que envolve custos ou benefícios que vão além do presente exercício, deverão sair do planejamento e irem para o campo prático.

HIGGINS (2014) pontua que a avaliação financeira de qualquer oportunidade de investimento envolve três passos distintos:

1. Estimativa dos fluxos de caixa relevantes. Fluxo de caixa é simplesmente a movimentação do dinheiro que pode entrar ou sair de uma conta de caixa em um determinado período de tempo;
2. Cálculo de um indicador de valor para o investimento. Um indicador de valor é um número que sintetiza o valor econômico de um investimento;
3. Comparação do indicador de valor com um critério de aceitação.

2.6.1 O PRAZO DE *PAYBACK* E A TAXA CONTÁBIL DE RETORNO

O prazo de *payback* “é definido como o tempo que a empresa precisa esperar para recuperar seu investimento original” (HIGGINS, 2014). Este indicador é útil como uma medida grosseira do risco do investimento, como regra geral, quanto maior o tempo necessário para se recuperar um investimento inicial, maior o risco. Assim, busca-se menores valores de *payback*. Contudo, o *payback* é inadequado para se representar o valor de um

investimento, porque “além de ignorar o momento dos fluxos de caixa anteriores à data de *payback*, o prazo de *payback* é insensível a todos os fluxos de caixa que ocorram após essa data” (HIGGINS, 2014).

A taxa contábil de retorno é definida na Equação 2.5.

$$\text{Taxa contábil de retorno} = \frac{\text{Entrada de caixa anual média}}{\text{Saída de caixa total}} \quad (2.5)$$

Assim, como o *payback*, a taxa contábil de retorno apresenta deficiências. A principal é que ela é insensível ao momento dos fluxos de caixa.

Um indicador de valor preciso deve refletir o fato de que um dólar vale mais hoje do que no futuro. É esse o conceito do valor do dinheiro no tempo, que existe por pelo menos três motivos. Um é o fato de a inflação reduzir o poder de compra do dinheiro futuro em relação ao dinheiro de hoje; outro é que, na maioria dos casos, a incerteza quanto ao recebimento de um dólar aumenta à medida que a data de recebimento se distancia no futuro (HIGGINS, 2014).

Um terceiro motivo que faz o dinheiro ter valor no tempo envolve o importante conceito de custo de oportunidade. Por definição, o custo de oportunidade de qualquer investimento é o retorno que se poderia obter com a próxima melhor alternativa (HIGGINS, 2014).

Como o dinheiro tem valor no tempo, não se pode combinar fluxos de caixa de diferentes datas. Para determinar o valor futuro de uma soma presente aplica-se o processo de capitalização, e para se determinar o valor presente de uma soma futura aplica-se o desconto. Essas duas operações basicamente fazem o uso da Equação 2.6 conhecida como equação dos juros compostos:

$$\text{Valor futuro} = \text{Valor presente} \times (1 + \text{taxa de juros})^{\text{número de períodos}} \quad (2.6)$$

2.6.2 O VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O valor presente líquido, frequentemente abreviado como VPL, é um importante indicador de valor do investimento, sendo uma medida direta do aumento da riqueza que determinado investimento provocará. O VPL é calculado de acordo com a Equação 2.7:

$$VPL = \text{Valor presente das entradas de caixa} - \text{Valor presente das saídas de caixas} \quad (2.7)$$

Calculado o VPL, basta avaliar o seu valor. Para investimento com VPL positivo, aceita-se o investimento. Quando o VPL é negativo deve-se rejeitar o investimento e quando o VPL é zero o investimento é marginal.

2.6.3 A RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO

Conforme HIGGINS (2014) “outro indicador de valor ajustado pelo tempo, popular nos setores governamentais, é a relação custo-benefício (RCB), também conhecida como índice de lucratividade” definida de acordo com a Equação 2.8.

$$RCB = \frac{\text{Valor presente das entradas de caixa}}{\text{Valor presente das saídas de caixa}} \quad (2.8)$$

Um investimento será atraente se seu valor de RCB for maior que 1 e não será atraente se seu RCB for menor que 1.

2.6.4 A TAXA INTERNA DE RETORNO

De acordo com HIGGINS (2014) a taxa de desconto crítica em que o VPL passa de positivo para negativo e o investimento se torna inaceitável é a taxa interna de retorno, comumente abreviada como TIR.

Formalmente a TIR é a taxa de desconto à qual o VPL de um investimento é igual a zero.

A TIR deve ser comparada ao custo de oportunidade do capital de investimento. Se a TIR for superior ao custo de oportunidade do capital o investimento será atraente, se for abaixo deve ser rejeitado, e se for igual o investimento é marginal.

A TIR é a taxa à qual o dinheiro remanescente em um investimento aumenta, ou se capitaliza. Assim, a TIR é comparável, sob todos os aspectos, à taxa de juros de um empréstimo bancário ou depósito de poupança. Isso quer dizer que podemos comparar a TIR de um investimento diretamente com o custo percentual anual do capital a ser investido (HIGGINS, 2014).

2.6.5 ALTERNATIVAS MUTUAMENTE EXCLUDENTES E/OU COM RACIONAMENTO DE CAPITAL

Com os indicadores de VPL, RCB e TIR é possível avaliar alternativas de investimento independentes, porém “frequentemente há mais de um meio de alcançar um objetivo, e o problema de investimento passa a ser escolher a melhor alternativa. Nesse caso, dizemos que os investimentos são mutuamente excludentes” (HIGGINS 2014).

Assim não basta aceitar ou rejeitar uma proposta como nos investimentos independentes. No caso de investimentos mutuamente excludentes é preciso classificar as propostas e escolher a mais vantajosa, uma vez que por motivos técnicos ou diversos somente um investimento poderá ser escolhido.

O indicador adequado para alternativas mutuamente excludentes é o VPL, já que ele fornece a previsão do aumento da riqueza. O RCB e a TIR são insensíveis à escala do investimento, e portanto não são indicadores adequados para se analisar alternativas mutuamente excludentes.

Um problema que pode tornar a comparação do VPL inadequada é quando as alternativas têm vidas úteis diferentes. Há duas abordagens possíveis para resolver este problema: a primeira é examinar cada alternativa sob o mesmo horizonte de tempo; a segunda é calcular o custo anual equivalente das alternativas. O custo anual equivalente é o custo anual efetivo ajustado em relação ao tempo.

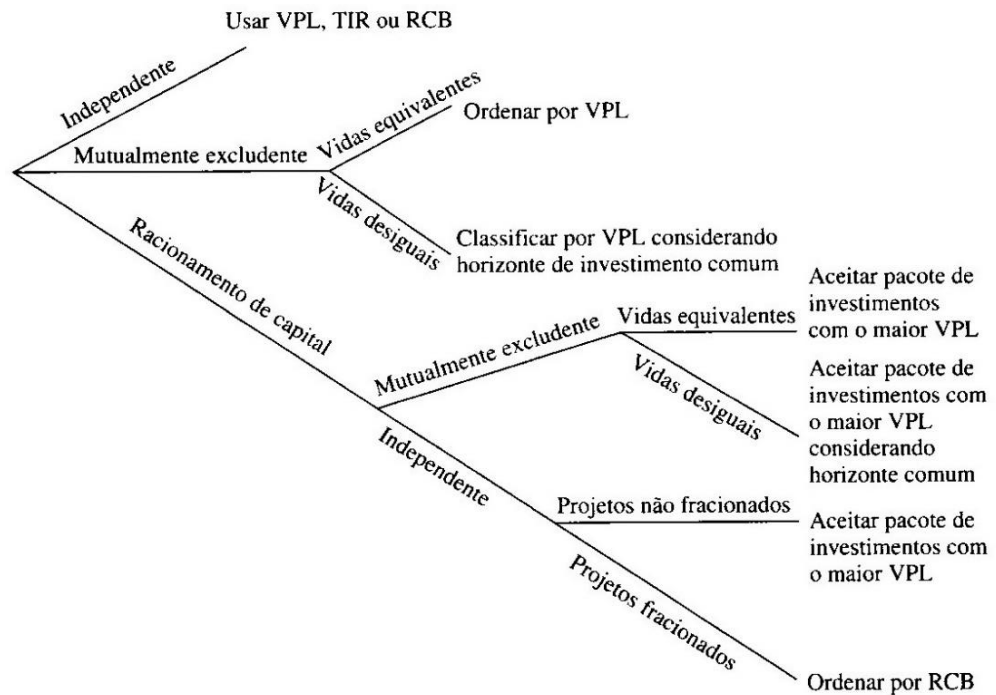
Do mesmo modo que alternativas mutuamente excludentes, em condições de racionamento de capital (o capital para investimentos é fixo), é necessário classificar os investimentos para escolher o melhor pacote de investimentos.

“Um atalho é classificar os investimentos por suas RCB e seguir a lista pela ordem, aceitando investimentos até que o dinheiro acabe ou até que a RCB fique abaixo de 1” (HIGGINS, 2014).

Caso os investimentos não sejam fracionáveis “as classificações obtidas por qualquer indicador de valor serão indignas de confiança e será preciso recorrer ao tedioso método de avaliação de todos os possíveis pacotes de investimentos em busca do maior VPL total” (HIGGINS, 2014).

A Figura 2.12 contém uma árvore de decisão para auxiliar na escolha do indicador de valor adequado, de acordo com o tipo do investimento.

Figura 2.12 – Árvore de decisão de análise de investimentos



Fonte: HIGGINS (2014)

3 DESENVOLVIMENTO

Esta seção propõe uma estação de recarga rápida de veículos para ser instalada em locais públicos como, por exemplo, em rodovias, postos de combustível, shoppings, supermercados, etc.

Com a popularização dos veículos elétricos espera-se que a infraestrutura de recarga terá em torno dela outros serviços para que o usuário tenha comodidade ao usá-la. Assim, enquanto carrega o veículo, pode-se aproveitar este tempo para alimentar, fazer compras, cuidar da saúde, se divertir, etc.

As estações de recarga terão como desafio a adequação da instalação existente aos altos requisitos de potência.

