

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LEONARDO LEHMANN BARROS

**REQUISITOS PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA
PARA RECARGA DE VEÍCULO ELÉTRICO EM CURITIBA ATRAVÉS
DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E CONCESSIONÁRIA DE
ENERGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

LEONARDO LEHMANN BARROS

**REQUISITOS PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA
PARA RECARGA DE VEÍCULO ELÉTRICO EM CURITIBA ATRAVÉS
DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E CONCESSIONÁRIA DE
ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC 2, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Gerson Maximo Tiepolo

Co-Orientador: Prof. Vilson Roiz Gonçalves Rebelo da Silva (UFPR)

CURITIBA
2013

Leonardo Lehmann Barros

Requisitos para fornecimento de energia elétrica para recarga de veículo elétrico em Curitiba através de sistemas fotovoltaicos e concessionária de energia

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 29 de outubro de 2013.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Gerson Maximo Tiepolo, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Vilson Roiz Gonçalves Rebelo da Silva
Universidade Federal do Paraná
Co-Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gerson Maximo Tiepolo, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Vilson Roiz Gonçalves Rebelo da Silva
Universidade Federal do Paraná

Prof. Jair Urbanetz Junior, Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

DEDICATÓRIA

À Schirlei e Carlos, meus pais que serão meus eternos exemplos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo amor, dedicação e paciência para que esse sonho pudesse ser realizado.

À minha irmã, família e amigos, que sempre me apoiaram nos momentos mais difíceis. Vocês são responsáveis por eu ter chegado até aqui. Agradeço por fazerem parte de minha vida.

Ao Professor Me. Gerson Maximo Tiepolo pela sua dedicação em compartilhar do seu conhecimento e paixão pelos temas apresentados.

Ao Professor Vilson Roiz Gonçalves Rebelo da Silva pela pronta disposição nos aconselhamentos.

Aos professores da banca pela atenção e contribuição dedicadas para o aprimoramento deste trabalho.

***"A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original."***

(Albert Einstein)

RESUMO

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 – Graduação em Engenharia Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Tendo em vista o crescimento da tecnologia de carros elétricos, surge a necessidade de torná-los, de fato, veículos com emissões nulas, e que pode ser possível ao se recarregar as baterias presentes nestes veículos através de uma fonte renovável de energia. Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo levantar os requisitos necessários para implantação de postos de recarga para veículos elétricos, com a energia elétrica sendo gerada através de sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica de energia (SFVCR) na cidade de Curitiba, tendo a rede da concessionária de energia como forma de *backup* para momentos em que não haja irradiação suficiente para carregá-los. Inicialmente são apresentadas definições do que é cada tecnologia, passando por introduções históricas e em seguida delimitando quais são empregadas hoje em dia. Em seguida é determinada uma forma de conexão dos sistemas, fazendo-se em seguida uma previsão de uma frota de carros elétricos que poderia estar presente na cidade de Curitiba. Finaliza-se o trabalho estudando a viabilidade do sistema nos quesitos técnicos (com a verificação da maturidade tecnológica e existência de normas e leis regulamentadoras) e econômicos (analisando-se os custos e tempos de *payback*).

Palavras-chave: Veículo Elétrico. Sistema Fotovoltaico. Carregadores. Baterias. Energia Elétrica. Conectado à Rede. Viabilidade.

ABSTRACT

BARROS, Leonardo Lehmann. Requirements for Electric Power Supply for Electric Vehicle Charging in Curitiba Through Photovoltaic Systems and Power Distribution Company. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Given the growing technology of electric cars, emerge the need to make them, in fact, zero emission vehicles, this fact may be possible when charge the batteries present in vehicles through a renewable energy source. This Course Conclusion Work aims to raise the requirements for deploying charging stations for electric vehicles, with the electricity being generated by photovoltaic systems connected to the grid in the city of Curitiba, with the power distribution company grid as a form of backup when there is not enough irradiation to make them work. Initially there are definitions of each technology, through historical introductions and then delimiting which are employed today. Follow is given a form of connection of the systems, becoming then a prediction of a fleet of electric cars that could be present in the city of Curitiba. The work finishes up by studying the feasibility of the system on technical issues (with verification of technological maturity and existence of rules and laws regulating) and economic (analyzing the costs and payback times).