A proposta que se segue busca ser genérica e propõe usar uma estação de recarga capaz de carregar rapidamente veículos elétricos, que seja compatível com os padrões vigentes de recarga, possuindo os seguintes atributos: que disponha de controles locais e remotos; que possa ser usada em ambientes externos e internos; que possua alta eficiência e preveja o emprego de baterias para reduzir o uso da rede elétrica e ter uma alimentação de *backup*. Além disto, a fim de mitigar o impacto na rede e reduzir os custos de energia será estudado o uso da energia solar fotovoltaica e sua viabilidade econômica.

Felizmente, no mercado, já existe uma estação que cumpre estes requisitos. A estação QC45BATT da EFACEC *Electric Mobility* é comercializada no Brasil pela *Electric Mobility* Brasil e pode recarregar um veículo com uma carga em corrente contínua de 50kW usando da rede somente 20kW. Esta estação tem duas saídas, uma CHAdeMO e uma CSS compatível com o padrão IEC. Ela é capaz de recarregar, em modo 3, usando apenas 20kW da rede elétrica, com fator de potência de 0,98. Por padrão, vem com um banco de baterias de 38kWh podendo ter uma capacidade maior mediante expansão do banco de baterias.

Segundo o fabricante, a mencionada estação é capaz de carregar dois ou três veículos elétricos, dependendo da capacidade das baterias dos veículos e do nível de descarga das mesmas. Caso a bateria da estação chegue a níveis críticos, a estação será capaz de entregar até 20kW para os veículos de modo a não ultrapassar o consumo de 20kW da rede elétrica. As informações técnicas desta estação estão na Tabela 3.1.

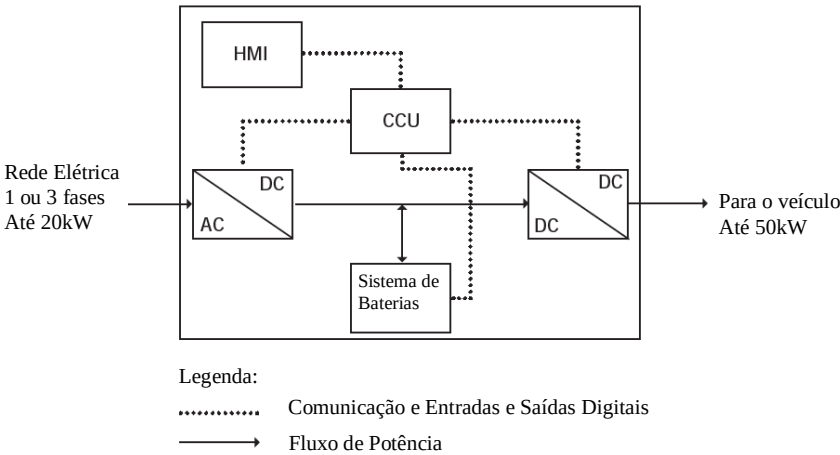
Tabela 3.1 – Dados técnicos da estação de recarga QC45BATT

General Specifications	
Phases / lines	3 phases + N + PE / 1 phase + N + PE
Voltage & frequency	400/230 V ± 10 %; 50/60 Hz
Nominal input current & power	32 A (three Phase) / 96 A (single Phase)
Output Power	50 kW
Efficiency	> 93 %
Equipment	Multi-standard DC outputs (Mode-4)
Communication with EV	JEVS G104 (CHAdeMO) IEC61851-23 PLC (CCS / Combo-2)
DC Plugs	JEVS G105 (CHAdeMO) Combo T2 (CCS / Combo-2)
Human Machine Interface	By default
Display	6.4" TFT Color screen
RFID system	Mifare (Classic, DesFire EV1) or others on request
Communication	3G (GSM or CDMA) LAN Wi-Fi
Communication Protocols	OCPP (1.5 / 1.6)
Place of installation	Indoor/Outdoor
Altitude	Up to 1000 m
Protection degree	IP54
Operating Temperature	-25 °C to 40 °C
Humidity	5 % to 95 %
Sound noise	<55 dB in all directions
Dimensions (W x D x H)	600 x 600 x 1800 mm
Weight	350 Kg
Battery Storage	
Nominal battery's capacity	38 kWh
Heating System	Yes
Cooling System	Forced air
Weight	675 Kg
Dimensions (W x D x H)	600 x 800 x 1800 mm

Fonte: EFACEC (2016)

A estação é composta de um conversor AC/DC compatível com o sistema trifásico ou monofásico, um conversor DC/DC que fornece a energia para o veículo elétrico, um sistema de baterias com gerenciamento incluso, uma interface homem máquina (HMI) e uma unidade

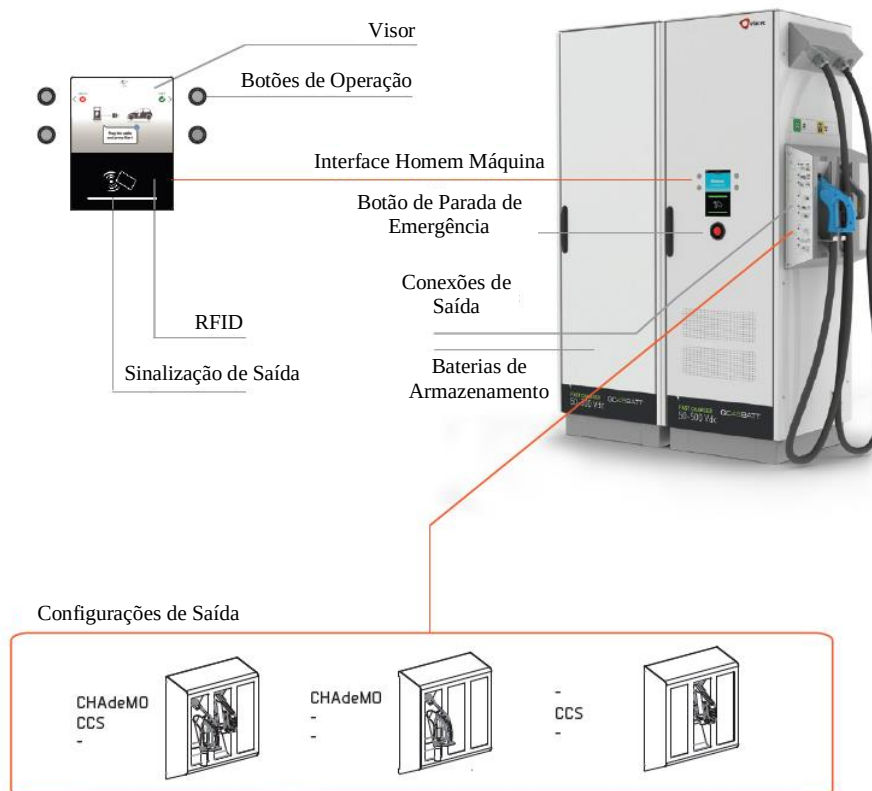
Figura 3.1 – Diagrama de blocos da estação de recarga



Fonte: Adaptado de EFACEC (2016)

de controle central (CCU). O diagrama de blocos pode ser visto na Figura 3.1 e outros detalhes na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Detalhes da estação de recarga QC45BATT



Fonte: Adaptado de EFACEC (2016)

Este trabalho propõe a implementação de um eletro posto, na cidade de Goiânia no Estado de Goiás, em um local onde exista a disponibilidade de carga e nas proximidades de um posto de combustível já existente.

3.1 DETERMINAÇÃO DOS REQUISITOS DE DEMANDA E CONSUMO

Supondo que se tenha apenas duas vagas de garagem grandes e o espaço para acomodar a estação (um retângulo de 6,5m por 5,1m com aproximadamente 33m² de área no total), pode-se prever a carga de iluminação com base na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 e a carga de tomadas com base na ABNT NBR 5410:

- Três luminárias LED estanques de potência de entrada 22,5W e fator de potência de 0,9. O número de luminárias foi obtido pelo método dos lúmens, considerando a iluminância mantida em 75lux, coeficiente de utilização de 0,62, coeficiente de

depreciação de 0,5 e o modelo Philips CoreLine Waterproof WT120C LED22S/840 PSU L1200 EL1;

- Que tenha pelo menos uma tomada de uso geral na garagem (TUG) de 1000W;

De acordo com as especificações técnicas da estação de recarga QC45BATT a energia ativa consumida da rede é de no máximo 20kW e o fator de potência a meia carga é de 0,98.

O quadro de cargas denominado de Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) é ilustrado na Tabela 3.2, já com o dimensionamento dos componentes em conformidade com a norma ABNT NBR 5410 e a norma CELG-D NTC-04 Rev. 04.

Com o valor da potência aparente e da tensão do circuito pode-se prever a corrente de projeto. De acordo com o método de instalação, o agrupamento de circuitos e a temperatura ambiente, faz-se necessário corrigir a corrente de projeto. A corrente corrigida é então usada para se dimensionar os condutores e os dispositivos de proteção.

A potência instalada é de aproximadamente 22068W. Como há a possibilidade de usar, simultaneamente, todas as cargas, o fator de demanda é de 100%, logo a demanda é de 22615VA colocando a entrada da instalação na categoria T1 de acordo com os padrões da CELG-D/ENEL.

Para a determinação do consumo diário, foi considerada a potência ativa da carga e a quantidade de horas no dia em que presumivelmente ela esteja em funcionamento.

Foi considerada uma demanda de 4 carros por dia, sendo 3 durante o dia e 1 durante a noite. Cada carregamento leva 1 hora e embora consiga absorver instantaneamente apenas 20kW da rede elétrica, há disponível 30kW das baterias cujo carregamento será realizado pela rede de forma gradual quando não há veículos sendo carregados. Logo, considera-se que cada carregamento utiliza 50kW. Considerando a eficiência da estação (93%) tem-se que ela absorve da rede $50/0,93 = 53,8\text{kW}$ para cada carregamento veicular.

Para as TUGs foi considerado que elas serão usadas apenas 30 minutos por dia, e para a iluminação considerou-se que elas serão acionadas durante todo o período de penumbra e noite, ou seja, quando não há insolação.

A Tabela 3.3 contém o consumo estimado da instalação. Da tabela é possível derivar que mensalmente em média será consumido 6610,7kWh, havendo variações em função do mês, diariamente em média será consumido 220,4kWh. No ano o consumo estimado é de 79328,3kWh.

Tabela 3.2 – Quadro de cargas QGBT

Circuito			Dados Elétricos de Entrada						Dimensionamento						Balanceamento das Fases													
Nº	Descrição	Iluminação	TUGs	TUE	Fator de Potência		Potência		Dados de Entrada		Corrente de Projeto [A]	F.C.A., E.C.T.	Corrente Corrigida [A]	Condutor			Disjuntor			DR		Potência Aparente [VA]						
					Valor	Tipo	Tensão [V]	Quantidade de Fases	Reativa [var]	Quantidade de Circuitos no Eletroduto				Temperatura Ambiente [°C]	Área da Seção Transversal [mm²]	Tipo	Nº pólos	Curva	Capacidade [A]	Nº Pólos	Sensibilidade [mA]	Capacidade [A]	Fase	A	B	C		
1	Iluminação	3			0,900	Indutivo	220	1	32,69	2	30	0,34	0,80	1	0,43	1,5	1,5	1,5	C	10	2	30	25	A	75,00			
2	TUGs		2		0,920	Indutivo	220	1	2173,91	2	30	9,88	0,80	1	12,35	2,5	2,5	2,5	1	C	16	2	30	25	B	2173,91		
3	TUE da Estação de Recarga			1	0,980	Indutivo	380	3	20403,16	1	30	31,01	1,00	1	31,01	4	4	4	3	C	32	4	30	40	ABC	6802,72	6802,72	6802,72
R	Reserva																											
TOTAL		3	2	1	0,976	Indutivo	380	3	22614,95	22067,50	49,45,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ABC	6877,72	8976,63	6802,72	
DEMANDA		-	-	-	0,976	Indutivo	380	3	22614,95	22067,50	49,45,86	1	34,36	1	1	34,36	6	6	6	3	C	40		ABC	6877,72	8976,63	6802,72	

Fonte: O Autor

Tabela 3.3 – Consumo estimado mensal e anual

Mês	Insolação Total [horas]	Penumbra e Noite [horas]	N.º de Dias	Consumo Estimado [kWh]			
				Iluminação [3x22,5W]	TUGs [1kW]	Estação de Recarga [53,8kW]	Total de Cargas
Janeiro	183,8	560,2	31	37,8	31,0	6671,2	6740,0
Fevereiro	156,9	515,1	28	34,8	28,0	6025,6	6088,4
Março	203,1	540,9	31	36,5	31,0	6671,2	6738,7
Abril	229,0	491,0	30	33,1	30,0	6456,0	6519,1
Mai	249,7	494,3	31	33,4	31,0	6671,2	6735,6
Junho	269,0	451,0	30	30,4	30,0	6456,0	6516,4
Julho	286,8	457,2	31	30,9	31,0	6671,2	6733,1
Agosto	281,2	462,8	31	31,2	31,0	6671,2	6733,4
Setembro	212,3	507,7	30	34,3	30,0	6456,0	6520,3
Outubro	188,2	555,8	31	37,5	31,0	6671,2	6739,7
Novembro	174,2	545,8	30	36,8	30,0	6456,0	6522,8
Dezembro	172,6	571,4	31	38,6	31,0	6671,2	6740,8
Anual	2606,8	6153,2	365	415,3	365,0	78548,0	79328,3

Fonte: O Autor

3.2 POTENCIAL FOTOVOLTAICO EM GOIÂNIA-GO

Através de dados obtidos no programa *SunData v 3.0* (CRESESB, 2018) para a cidade de Goiânia-GO em um local com as seguintes coordenadas: Latitude 16.680316° S e Longitude 49.256371° O (Obtidas do *Google Maps* nas proximidades da Praça Cívica) obtemos três estimativas de irradiação solar diária média ao longo dos meses de acordo com a Tabela 3.4 e a Figura 3.3. Usa-se para estimativas aquela que apresenta um resultado mais conservador, no caso a primeira linha da Tabela 3.4 ou a curva azul da Figura 3.3. Pode-se complementar que a primeira linha apresenta dados coletados de uma localidade de menor distância do ponto de interesse, apenas 2,4km.

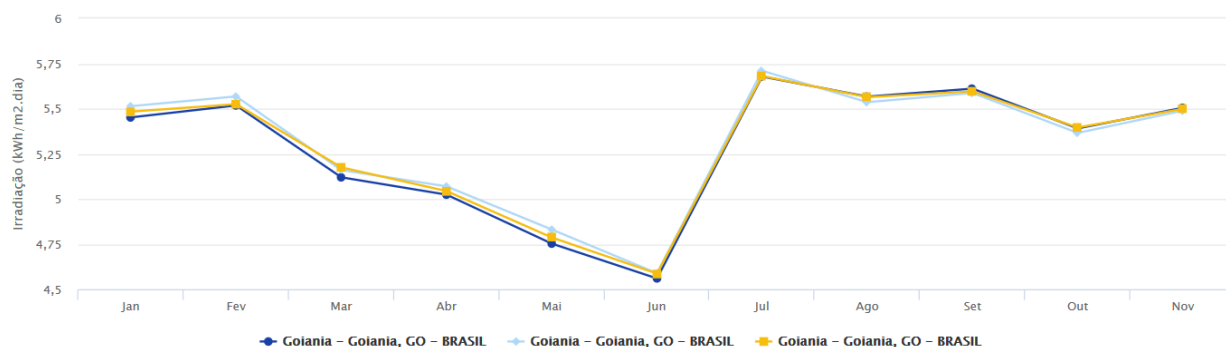
Tabela 3.4 – Irradiação solar diária média mensal para Goiânia-GO

Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																
Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
16,701° S	49,249° O	2,4	5,45	5,52	5,12	5,02	4,75	4,56	4,78	5,68	5,57	5,61	5,39	5,51	5,25	1,12
16,601° S	49,249° O	8,9	5,51	5,57	5,16	5,07	4,83	4,59	4,83	5,71	5,54	5,59	5,37	5,49	5,27	1,12
16,701° S	49,349° O	10,1	5,48	5,53	5,18	5,04	4,79	4,59	4,76	5,68	5,56	5,60	5,40	5,50	5,26	1,09

Fonte: CRESESB (2018)

Para esta localidade tem-se as estimativas para o plano inclinado da irradiação solar diária média mensal vistas na Tabela 3.5 e na Figura 3.4. Além do plano horizontal, a tabela e a figura retro mencionadas expõem a irradiação solar diária média mensal para um ângulo próximo ao da latitude e fornece ainda a inclinação para se obter a maior média anual e o maior valor mínimo mensal de irradiação solar.

Figura 3.3 – Irradiação Solar Diária Média Mensal Para Goiânia-GO



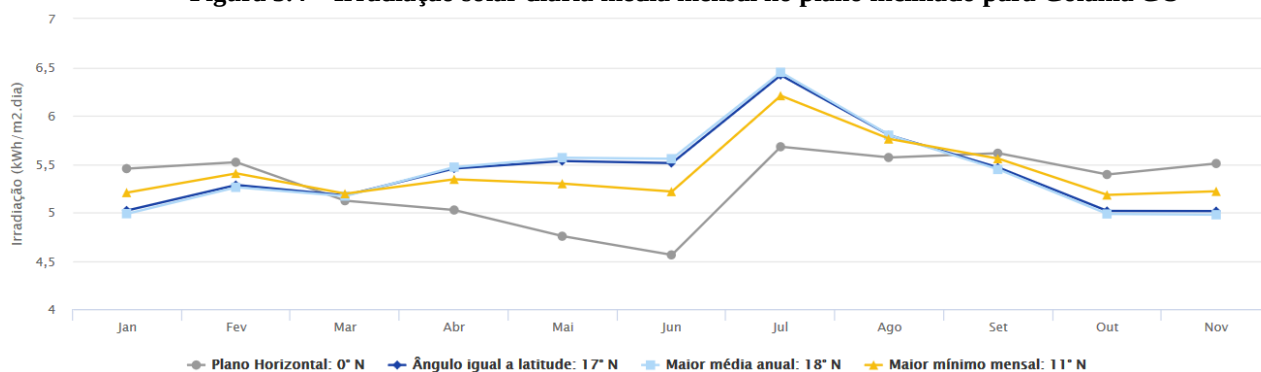
Fonte: CRESESB (2018)

Tabela 3.5 – Irradiação solar diária média mensal no plano inclinado para Goiânia-GO

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Plano Horizontal	0° N	5,45	5,52	5,12	5,02	4,75	4,56	4,78	5,68	5,57	5,61	5,39	5,51	5,25	1,12
Ângulo igual a latitude	17° N	5,02	5,28	5,17	5,45	5,53	5,51	5,70	6,42	5,80	5,46	5,01	5,01	5,45	1,40
Maior média anual	18° N	4,99	5,26	5,17	5,47	5,56	5,55	5,74	6,45	5,80	5,44	4,98	4,98	5,45	1,47
Maior mínimo mensal	11° N	5,20	5,40	5,19	5,34	5,30	5,21	5,42	6,21	5,76	5,55	5,18	5,22	5,42	1,03

Fonte: CRESESB (2018)

Figura 3.4 – Irradiação solar diária média mensal no plano inclinado para Goiânia-GO



Fonte: CRESESB (2018)

3.3 DADOS CLIMATOLÓGICOS DE GOIÂNIA

Como a temperatura tem papel fundamental na geração de eletricidade fotovoltaica, faz-se necessário corrigir a produção da energia elétrica em função da temperatura ambiente que varia ao longo do ano. A insolação também foi utilizada para se estimar o fotoperíodo e derivar o consumo em iluminação. A Tabela 3.6 apresenta dados climatológicos médios de Goiânia-GO, obtidos da normal climatológica INMET 1981-2010, exceto a insolação que foi obtida da normal climatológica INMET 1961-1990.