Keywords: Electric Vehicle. Photovoltaic System. Chargers. Batteries. Electricity. Connected to the Grid. Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Primeiro veículo elétrico de Thomas Parker em 1884.....	14
Figura 02: GM EV-1.....	16
Figura 03: GM EV-1s destruídos e armazenados em um pátio da pista de testes da GM.....	16
Figura 04: Volvo C30 Electric em um carregamento lento.....	17
Figura 05: Mitsubishi i-MiEV em uma recarga rápida na USP.....	17
Figura 06: Configuração VEH série.....	25
Figura 07: Configuração VHE paralela.....	25
Figura 08: Configuração VHE série plug-in.....	26
Figura 09: Configuração VHE paralela plug-in.....	26
Figura 10: Configuração VE com célula a combustível.....	27
Figura 11: Configuração VE solar.....	27
Figura 12: Configuração VE somente à bateria.....	28
Figura 13: Invento de Ányos Jedlik.....	29
Figura 14: Invento de Stratingh de Groningen.....	30
Figura 15: Invento de Thomas Parker.....	30
Figura 16: “La Jamais Contente”.....	31
Figura 17: Invento de William Morrison.....	31
Figura 18: Ford Modelo T com suas variações.....	34
Figura 19: Sebring-Vanguard CitiCar.....	35
Figura 20: Elcar da Elcar Corporation.....	36
Figura 21: GM EV1.....	37
Figura 22: Nissan Leaf.....	38
Figura 23: Mitsubishi i-MiEV.....	39
Figura 24: Processo de descarga e carga de uma célula de bateria.....	42
Figura 25: Bateria de Gaston Planté.....	43
Figura 26: Conector Combo (AC+DC) SAE J1772.....	63
Figura 27: Sistema de Coletor Solar Térmico.....	65
Figura 28: Usina solar de Ain Beni Mathar.....	66
Figura 29: Usina solar de Copper Mountain.....	67
Figura 30: Radiação Solar Global Horizontal – Média Anual.....	69
Figura 31: Radiação Solar Global no Plano Inclinado – Média Anual.....	70
Figura 32: Módulo fotovoltaico formado por m-Si.....	72
Figura 33: Módulo fotovoltaico formado por p-Si.....	73
Figura 34: Módulo fotovoltaico formado por a-Si.....	74
Figura 35: Módulo fotovoltaico formado por CdTe.....	75
Figura 36: Módulo fotovoltaico formado por CIGS.....	76
Figura 37: Mapa fotovoltaico do estado do Paraná.....	79
Figura 38: Região de Curitiba dentro de um círculo de 20 km de diâmetro capaz de comportar comutações diárias de até 40 km.....	85
Figura 39: Mapa fotovoltaico do estado do Paraná com a região de Curitiba delimitada.....	87
Figura 40: Conexão da Geração Fotovoltaica.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Ciclos de Vida Esperados.....	46
Gráfico 02: Procedimento de Carga – Chumbo Ácido.....	47
Gráfico 03: Curva de recarga rápida de uma célula de Ni-MH.....	51
Gráfico 04: Procedimento de Carga – Li-Íon.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Comparativo entre baterias.....	57
Tabela 02: Níveis de Potência de Carga.....	61
Tabela 03: Características de Carga e Infraestrutura de Alguns Veículos Elétricos.....	62
Tabela 04: Exemplos de classificação de sistemas fotovoltaicos.....	77
Tabela 05: Custo de investimento em sistemas fotovoltaicos – referência internacional (US\$/Wp).....	80
Tabela 06: Estipulação do número de carros elétricos que poderiam estar presentes em Curitiba.....	82
Tabela 07: Média dos Valores para Alguns Veículos Elétricos Apresentados na Tabela 03.....	83
Tabela 08: Demanda gerada pela frota de veículos estipulada para Curitiba.....	83
Tabela 09: Eficiência típica dos módulos comerciais.....	89
Tabela 10: Áreas necessárias para um sistema de 1,5 kWp.....	89
Tabela 11: Comparativo dos Cenários.....	97
Tabela 12: Cálculo do <i>payback</i>	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A** - Unidade Ampére
- ABNT**- Agência Brasileira de Normas Técnicas
- ABVE** - Associação Brasileira do Veículo Elétrico
- a-Si** - Silício amorfo
- CA** - Corrente Alternada
- CARB** - *California Air Resources Board*
- CC** - Corrente Contínua
- CdTe** - Telureto de cádmio
- CIGS** - Disseleneto de cobre (gálio) e índio
- c-Si** - Silício cristalino
- GM** - *General Motors*
- LI-ION** - Íons de Lítio
- m-Si** - Silício monocristalino
- NBR** - Denominação de norma da ABNT
- NI-CD** - Níquel Cádmio
- NI-MH** - Níquel Hidreto Metálico
- p-Si** - Silício policristalino
- R\$** - Reais
- SAE** - *Society of Automotive Engineers*
- SFVCR** – Sistema fotovoltaico conectado à rede
- SWERA** - *Solar and Wind Energy Resource Assessment*
- USP** - Universidade de São Paulo
- U\$** - Dólar
- V** - Unidade Volt
- V2G** - *Vehicle to Grid*
- VE** - Veículo Elétrico
- VEH** - Veículo Elétrico Híbrido
- VEHP** - Veículo Elétrico Híbrido *Plug-In*
- W** - Unidade Watts
- Wh** – Unidade de energia Watt-hora
- Wp** – Watt Pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	TEMA.....	14
1.1.1	Delimitação do Tema.....	14
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	19
1.3	OBJETIVOS.....	20
1.3.1	Objetivo Geral.....	20
1.3.2	Objetivos Específicos.....	20
1.4	JUSTIFICATIVA.....	21
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	21
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1	CARROS ELÉTRICOS.....	24
2.1.1	Definição.....	24
2.1.2	Histórico.....	29
2.2	BATERIAS UTILIZADAS.....	39
2.2.1	O que é bateria?.....	40
2.2.2	Elementos básicos.....	41
2.2.3	Componentes básicos de uma célula.....	41
2.2.4	Funcionamento básico.....	42
2.2.5	Chumbo-Ácido.....	43
2.2.6	Hidreto Metálico de Níquel (NI-MH).....	48
2.2.7	Íons de Lítio (Li-Ion).....	52
2.2.8	Comparativo.....	56
2.3	CARREGADORES AUTOMOTIVOS.....	58
2.3.1	Nível 1.....	59
2.3.2	Nível 2.....	60
2.3.3	Nível 3.....	60
2.3.4	Norma SAE J1772.....	62
2.3.5	Direcionalidade do carregador.....	63
2.4	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	64
2.4.1	Energia Solar.....	64
2.4.2	Fundamentos da tecnologia fotovoltaica.....	70

2.4.3	Classificação dos sistemas fotovoltaicos.....	76
2.4.4	Potencial fotovoltaico do estado do Paraná.....	78
2.4.5	Custo para implementação de um sistema fotovoltaico.....	79
3	DESENVOLVIMENTO	81
3.1	INTRODUÇÃO	81
3.2	DETERMINAÇÃO DA DEMANDA E DO CONSUMO	82
3.2.1	Definição da demanda.....	83
3.2.2	Definição do consumo	84
3.3	NÍVEL DE RECARGA E CARREGADOR	84
3.4	POTENCIAL FOTOVOLTAICO DA CIDADE DE CURITIBA.....	86
3.5	DIMENSIONAMENTO DO UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUPRIR O CONSUMO DA RECARGA	88
3.6	DIMENSIONAMENTO DA TOMADA DE ENERGIA PARA CONEXÃO DO CARREGADOR	90
3.7	INTERCONEXÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO, DA TOMADA DE ENERGIA E DA REDE DA CONCESSIONÁRIA	91
3.8	LOCALIDADES PROPÍCIAS PARA A INSTALAÇÃO DO SISTEMA.....	93
3.9	VIABILIDADE	93
3.9.1	Viabilidade Técnica.....	94
3.9.2	Viabilidade Econômica	94
3.10	CONCLUSÃO	99
4	CONCLUSÃO FINAL	100
4.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	102
	REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

1.1.1 Delimitação do Tema

Os veículos elétricos hoje tão comentados e debatidos estão longe de ser uma novidade e uma tecnologia recente. Os primeiros ensaios de veículos movidos por um motor elétrico datam da década de 1820 com a construção de pequenos protótipos e veículos que circulavam em trilhos eletrificados (BELLIS, 2012), porém é somente após a invenção da primeira bateria chumbo-ácida por Gaston Planté no ano de 1859 (ROBERGE, 2013) que esses veículos ganharam atenção. Assim as histórias dos veículos elétricos e das baterias iniciaram sua parceria, tendo o primeiro fruto no ano de 1884 com a construção do veículo elétrico por Thomas Parker, ilustrado na Figura 01 (THE TELEGRAPH, 2009).