Tabela 3.6 – Dados climatológicos para Goiânia-GO

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Ano
Temperatura Máxima Média [°C]	30,7	31,7	31,7	32,3	32,0	31,6	32,1	34,1	35,0	33,7	31,8	30,8	32,3
Temperatura Média Compensada [°C]	24,4	24,5	24,5	24,6	23,1	21,8	22,0	24,0	25,5	25,6	24,7	24,3	24,1
Temperatura Mínima Média [°C]	19,8	19,7	19,7	19,0	16,6	14,3	14,2	16,0	18,7	19,7	19,8	19,8	18,1
Precipitação [mm]	247,8	222,9	258,2	130,3	28,7	9,7	3,3	16,2	52,8	154,8	218,4	290,4	1633,5
Dias Com Precipitação ≥ 1 mm]	18,0	16,0	16,0	8,0	3,0	1,0	0,0	1,0	4,0	10,0	15,0	19,0	114,0
Umidade Relativa Compensada [%]	74,1	73,0	73,1	66,9	61,4	56,0	49,7	44,1	49,7	60,8	70,2	74,7	62,8
Insolação Total [horas]	183,8	156,9	203,1	229,0	249,7	269,0	286,8	281,2	212,3	188,2	174,2	172,6	2606,7

Fonte: INMET

3.4 DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

Considera-se uma área limitada para o uso de painéis fotovoltaicos, será adotado um sistema que utiliza toda a área do telhado disponível. Os módulos escolhidos são CS6K – 305 P da Canadian Solar. As especificações podem ser conferidas na Tabela 3.7.

Das especificações dos módulos verifica-se que eles possuem a dimensão de 1,650m por 0,992m. Para a inclinação dos painéis foi escolhida a inclinação que propicia a maior média anual (18°), já que o sistema fornecerá mais energia para a rede elétrica, obtendo mais créditos. No plano inclinado a área disponível para os painéis é de $6,5/\cos 18^\circ = 6,83m$ por 5,1m, de modo que é possível distribuir 20 módulos, sendo 5 colunas de módulos com 4

Tabela 3.7 – Dados dos painéis solares CS6K

ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	285P	290P	295P	300P	305P
Nominal Max. Power (Pmax)	285 W	290 W	295 W	300 W	305 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	31.4 V	31.6 V	31.8 V	32.0 V	32.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	9.06 A	9.18 A	9.28 A	9.38 A	9.50 A
Open Circuit Voltage (Voc)	38.3 V	38.5 V	38.6 V	38.8 V	38.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.64 A	9.72 A	9.81 A	9.92 A	10.03 A
Module Efficiency	17.41%	17.72%	18.02%	18.33%	18.63%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	15 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 5 W				

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6K	285P	290P	295P	300P	305P
Nominal Max. Power (Pmax)	210 W	214 W	218 W	221 W	225 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	28.9 V	29.1 V	29.3 V	29.4 V	29.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.28 A	7.36 A	7.44 A	7.52 A	7.62 A
Open Circuit Voltage (Voc)	35.8 V	36.0 V	36.1 V	36.3 V	36.4 V
Short Circuit Current (Isc)	7.78 A	7.85 A	7.92 A	8.01 A	8.10 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1650 × 992 × 35 mm (65.0 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	840 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

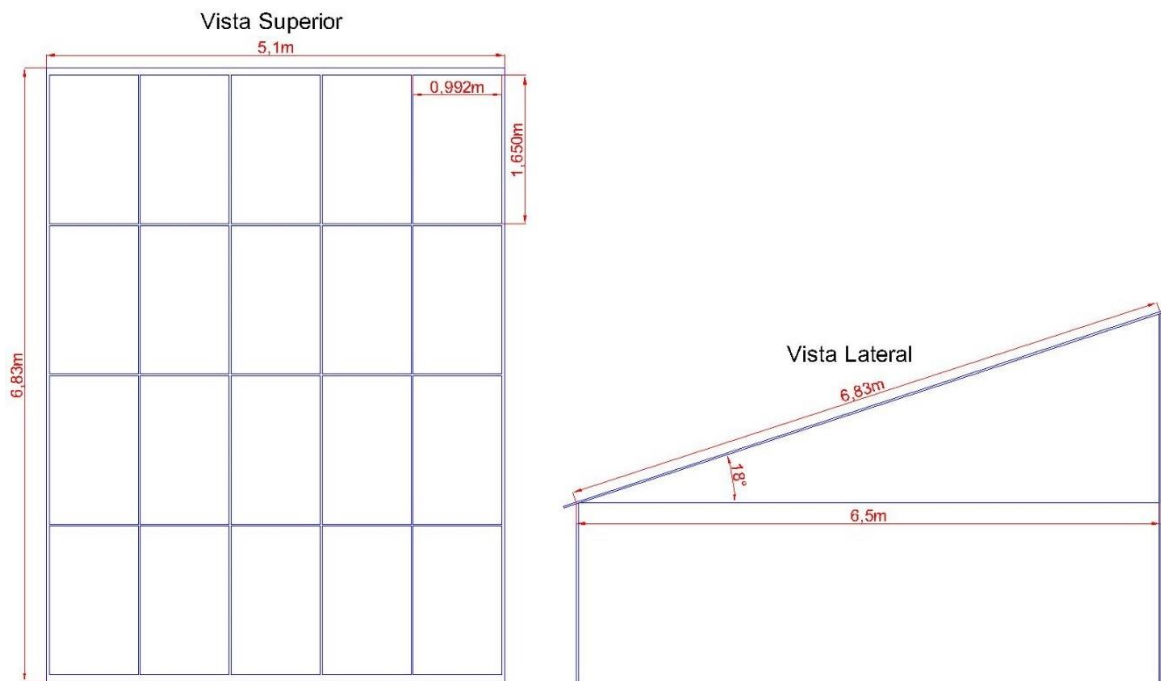
Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.39 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

Fonte: CANADIAN SOLAR INC (2018)

fileiras (Figura 3.5).

Considera-se que o telhado esteja orientado para o norte geográfico, que a sua inclinação seja de 18° e que os módulos estejam sobre o telhado, de modo a não produzir sombras nos módulos adjacentes. Como medida de economia pode-se utilizar os painéis e sua estrutura de sustentação com a função de telhado (*carport*), dispensando assim outra cobertura.

Figura 3.5 – Vista da cobertura prevista



Fonte: O Autor

De acordo com a relação dada na Equação 3.1 pode-se determinar a potência do inversor. Sendo a potência máxima (nominal) do gerador fotovoltaico $P_{FV} = 305 \times 20 = 6100W$, tem-se que o inversor de 5.8kW TRIO-5.8-TL-OUTD da ABB pode ser empregado, já que sua potência DC máxima $P_{MAX}^{INV} = 5800W$.

$$0.7 \times P_{FV} < P_{MAX}^{INV} < 1.2 \times P_{FV} \quad (3.1)$$

As especificações do inversor ABB 5.8kW TRIO-5.8-TL-OUTD podem ser conferidas na Tabela 3.8.

Depois de se determinar os módulos geradores e o inversor deve-se definir o arranjo adequado dos módulos para que níveis de tensão adequados sejam fornecidos ao inversor. É importante salientar que a associação em série dos módulos modifica a tensão do arranjo e que a associação em paralelo destes arranjos modifica a corrente total fornecida ao inversor.

Tabela 3.8 – Dados técnicos dos inversores ABB TRIO-5.8/7.5/8.5-TL-OUTD

Type code	TRIO-5.8-TL-OUTD	TRIO-7.5-TL-OUTD	TRIO-8.5-TL-OUTD
Input side			
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	1000 V		
Start-up DC input voltage (V_{start})	350 V (adj. 200...500 V)		
Operating DC input voltage range ($V_{dmin}...V_{dmax}$)	0.7 x $V_{start}...950$ V (min 200 V)		
Rated DC input voltage (V_{dcr})	620 V		
Rated DC input power (P_{dcr})	5950 W	7650 W	8700 W
Number of independent MPPT	1	2	2
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPTmax}$)	6050 W Linear derating from max to null [800 V≤ V_{MPPT} ≤950 V]	4800 W	4800 W
MPPT input DC voltage range ($V_{MPPTmin} ... V_{MPPTmax}$) at P_{acr}	320...800 V	-	-
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{acr}	-	320...800 V	320...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	-	Linear derating from max to null [800 V≤ V_{MPPT} ≤950 V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P_{acr} , max unbalance example	-	4800 W [320 V≤ V_{MPPT} ≤800 V] the other channel: P_{dcr} -4800 W [215 V≤ V_{MPPT} ≤800 V]	4800 W [320 V≤ V_{MPPT} ≤800 V] the other channel: P_{dcr} -4800 W [290 V≤ V_{MPPT} ≤800 V]
Maximum DC input current (I_{dmax}) / for each MPPT ($I_{MPPTmax}$)	18.9 A	30.0 A / 15.0 A	30.0 A / 15.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	24.0 A	20.0 A	20.0 A
Number of DC input pairs for each MPPT	2 (-S version)		
DC connection type	PV quick fit connector ³⁾ on -S version / Screw terminal block on standard version		
Input protection			
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source		
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes, 4		
Photovoltaic array isolation control	According to local standard		
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	16 A / 1000 V, 25 A / 800 V		
Output side			
AC grid connection type	Three-phase 3W+PE or 4W+PE		
Rated AC power (P_{acr} @cosφ=1)	5800 W	7500 W	8500 W
Maximum apparent power (S_{max})	5800 VA	7500 VA	8500 VA
Rated AC grid voltage (V_{acr})	400 V		
AC voltage range	320...480 V ⁴⁾		
Maximum AC output current ($I_{ac,max}$)	10.0 A	12.5 A	14.5 A
Contributory fault current	12.0 A	14.5 A	16.5 A
Rated output frequency (f _i)	50 Hz / 60 Hz		
Output frequency range (f _{min} ...f _{max})	47...53 Hz / 57...63 Hz ²⁾		
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. ± 0.9 with P_{acr} =5.22 kW, ± 0.8 with max 5.8 kVA	> 0.995, adj. ± 0.9 with P_{acr} =6.75 kW, ± 0.8 with max 7.5 kVA	> 0.995, adj. ± 0.9 with P_{acr} =7.65 kW, ± 0.8 with max 8.5 kVA
Total current harmonic distortion	< 2%		
AC connection type	Screw terminal block, cable gland M32		
Output protection			
Anti-islanding protection	According to local standard		
Maximum external AC overcurrent protection	16.0 A	16.0 A	20.0 A
Output overvoltage protection - varistor	4 plus gas arrester		
Operating performance			
Maximum efficiency (η_{max})	98.0%		
Weighted efficiency (EURO/CEC)	97.4% / -	97.5% / -	97.5% / -
Feed in power threshold	32 W	36 W	36 W
Night consumption	< 3 W		