Figura 01: Primeiro veículo elétrico de Thomas Parker em 1884.

Fonte: HOWSTUFFWORKS, 2012

Do mesmo modo que os veículos totalmente movidos à energia elétrica não são uma novidade, os veículos híbridos, ou seja, os que mesclam mais de uma fonte de propulsão, também não são. Com o advento do motor de combustão interna criado por Karl Benz em 1885 (BENZ, 2001), o nascimento de veículos que

utilizavam as duas tecnologias não demorou a surgir, tendo os primeiros aparecendo ao final do século XIX (BERMAN, 2011).

A história dos veículos elétricos foi sempre marcada por idas e vindas, nunca havendo motivos concretos que fizessem os veículos elétricos se mantivessem como tecnologia permanente.

Os primeiros veículos modernos utilizados, considerando os de concepção atual e excluindo os movidos a tração animal, foram elétricos. Porém a tecnologia da época não colaborava para a popularização do mesmo, uma vez que precisavam de uma fonte elétrica de energia, sendo os locais longe dos grandes centros inviáveis para o uso, com suas baterias de autonomia curtíssima devido à falta de eficiência dessas unidades (BELLIS, 2012).

Mesmo sendo dominantes na participação do mercado da época, os veículos elétricos foram perdendo espaço para os veículos com propulsores de combustão interna, já que sua tecnologia não despendia muito investimento, eram de concepção simples e o seu combustível (derivados do petróleo) começavam a se popularizar rapidamente (BELLIS, 2012).

Em curtos períodos de tempo os veículos elétricos tiveram picos de crescimento, principalmente durante a Primeira e Segunda Guerra Mundial onde os combustíveis derivados do petróleo sofreram racionamento forçando a criação de alternativas. Porém ao final das mesmas os veículos a combustão interna retomaram seu mercado (BELLIS, 2012).

A chegada de um novo tema na década de 1960 retomou o assunto ligado aos veículos elétricos: a questão ambiental. Os veículos a combustão interna da época em nada controlavam a poluição emitida, dando motivos para a popularização dos elétricos. Discussões eram geradas, mas nada de concreto era criado, novamente culpa da tecnologia pouco desenvolvida e pelo menor custo das demais alternativas (PAINE, 2006).

Na década de 1990 esse assunto voltou, influenciado pelas diversas correntes ambientalistas, porém as forças contrárias (de petrolíferas como Exxon, Shell e Texaco e de políticas como a CARB americana) fez novamente a luta ser vencida pelos veículos a combustão interna. A mais icônica vítima dessa época foi o GM EV1, vendido pelo método de *leasing* e ao final de seus contratos não houve renovação, com todas as unidades sendo recolhidas e inutilizadas pela GM (PAINE,

2006). As Figuras 02 e 03 mostram o GM EV1 em seu lançamento e nos seus últimos dias destruídos pela própria GM.



Figura 02: GM EV-1
Fonte: MOTORFULL, 2013



Figura 03: GM EV-1s destruídos e armazenados em um pátio da pista de testes da GM.
Fonte: EV1, 2013

Dos anos 2000 em diante, o cenário mudou drasticamente. Atualmente o apelo ambiental está ficando cada vez mais em alta e a tecnologia vem avançando em escala exponencial, assim, se espera que os veículos elétricos ocupem o seu espaço no mercado mundial.

Diversas tecnologias vêm surgindo em diferentes países, principalmente aqueles que têm o petróleo como item extremamente influenciador na sua economia, como Japão e EUA. Não por coincidência os principais lançamentos mundiais têm como origem esses mesmos países, como exemplos temos o norte americano Chevrolet Volt e os japoneses Toyota Prius e Nissan Leaf.

Com o crescimento da utilização desses veículos, seu efeito na rede elétrica começa a se tornar preocupante, discutindo-se até que ponto as redes atuais suportariam a demanda exigida para a recarga das baterias utilizadas.

A carga desses veículos pode se dar de duas maneiras. Em veículos híbridos não *plug-in*, ou seja, aqueles que em nenhum momento se conectam a rede elétrica, o próprio motor a combustão é encarregado de recarregar as baterias. Já os veículos *plug-in*, necessitam se conectar à rede elétrica para recarregarem, e esses por sua vez, possuem geralmente três modos de recarga: um lento, um normal e um expresso (YILMAZ; KREIN, 2013).

O modo de recarga lento e normal utilizam uma tomada residencial padrão, geralmente em uma tensão de 220V alternados, levando em torno de 8h ou

4h, respectivamente, para a completa recarga, variando de veículo para veículo, sendo apenas necessário conectá-lo como qualquer aparelho elétrico de grande potência (G1, 2012), como mostrado na Figura 04, onde um Volvo C30 é recarregado em uma simples tomada no seu stand de apresentação.



Figura 04: Volvo C30 Electric em um carregamento lento.
Fonte: VEICULOELETRICO, 2012

O modo de recarga rápida ou expressa se dá de uma maneira totalmente diferente do modo lento, sendo necessária uma instalação auxiliar para a realização da recarga, chamada Posto de Recarga. A tensão utilizada é mais elevada e de corrente contínua e o tempo da recarga pode ser diminuído para até 30 minutos (YILMAZ; KREIN, 2013). A Figura 05 mostra uma recarga realizada na USP pelo primeiro Posto de Recarga Rápida do Brasil.



Figura 05: Mitsubishi i-MiEV em uma recarga rápida na USP

Fonte: G1, 2012

Por mais que se criem incentivos para a disseminação dos veículos elétricos, ainda depende-se das fontes energéticas para alimentar tais meios de locomoção que, embora limpos no seu uso, ainda assim podem utilizar energia elétrica proveniente de fontes não renováveis.

Para essa situação está se investindo em fontes renováveis de energia que não poluam e possam de fato entregar uma energia limpa. Dentre elas tem-se a fonte de energia solar, que através de painéis fotovoltaicos convertem a energia vinda do Sol em energia elétrica utilizável.

A origem do estudo fotovoltaico é do ano de 1839 quando Alexandre Edmond Becquerel relata o fenômeno fotovoltaico, que consiste em gerar eletricidade sob a incidência de luz sobre uma estrutura composta por semicondutores. Porém somente no ano de 1883 foram construídas as primeiras células fotoelétricas, por Charles Fritts, que cobriu o selênio semicondutor com uma camada extremamente fina de ouro de modo a formar junções. Essas células são a unidade fundamental no momento de transformar a radiação solar em energia elétrica (JUNIOR, 2011).

A primeira produção industrial de células ocorreu no ano de 1956, porém sua evolução foi a passos curtos devido ao alto custo comparado às demais fontes de energia, até que em 1973, com a crise do petróleo, os governos de países desenvolvidos deram mais atenção para esta tecnologia, estimulando a sua produção.

Com o término da crise do petróleo, essa atenção foi diminuída, retomada apenas na década de 1990 com o desenvolvimento crescente da indústria fotovoltaica, que trabalhava na demonstração da aplicabilidade de tal fonte energética. De lá pra cá as pesquisas vem tentando diminuir os custos de produção das células fotovoltaicas, seu principal ponto negativo.

Atualmente, o uso do silício cristalino, como material de uso majoritário, está presente em 95% do mercado de células fotovoltaicas, tendo um rendimento de 12 a 16% em escala comercial (NASCIMENTO, 2004).

É partindo dessa tecnologia que este trabalho pretende apresentar uma forma mais eficiente e limpa de geração de energia elétrica para o recarregamento dos veículos elétricos.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Tendo em vista a tendência de disseminação dos veículos elétricos, uma das preocupações é a de analisar se a atual estrutura da rede irá comportar o acréscimo de carga que esses equipamentos irão proporcionar.

O Brasil ainda não possui uma política específica para os veículos elétricos, muito menos incentivos à produção tecnológica desse ramo, desse modo não existem ainda padrões nacionais exclusivos para recargas e instalações, o que acaba por atrasar ainda mais o desenvolvimento desta tecnologia no país.

“[...] o carro elétrico vai deslançar no mundo inteiro. Mas não no Brasil, porque aqui não teremos a estrutura pronta. A expectativa é de que, lá por 2035, a frota de carros elétricos na Europa será maior que a de carros a combustível. Se continuarmos sem apoio do governo, só o Brasil estará na contramão dessa evolução.”
(SANTOS, 2013)

A energia fornecida para as baterias são de alguma forma gerada, transmitida e fornecida. A forma com que se gera é a preocupação. Por mais que se produzam veículos eficientes, se a geração de energia elétrica ocorrer através de fontes energéticas poluentes, o problema não estará completamente sanado. Para isso temos fontes renováveis de geração de energia elétrica, e dentre elas a solar.