Fonte: ABB (2017)

Deste modo, deve-se obter o número máximo e mínimo de módulos que se pode associar em série em função da tensão de trabalho do inversor. O número máximo de módulos que se pode ligar em série N_S^{MAX} é dado pela Equação 3.2, onde V_{MAX}^{INV} é a tensão máxima de entrada do inversor e V_{CA} (Módulo a -10°C) é a tensão de circuito aberto dos módulos a -10°C .

$$N_S^{MAX} < \frac{V_{MAX}^{INV}}{V_{CA} \text{ (Módulo a } -10^\circ\text{C})} \quad (3.2)$$

Usualmente o valor V_{CA} (Módulo a -10°C) não vem diretamente especificado nas folhas de dados fornecidas pelo fabricante, faz-se necessário obter este valor fazendo-se o uso do coeficiente $\Delta V_{(\% / ^\circ\text{C})} = -0,29 \text{ \% / } ^\circ\text{C}$ que é fornecido pelo fabricante, e aplicá-lo na

Equação 3.3, onde $V_{CA (Módulo a 25^{\circ}C)}$ é a tensão de circuito aberto do módulo na condição padrão de teste.

$$V_{CA (Módulo a -10^{\circ}C)} = \left(1 + \frac{\Delta V_{(\%/^{\circ}C)} \times (-10^{\circ}C - 25^{\circ}C)}{100} \right) \times V_{CA (Módulo a 25^{\circ}C)} \quad (3.3)$$

Com a Equação 3.2 e a Equação 3.3 obtém-se o número máximo de módulos que podem ser associados em série $N_S^{MAX} = 22$.

O número mínimo de módulos que se pode ligar em série N_S^{MIN} é dado pela Equação 3.4, onde V_{MIN}^{INV} é a tensão mínima de entrada do inversor e $V_{CA (Módulo a 80^{\circ}C)}$ é a tensão de circuito aberto do módulo a $80^{\circ}C$.

$$N_S^{MIN} > \frac{V_{MIN}^{INV}}{V_{CA (Módulo a 80^{\circ}C)}} \quad (3.4)$$

Usualmente o valor $V_{CA (Módulo a 80^{\circ}C)}$ não vem diretamente especificado nas folhas de dados fornecidas pelo fabricante, faz-se necessário obter este valor fazendo-se o uso do coeficiente $\Delta V_{(\%/^{\circ}C)} = -0,29 \%/^{\circ}C$ que é fornecido pelo fabricante, e aplicá-lo na Equação 3.5, onde $V_{CA (Módulo a 25^{\circ}C)}$ é a tensão de circuito aberto do módulo na condição padrão de teste.

$$V_{CA (Módulo a 80^{\circ}C)} = \left(1 + \frac{\Delta V_{(\%/^{\circ}C)} \times (80^{\circ}C - 25^{\circ}C)}{100} \right) \times V_{CA (Módulo a 25^{\circ}C)} \quad (3.5)$$

Com a Equação 3.4 e a Equação 3.5 obtém-se o número mínimo de módulos que podem ser associados em série $N_S^{MIN} = 8$.

O número máximo de fileiras de painéis que se pode ligar em paralelo N_P^{MAX} é dado pela Equação 3.6, onde I_{MAX}^{INV} é a corrente máxima de entrada do inversor e $I_{CC (Módulo a 25^{\circ}C)}$ é a corrente de curto circuito do módulo a $25^{\circ}C$.

$$N_P^{MAX} < \frac{I_{MAX}^{INV}}{I_{CC (Módulo a 25^{\circ}C)}} \quad (3.6)$$

A partir dos dados das folhas técnicas resolve-se a Equação 3.6 obtendo $N_P^{MAX} < 1,88$.

Conclui-se, portanto, que se deve associar os 20 módulos em série, já que este arranjo está nos limites aceitáveis de tensão e não ultrapassa a corrente máxima de entrada do inversor.

O projeto de instalação elétrica não é o foco deste trabalho, e por isso será omitido. De modo geral, todo o circuito de corrente contínua, isto é a interligação entre os módulos e o inversor deve ser realizada com cabos apropriados para instalações solares de 4mm^2 , capazes de suportar temperaturas de até $120^{\circ}C$, tensões em CC de $1,8\text{kV}$ e radiação UV. Este trecho do

circuito deve contar com dispositivos de proteção, como por exemplo, um disjuntor bipolar termomagnético CC de 1000V e ampacidade de 20A além de dois DPS de 1000V.

Após o inversor deve-se prever o uso de cabos de 2,5mm² XLPE até o QGBT e disjuntor termomagnético CA de 16A de ampacidade. Detalhes de montagem, instalação e outros detalhes técnicos devem respeitar as normas vigentes da concessionária local.

3.5 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

É preciso estimar a capacidade de geração de energia pelo sistema fotovoltaico para, em seguida, realizar a análise de viabilidade econômica. Sabe-se que a potência máxima de cada módulo é de 305W (total dos 20 módulos é de $P_{MAX}20 \times 305 = 6100W$), porém esta potência só é produzida em condições ideais de funcionamento onde a temperatura é de 25°C e a irradiação é de 1000 W/m². Faz-se necessário corrigir esta potência levando-se em conta:

- O índice de desempenho PR (em inglês *performance ratio*) que consiste no rendimento do inversor e nas perdas de energia nos cabos e conexões. Adotou-se um índice de 0,90;
- O fator de correção de temperatura K_T que ajusta a energia gerada caso a temperatura dos módulos sejam diferentes da temperatura de teste padrão de 25°C. Considerou-se que os módulos estejam 35°C acima da temperatura ambiente. Semelhante a Equação 3.3 e a Equação 3.5 obtém-se K_T em função da temperatura dos módulos T e do coeficiente térmico da tensão $\Delta V_{(^\circ C)}$. Desprezou-se o coeficiente da corrente pois este é insignificante em relação ao coeficiente da tensão. O fator de correção da temperatura pode ser determinado pela Equação 3.7;

$$K_{T(Módulo a T ^\circ C)} = \left(1 + \frac{\Delta V_{(^\circ C)} \times (T ^\circ C - 25^\circ C)}{100} \right) \quad (3.7)$$

- A quantidade de horas de sol pleno HSP, é o número de horas em que a irradiância solar é constante e igual a 1 kW/m². Este valor visa representar a quantidade de energia que incide sobre os painéis em uma dada inclinação numa dada localidade. Pode-se obter, facilmente, os valores de HSP para todos os meses do ano dividindo os valores da Tabela 3.5 de irradiação solar diária média mensal pela constante 1 kW/m², o resultado é obtido em horas/dia.

Finalmente, para se obter o valor da energia gerada, deve-se multiplicar a potência corrigida pelo tempo considerado, podendo-se obter uma estimativa mensal ou

anual. A Equação 3.8 fornece uma estimativa de produção de energia E_{Ano} em kWh/ano, onde n_i é o número de dias no mês i .

$$E_{Ano} = PR \times \left[\sum_{i=1}^{12} K_{T,i} \times (n_i \times HSP_i) \right] \times P_{MAX} \quad (3.8)$$

A resolução da Equação 3.8, utilizando os dados dos módulos, do inversor, dados climáticos e de irradiação diária média mensal de Goiânia-GO, usando os parâmetros da Tabela 3.9, foi feita utilizando o *software Microsoft Excel* e pode ser conferida na Tabela 3.10.

Observa-se que, ao longo de um ano típico, poderia ser produzido aproximadamente 9843,57 kWh de energia elétrica. O mês com maior produção de energia foi agosto com 989,49 kWh e o mês com menor produção foi fevereiro com 727,67 kWh.

Tabela 3.9 – Parâmetros para estimativa da geração

ΔV [%/°C]	PR	P _{máx} [kW]
-0,29	0,9	6,1

Fonte: O Autor

Tabela 3.10 – Estimativa de geração de energia fotovoltaica

Mês	Temperatura Ambiente Média [°C]	Temperatura Dos Painéis [°C]	Kt	HSP [h/dia]	N.º de dias do Mês	Energia Gerada [kWh/mês]
Janeiro	24,40	59,40	0,900	4,99	31	764,53
Fevereiro	24,50	59,50	0,900	5,26	28	727,67
Março	24,50	59,50	0,900	5,17	31	791,85
Abril	24,60	59,60	0,900	5,47	30	810,51
Maiο	23,10	58,10	0,904	5,56	31	855,43
Junho	21,80	56,80	0,908	5,55	30	829,79
Julho	22,00	57,00	0,907	5,74	31	886,24
Agosto	24,00	59,00	0,901	6,45	31	989,49
Setembro	25,50	60,50	0,897	5,80	30	856,92
Outubro	25,60	60,60	0,897	5,44	31	830,25
Novembro	24,70	59,70	0,899	4,98	30	737,67
Dezembro	24,30	59,30	0,901	4,98	31	763,24
Total Anual [kWh/ano]	9.843,57					

Fonte: O Autor

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica será verificada para o uso do sistema solar fotovoltaico capaz de atender a aproximadamente 12,41% do consumo total estimado, já que a previsão de consumo ao longo do ano é de 79328,3 kWh e uma estimativa da geração fotovoltaica de 9843,57 kWh. O uso da energia solar será comparado com a situação em que não há geração fotovoltaica, para se verificar a viabilidade econômica ao longo de 20 anos. A viabilidade econômica para o empreendimento de recarga em si não é analisada neste trabalho, busca-se, neste estágio da pesquisa, entender se o uso da geração fotovoltaica para estes empreendimentos, mesmo atendendo uma parcela de seu consumo, apresenta vantagens econômicas.

O horizonte de planejamento de 20 anos foi escolhido com base na garantia dos módulos fotovoltaicos e do inversor. Considera-se que o inversor será trocado no décimo ano e que os painéis terão uma vida útil de 20 anos, tendo um decréscimo na sua produção de 1% ao ano. A Tabela 4.1 exibe estimativas de consumo e geração de energia ao longo do horizonte de planejamento.

Tabela 4.1 – Estimativa de consumo e geração de energia

Ano	Energia Consumida [kWh]	Energia Gerada [kWh]	Energia a Pagar [kWh]
1	79.328,3	9.843,6	69.484,7
2	79.328,3	9.745,1	69.583,2
3	79.328,3	9.647,7	69.680,6
4	79.328,3	9.551,2	69.777,1
5	79.328,3	9.455,7	69.872,6
6	79.328,3	9.361,1	69.967,2
7	79.328,3	9.267,5	70.060,8
8	79.328,3	9.174,9	70.153,4
9	79.328,3	9.083,1	70.245,2
10	79.328,3	8.992,3	70.336,0
11	79.328,3	8.902,3	70.426,0
12	79.328,3	8.813,3	70.515,0
13	79.328,3	8.725,2	70.603,1
14	79.328,3	8.637,9	70.690,4
15	79.328,3	8.551,6	70.776,7
16	79.328,3	8.466,0	70.862,3
17	79.328,3	8.381,4	70.946,9
18	79.328,3	8.297,6	71.030,7
19	79.328,3	8.214,6	71.113,7
20	79.328,3	8.132,4	71.195,9

Fonte: O Autor

Os custos da geração fotovoltaica de energia são estimados utilizando a Calculadora de Projetos Solares Fotovoltaicos disponibilizada pelo Banco do Brasil (BRASIL, 2018), com o intuito de possibilitar solicitação de financiamento para estes tipos de empreendimentos.

Para um sistema de 6,1kW de pico foi estimado um investimento inicial de R\$ 36.691,90. No décimo ano ocorre a troca do inversor de valor aproximado R\$13.000,00. Todos os anos foi considerada ainda uma limpeza dos módulos cujo custo anual inicial é estimado em R\$200,00. O valor do kWh inicial adotado foi de R\$ 0,98. O valor do kWh e o valor da limpeza dos módulos sofrem anualmente um reajuste de 4,66%, valor da inflação IPCA acumulada de 1 ano pesquisada em junho de 2019.

Denomina-se de alternativa I a opção sem geração fotovoltaica. Para este caso supõe-se que haverá um desembolso para pagar a energia que o sistema seria capaz de gerar. Denomina-se de alternativa II o uso do sistema fotovoltaico. A alternativa II foi analisada sob duas possibilidades: a possibilidade II-a em que o investimento inicial é feito à vista e a possibilidade II-b em que valor para o investimento inicial é financiado pelo método Price, com 5 parcelas anuais de R\$9.476,06, tendo a primeira parcela 3 meses de carência e taxa juros de 12,75% ao ano.

Para a alternativa II tem-se como benefício o valor de energia gerado que não é desembolsado para a concessionária de energia, porém deve-se desembolsar o custo da manutenção e, eventualmente, o custo da energia, já que a medida que o tempo passa o sistema fotovoltaico se degrada fornecendo menos energia a cada ano. A composição entre os benefícios e os desembolsos resulta no benefício líquido, que é usado na elaboração do fluxo de caixa. A Tabela 4.2 apresenta os desembolsos e benefícios para as alternativas em análise.

Seguindo as instruções de HIGGINS (2014), a análise de alternativas de investimentos mutuamente excludentes e com vidas equivalentes deve ser feita através da análise do VPL. Assim pode-se escolher entre a opção II-a e II-b simplesmente escolhendo aquela que apresente o maior VPL. Esta escolha supõe não haver racionamento de capital, ocasião em que o financiamento deve ser ponderado. A escolha de qualquer das alternativas II em detrimento da I pode ser feita pela simples observação de que na Tabela 4.2 a alternativa I somente apresenta desembolsos, não há vantagem financeira. Trazendo todos os desembolsos da alternativa I para o presente observa-se que é necessário um desembolso de R\$142.611,11 hoje para não usar a geração fotovoltaica.

Detalhes dos fluxos de caixa e valores presentes para ambas as possibilidades da alternativa II podem ser conferidos na Tabela 4.3. Foi utilizada a taxa de desconto de 7,36%

que é equivalente ao primeiro semestre de 2019 a 115% do CDI (Certificados de Depósito Interbancário), que está em 6,4%.

Tabela 4.2 – Desembolsos e benefícios para as alternativas I e II

Período [Ano]	Custo da Energia [R\$]	Alternativa I	Alternativas II-a e II-b				Observações
		Desembolso de Energia [R\$]	Benefício de Energia [R\$]	Desembolso de Energia [R\$]	Desembolso de Manutenção [R\$]	Benefício Líquido [R\$]	
1	0,98	-9.646,70	9.646,70	0,00	-200,00	9.446,70	Limpeza
2	1,03	-10.096,23	9.995,27	357,52	-209,32	10.143,47	Limpeza
3	1,07	-10.566,72	10.356,44	761,88	-219,07	10.899,25	Limpeza
4	1,12	-11.059,13	10.730,66	1.217,82	-229,28	11.719,20	Limpeza
5	1,18	-11.574,48	11.118,40	1.730,49	-239,97	12.608,93	Limpeza
6	1,23	-12.113,85	11.520,16	2.305,54	-251,15	13.574,55	Limpeza
7	1,29	-12.678,36	11.936,42	2.949,13	-262,85	14.622,70	Limpeza
8	1,35	-13.269,17	12.367,74	3.667,97	-275,10	15.760,60	Limpeza
9	1,41	-13.887,52	12.814,63	4.469,39	-287,92	16.996,09	Limpeza
10	1,48	-14.534,67	13.277,68	5.361,37	-13.301,34	5.337,71	Limpeza e Inversor
11	1,55	-15.211,99	13.757,45	6.352,65	-315,38	19.794,72	Limpeza
12	1,62	-15.920,87	14.254,56	7.452,70	-330,08	21.377,19	Limpeza
13	1,69	-16.662,78	14.769,64	8.671,89	-345,46	23.096,07	Limpeza
14	1,77	-17.439,27	15.303,32	10.021,50	-361,56	24.963,27	Limpeza
15	1,85	-18.251,94	15.856,29	11.513,82	-378,41	26.991,71	Limpeza
16	1,94	-19.102,48	16.429,24	13.162,24	-396,04	29.195,44	Limpeza
17	2,03	-19.992,65	17.022,90	14.981,33	-414,49	31.589,74	Limpeza
18	2,13	-20.924,31	17.638,00	16.986,98	-433,81	34.191,18	Limpeza
19	2,22	-21.899,38	18.275,34	19.196,47	-454,03	37.017,78	Limpeza
20	2,33	-22.919,89	18.935,70	21.628,62	-475,18	40.089,13	Limpeza

Fonte: O Autor

Tabela 4.3 – Fluxo de caixa e valor presente

Período [ano]	Alternativa II-a				Alternativa II-b			
	Fluxo de Caixa [R\$]	Fluxo de Caixa Acumulado [R\$]	Valor Presente [R\$]	Valor Presente Acumulado [R\$]	Fluxo de Caixa [R\$]	Fluxo de Caixa Acumulado [R\$]	Valor Presente [R\$]	Valor Presente Acumulado [R\$]
0	-36.691,90	-36.691,90	-36.691,90	-36.691,90	-9.476,06	-9.476,06	-9.476,06	-9.476,06
1	9.446,70	-27.245,20	8.799,09	-27.892,81	-29,36	-9.505,42	-27,35	-9.503,41
2	10.143,47	-17.101,73	8.800,39	-19.092,43	667,41	-8.838,01	579,04	-8.924,37
3	10.899,25	-6.202,48	8.807,83	-10.284,59	1.423,19	-7.414,82	1.150,10	-7.774,27
4	11.719,20	5.516,72	8.821,20	-1.463,39	2.243,14	-5.171,68	1.688,44	-6.085,83
5	12.608,93	18.125,65	8.840,27	7.376,88	12.608,93	7.437,25	8.840,27	2.754,45
6	13.574,55	31.700,20	8.864,83	16.241,71	13.574,55	21.011,80	8.864,83	11.619,28
7	14.622,70	46.322,90	8.894,68	25.136,39	14.622,70	35.634,50	8.894,68	20.513,95
8	15.760,60	62.083,50	8.929,62	34.066,00	15.760,60	51.395,10	8.929,62	29.443,57
9	16.996,09	79.079,59	8.969,47	43.035,47	16.996,09	68.391,19	8.969,47	38.413,03
10	5.337,71	84.417,30	2.623,79	45.659,26	5.337,71	73.728,90	2.623,79	41.036,83
11	19.794,72	104.212,02	9.063,20	54.722,47	19.794,72	93.523,62	9.063,20	50.100,03
12	21.377,19	125.589,20	9.116,76	63.839,23	21.377,19	114.900,80	9.116,76	59.216,79
13	23.096,07	148.685,28	9.174,57	73.013,79	23.096,07	137.996,88	9.174,57	68.391,36
14	24.963,27	173.648,55	9.236,48	82.250,27	24.963,27	162.960,15	9.236,48	77.627,84
15	26.991,71	200.640,26	9.302,35	91.552,63	26.991,71	189.951,86	9.302,35	86.930,19
16	29.195,44	229.835,70	9.372,06	100.924,68	29.195,44	219.147,30	9.372,06	96.302,25
17	31.589,74	261.425,44	9.445,47	110.370,15	31.589,74	250.737,04	9.445,47	105.747,72
18	34.191,18	295.616,61	9.522,46	119.892,61	34.191,18	284.928,21	9.522,46	115.270,17
19	37.017,78	332.634,39	9.602,91	129.495,52	37.017,78	321.945,99	9.602,91	124.873,08
20	40.089,13	372.723,53	9.686,72	139.182,24	40.089,13	362.035,13	9.686,72	134.559,80

Fonte: O Autor

Da Tabela 4.3 é possível extrair os indicadores econômicos apresentados na Tabela 4.4.

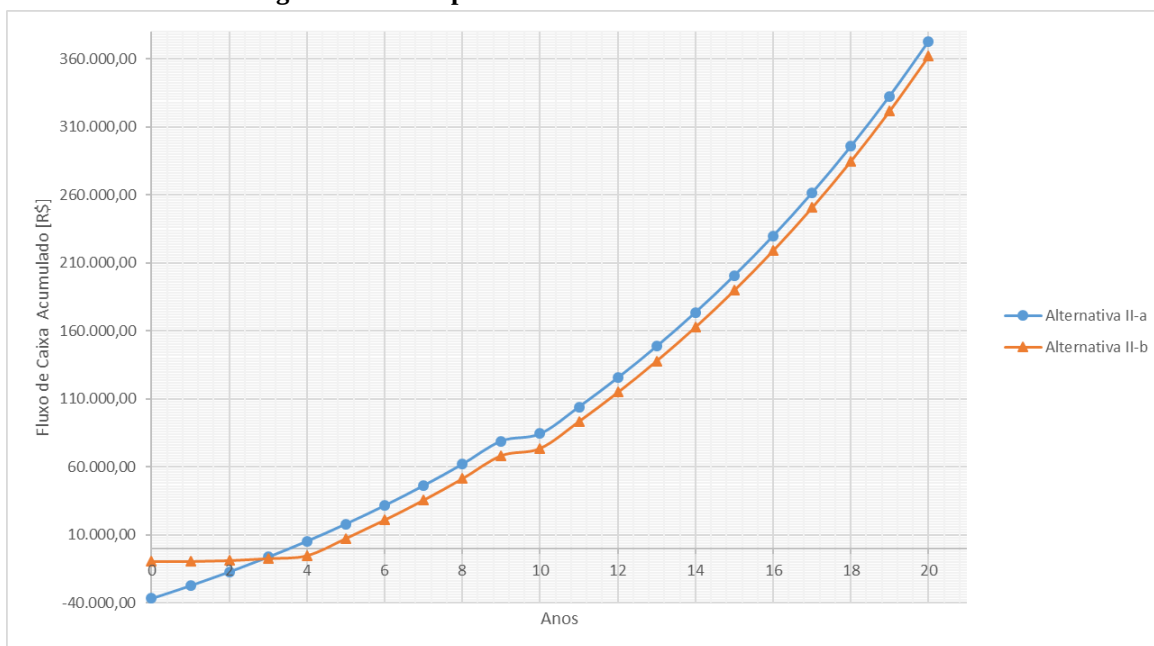
Tabela 4.4 – Indicadores econômicos

Indicador	Alternativa II-a	Alternativa II-b
VPL [R\$]	139.182,24	134.559,80
TIR	32,4%	42,9%
RCB	4,79	15,16
Payback Simples [Anos]	3,53	4,41
Payback Descontado [Anos]	4,17	4,69

Fonte: O Autor

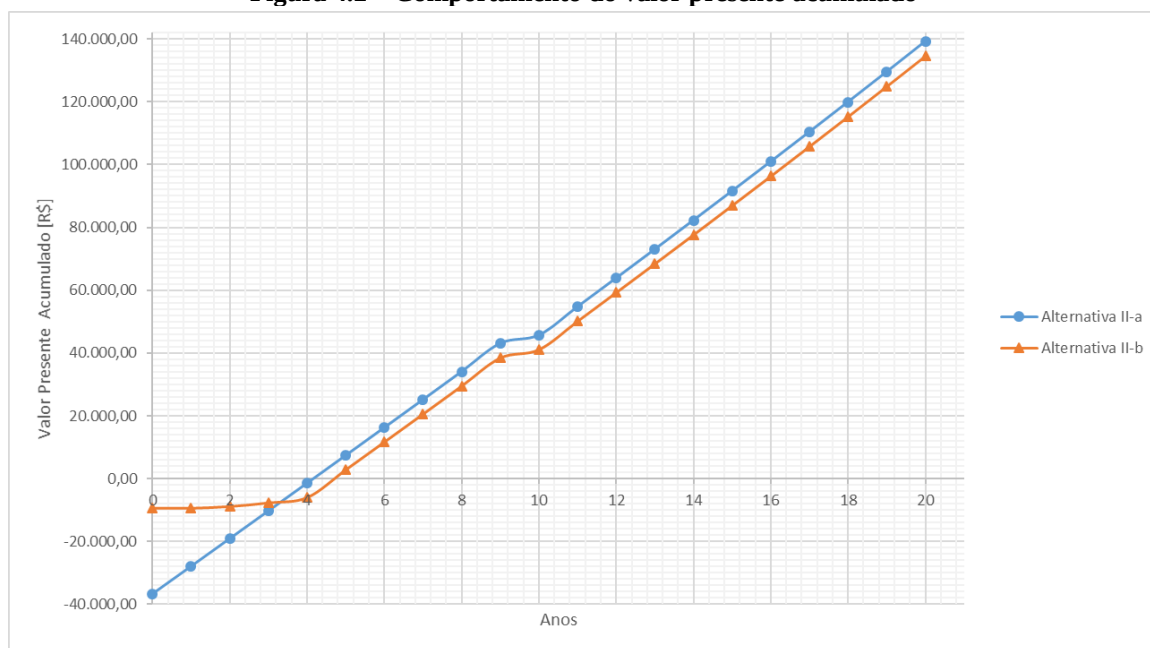
O comportamento do fluxo de caixa acumulado e do valor presente acumulado pode ser observado respectivamente na Figura 4.1 e Figura 4.2.

Figura 4.1 – Comportamento do fluxo de caixa acumulado



Fonte: O Autor

Figura 4.2 – Comportamento do valor presente acumulado



Fonte: O Autor

Com base nas informações apresentadas anteriormente a geração da energia fotovoltaica é vantajosa do ponto de vista econômico, apesar de a mesma suprir apenas 12,41% do consumo estimado no primeiro ano.

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Conclui-se que a energia solar fotovoltaica é muito promissora num país como o Brasil, pois recebe muita irradiação solar. Foi possível verificar que mesmo não sendo capaz de suprir 100% do consumo de energia, no caso estudado apenas 12,41% da energia consumida no primeiro ano, a geração fotovoltaica apresenta vantagens econômicas e pode no futuro, com a adoção maciça de veículos elétricos, ser uma importante aliada para se mitigar o impacto destas cargas na rede elétrica e reduzir as emissões de gases poluentes na atmosfera. De nada adianta utilizar veículos elétricos se a matriz energética usada para os carregadores é poluidora, logo faz-se necessário ampliar o uso de fonte renováveis de energia.

Para o caso estudado observou-se que dada uma pequena área disponível para disposição dos módulos fotovoltaicos, cerca de 33m², foi possível dispor 20 módulos em série.

O sistema fotovoltaico foi dimensionado, já que em grande parte do tempo ele trabalha com temperaturas fora das condições padrões de teste, e estimou-se, levando-se em conta dados históricos climatológicos da cidade de Goiânia-GO a produção de energia fotovoltaica ao longo do horizonte de planejamento. No primeiro ano espera-se que o sistema fotovoltaico seja capaz de produzir 9843,57 kWh de energia elétrica, este valor decresce ao longo do tempo devido a degradação dos componentes do sistema. Mesmo contabilizando esta degradação calculou-se que o VPL do uso da energia solar é positivo e para o caso de investimento a vista é de R\$ 139.182,24 e para o caso em que é necessário financiar o sistema é de R\$ 134.559,80.

Observou-se também que o prazo de payback simples ficou em 3,53 anos e o descontado 4,17 anos para a alternativa de investimento a vista e na casa dos 4 anos para a alternativa financiada no caso de ambos os valores de payback. Logo a alternativa II-a se mostra com um maior VPL que a alternativa II-b além de menores prazos de payback, o que indica menores riscos e tempo menor para se recuperar o investimento inicial.

Caso não se disponha do capital inicial para investimentos faz-se necessário recorrer a financiamentos. Mesmo nesta situação (alternativa II-b) o uso da energia solar se mostra vantajoso pois apresenta um VPL positivo.

Para a alternativa II-a e alternativa II-b observa-se que a TIR se mostra bem acima da taxa de desconto considerada, evidenciando que a rentabilidade prevista é bem acima das alternativas comumente encontradas no mercado. Nota-se também que o RCB se apresenta

maior que 1,0, indicando a atração do investimento. É importante salientar que o fato do RCB na alternativa II-b ser maior que a alternativa II-a se deve ao fato de que o investimento inicial considerado é apenas uma parcela do financiamento, nos anos seguintes, enquanto se disfruta dos benefícios, paga-se as outras parcelas.

Em suma, o uso da geração fotovoltaica é vantajoso do ponto de vista econômico, pois é possível deixar de pagar energia para a concessionária, e do ponto de vista ambiental pois a energia é gerada através da luz solar, uma fonte de energia renovável e infinita na escala de tempo terrestre.

O uso da energia solar em estações de recarga de veículos elétricos se alinha a alta eficiência energética dos veículos elétricos e a seu viés ecológico.

Sugere-se trabalhos futuros no sentido de modelar o impacto dos carros elétricos no sistema elétrico e a possibilidade de uso dos carros não apenas como cargas, mas também como *nobreaks*, capazes de transportar a energia em pacotes.

Ainda pode-se realizar trabalhos futuros almejando o aperfeiçoamento de baterias, motores, painéis solares, inversores, etc. Além de realizar medidas mais precisas das condições climáticas e da irradiação solar no estado de Goiás, produzindo modelos mais precisos para elaboração de projetos fidedignos de geração elétrica, que se utilizem da energia solar.

BIBLIOGRAFIA

- ABB. **ABB string inverters TRIO-5.8/7.5/8.5-TL-OUTD 5.8 to 8.5 kW**. Datasheet, ABB, 2017.
- ABNT, NBR. **5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT, NBR ISO/CIE. **8995-1: Iluminação de Ambientes de Trabalho - Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013a.
- ABNT, NBR. **10899: Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013b.
- ABNT, NBR. **14724: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: **PRODIST Módulo 5 – Sistemas de Medição, Revisão 5**. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: **“Resolução Normativa Nº 414”**, de 9 de setembro de 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: **“Resolução Normativa Nº 819”**, de 19 de junho de 2018.
- ANDWARI, Amin Mahmoudzadeh et al. **A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 78, p. 414-430, 2017.
- APAZA CHOQUEHUANCA, Rodrigo Wenceslao. **Cálculo, Dimensionamento e Desenho de Sistema Solar Fotovoltaico para Atender a Demanda de Recarga de Veículos Elétricos**. 2017.
- BRASIL, Banco do. **Calculadora de projetos solares fotovoltaicos**. 2018. Disponível em: <http://eficienciaverdebb.com.br/calculadora-fotovoltaica> (Último acesso em 04/06/2019)
- BARAN, Renato; LEGY, Luiz Fernando Loureiro. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011., 2011.
- BARROS, Leonardo Lehmann. **Requisitos para fornecimento de energia elétrica para recarga de veículo elétrico em Curitiba através de sistemas fotovoltaicos e concessionária de energia**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- CAIRES, Luis Eduardo. **Aplicação de Redes Inteligentes Nas Instalações Elétricas Residenciais**. Dissertação – Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia, EP / FEA / IEE / IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- CAMARGO, Lucas Tamanini. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

CANADIAN SOLAR INC. **PV Module Product Datasheet V5.57**. Datasheet, Canadian Solar Inc, Ontario-Canadá, 2018.

CAPETTA, Dalmir. **Sistemas de medição para faturamento e o mercado de energia elétrica: uma visão crítica do referencial regulatório**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CARNEIRO, Joaquim A. O. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos**. Monografia de apoio às aulas da disciplina de Projecto Interdisciplinar II do Mestrado Integrado em Engenharia Têxtil. Universidade do Minho, Guimarães, 2009.

CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; BARROS, Daniel Chiari; VEIGA, Suzana Gonzaga da. **Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global**. BNDES Setorial, n. 37, mar. 2013, p. 443-496, 2013.

CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; FERREIRA, Tiago Toledo. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial, n. 32, set. 2010, p. 267-310, 2010.

CELG-D, Norma Técnica. **NTC-04 Rev. 04: Fornecimento de Energia Elétrica Em Tensão Secundária de Distribuição**. Goiânia, 2016.

COMGÁS – Companhia de Gás de São Paulo. **Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural**. 61p. 2011.

COSTA, L. M. B. D. et al. **Manual de Normas Para Elaboração e Formatação de Trabalhos Científicos**. Faculdade Católica de Uberlândia. Uberlândia, p. 56. 2012.

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio Brito, 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutorial_solar (Último acesso em 04/06/2019).

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data> (Último acesso em 04/06/2019)

DE SOUZA, Wesley Angelino et al. **Power Quality, Smart Meters And Additional Information From Different Power Terms**. IEEE Latin America Transactions, v. 13, n. 1, p. 158-165, 2015.

DELGADO, Fernanda *et al.* **Carros elétricos**. 2017.

EFACEC. **QC45BATT Quick Charge Station**. Manual, Efacec, Moreira da Maia-PT, 2016.

ESCALANTE, S. L.; PENNA, J.; NASCIMENTO, I. **Minigeração Fotovoltaica e Veículos Elétricos numa Microrede Inteligente**. In: XIV SEPOPE – Symposium Of Specialists In

Electric Operacional And Expansion Planning, 2018, Recife-PE. XIV SEPOPE – Symposium Of Specialists In Electric Operacional And Expansion Planning, 2018.

FREEDOM. **Manual Técnico Bateria Estacionária**. Sorocaba, 2008.

FRIGO, Aline Beatriz Gonzalez. **Infraestrutura De Data Center E Suas Tendências Com Foco Em Eficiência Energética**. Monografia – Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

FONSECA, Murilo Larroza et al. **Medição Eletrônica de Eletricidade**. Revista O Setor Elétrico. 2013. Disponível em: <https://www.osestoreletrico.com.br/medicao-eletronica-de-eletricidade/> (Último acesso em 04/06/2019)

HARDY, W. H. **Power Measurements Handbook**. Gainesville, VA: 2013.

HIGGINS, Robert C. **Análise Para Administração Financeira**. 10ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. 456 p. ISBN 978-85-8055-319-2.

IEC. **61851: Electric Vehicle Conductive Charging System**. 2017.

IEC. **62196: Plugs, Socket-Outlets, Vehicle Connectors And Vehicle Inlets – Conductive Charging Of Electric Vehicles**. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET: **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília-DF. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> (Último acesso em 26 de junho de 2019).

JHALORA, Surendra. **Import And Export of Electrical Energy**. Secure Meters Ltd. Disponível em: https://www.securemeters.com/files/5113/7291/7734/imp_exp_elecl_energ17.pdf (Último acesso em 04/06/2019)

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 315 p. ISBN 978-85-224-4015-3.

LAPA, César; SAIDEL, Marco Antonio; DI SANTO, Katia Gregio. **Importância da medição de energia para a eficiência energética**. São Paulo, Lumière, n. 149, p. 64-72, 2010.

LINDEN, D.; REDDY, T. B. **Handbook of Batteries**. 3ª. ed., New York: McGraw-Hill, 2003.

LUZ, Jeanine Marchiori da. **Luminotécnica**. Porto Alegre. 2017.

MARTINS, Alexandre Saccol; BONAN, Guilherme; FLORES, Gustavo Ceretta. **Estágio Inversor Para Nobreaks**. Porto Alegre, 2005.

MCCLUER, Stephen; CHRISTIN, Jean-Francois. **Comparing Data Center Batteries**,

Flywheels and Ultracapacitors. 2011. Disponível em www.apcmedia.com/salestools/DBOY-77FNCT/DBOY-77FNCT_R2_EN.pdf (Último acesso em 04/06/2019)

MICHELINI, Aldo. **Baterias recarregáveis: Para Equipamentos Portáteis.** 2017. Disponível em: <http://www.sta-eletronica.com.br/resources/downloads/ebookbateriasrecarregaveis2.pdf> (Último acesso em 04/06/2019)

MÍNGUEZ, A. **Medidores de energia ativa: funcionamento, práticas usuais, principais ensaios e análise das fraudes mais comuns.** Monografia – Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

NANSEN. **Manual de Instruções: Lumen 2 MC.** Manual, Nansen, Contagem-MG, 2016a.

NANSEN. **Manual de Instruções: Vector P A e Vector P AR.** Manual, Nansen, Contagem-MG, 2016b.

NEVES, Gustavo de Souza. **Análise de Sistemas Fotovoltaicos Para Veículos Elétricos Experimentais de Baixo Custo.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, 2016.

NISENBAUM, Moises André. **Pilhas e baterias.** Coordenação Central de Educação a Distância–CCEAD. 2011. Disponível em: http://web.ccead.pucrio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_pilhas_e_baterias.pdf (Último acesso em 04/06/2019)

NOGUEIRA, Tiago; LEMOS, Deivid; TOMASIN, Samuel; BELCHIOR, Fernando. **Medição de energia elétrica BT.** Revista O Setor Elétrico. 2017. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/medicao-de-energia-eletrica-bt/> (Último acesso em 04/06/2019)

OLIVEIRA, Giovanni Filipe Leonel. **Desenvolvimento De Uma Plataforma Para Construção De Um Robô Autônomo Aspirador De Pó.** Monografia – Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Computação, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

PHILIPS. **Coreline Waterproof WT120C LED22S/840 PSU L1200 EL1.** Datasheet, Philips, 2019.

PINHEIRO NETO, D; LISITA, L. R.; MACHADO, P. C. M.; NERY, J. W. L.; FIGUEREDO, M. G. S. **Desempenho dos Medidores Monofásicos de Energia dos Tipos Eletrônico e de Indução.** Revista O Setor Elétrico, São Paulo – SP, 2011.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, v. 1, p. 47-499, 2014.

RASKIN, A.; SHAH, S. **The emergence of hybrid vehicles: ending oil's stranglehold on transportation and the economy.** AllianceBernstein Research on Strategy Change, jun.

2006. Disponível em: http://www.evworld.com/library/PHEV_AllianceBernstein.pdf (Último acesso em 04/06/2019)

RASMUSSEN, Neil. **The Different Types Of UPS Systems**. White paper, n. 1, p. 1-10, 2003.

RODRIGUES, M. C. B. P. et al. **Conexão De Veículos Elétricos À Rede De Energia Elétrica Para Recarga De Baterias: Uma Visão Geral**. Revista de Eletrônica Sobreap, v. 19, n. 2, 2014.

SAMUEL, Thomas; BAILLOTA, Raphael. **Long Term Energy Storage Challenges for Solar Lighting Applications in Desert Environments**. Disponível em: https://www.sunna-design.fr/en/uploads/page_technologie/1450113570_Paper_Energy_Storage.pdf (Último acesso em 04/06/2019)

SILVA, Tatiana Bruce da. **Recarga de veículos elétricos: o que Esperar quando o combustível dos nossos carros for a eletricidade?** 2017.

SOUSA, Cristina; MURTA, Joel. **Baterias**. 2004. Disponível em: http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/paulomoises/Controlo_carga (Último acesso em 04/06/2019)

SOUZA, A. C.; TAVARES, C. E.; OLIVEIRA, T. L.; GONDIM, I. N. **Modelagem e análise computacional de sistemas ininterruptos de energia para estudos de mitigação de afundamentos e interrupções de tensão na plataforma computacional ATP**. In: XI CBQEE - Conferência brasileira sobre qualidade da Energia Elétrica, 2015, Campina Grande. XI CBQEE - Conferência brasileira sobre qualidade da Energia Elétrica, 2015.

TRINDADE, Rafael Heleno Ladeira. **Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto Satélite Universitário, ITASAT**. 12o Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA-XII ENCITA, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Departamento de Engenharia Elétrica. EEL7040 Circuitos elétricos I. **Medição de energia elétrica**. Florianópolis, 2008. 3f. Aula 10.

YOUNG, Kwo et al. **Electric vehicle battery technologies**. In: Electric vehicle integration into modern power networks. Springer, New York, NY, 2013. p. 15-56.