De que maneira a geração por painéis fotovoltaicos poderia ser introduzida de forma distribuída para atender a demanda de recarga dos veículos elétricos é a pergunta que deve ser respondida. Quais são as medidas, locais e modos que essa geração pode atuar? Ainda deve se atentar aos custos de tal instalação, a fim de se verificar a viabilidade de implantação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar os requisitos necessários para o fornecimento de energia elétrica para a recarga de veículos elétricos na região de Curitiba utilizando sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétrica de energia (SFVCR), tendo a rede da concessionária como fonte complementar de energia.

1.3.2 Objetivos Específicos

Pretende-se com o trabalho:

- Realizar uma revisão bibliográfica, estudando o funcionamento dos veículos elétricos, detalhando os modelos e tipos existentes na atualidade, revisando os tipos de baterias empregadas para esses veículos e os seus métodos de recarga;
- Estudar os sistemas fotovoltaicos e suas topologias compreendendo a conexão desses painéis com a rede e os veículos;
- Revisar normas técnicas da ABNT e da concessionária de energia elétrica. Normas de conectores para padrão automotivo e outras normas necessárias para discussão de aspectos técnicos e legais de conexão do veículo elétrico à rede de energia elétrica e painéis fotovoltaicos;
- Estudar quais tipos de veículos que poderão ser recarregados, e calcular o impacto ao adicionar a demanda desses veículos na matriz elétrica da cidade de Curitiba;
- Estudar e propor a configuração de uma instalação que forneça energia elétrica para a recarga de um veículo elétrico utilizando SFVCR e a rede da concessionária.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os meios de transportes sempre foram cruciais para o desenvolvimento da humanidade e as tecnologias vêm evoluindo de forma exponencial, porém existe algo que cada vez mais está ficando escasso: as fontes de energia.

Pela conscientização atual, não irá demorar muito para que os recursos cheguem a limites críticos, portanto uma mudança de paradigma deve ocorrer e diferentes vertentes tecnológicas devem ser conduzidas (MALZONI, 2012).

Desse modo a adoção de veículos elétricos é iminente, por se tratarem de uma tecnologia muito mais eficiente, onde seu uso poderá desacelerar o modo com que hoje o planeta é agredido.

A mudança, porém, não para somente na utilização de meios mais eficientes de locomoção, pois os mesmos ainda consomem energia que precisa de algum modo ser gerada. Atualmente existem regiões onde predominantemente se utilizam formas extremamente poluentes de geração de energia elétrica, e ainda de modo centralizado onde grandes usinas produzem para uma grande quantidade de usuários. A alternativa pode ser a descentralização dessa geração e fazer com o próprio usuário possa produzir a sua energia.

Com essa opção então poderá se criar uma instalação que alie a geração distribuída com a rede elétrica convencional, proporcionando uma recarga mais barata e ambientalmente correta.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização do trabalho, será realizada a reunião de dados técnicos e históricos oriundos de publicações que envolvam normas técnicas, artigos, livros e demais publicações científicas, tendo veículos elétricos, matrizes elétricas, instalações elétricas de baixa tensão e geração solar por painéis fotovoltaicos como assuntos principais.

Partindo destas informações serão feitos estudos com a estimativa de uma frota de veículos elétricos na cidade de Curitiba, focando na carga demandada, horários para recarga e percentual de recarga das baterias.

Tendo os dados analisados, poderá então se ver a aplicabilidade de painéis fotovoltaicos, determinando a quantidade, modalidade, topologia, e custo estimado da implantação.

Para a reunião dos conteúdos será então proposta uma solução que comporte a interligação dos veículos elétricos com a rede de distribuição da concessionária existente e a geração distribuída através dos SFVCR, conforme as normas vigentes.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho irá ser composto de 5 capítulos:

Capítulo 1: Introdução.

Capítulo 2: Revisão Bibliográfica:

Apresentação dos veículos elétricos mostrando os diferentes tipos, delimitando os que serão aplicados no estudo e contando sua história desde a criação até o cenário atual.

Tipos de baterias empregadas nos veículos elétricos atuais.

Carregadores utilizados atualmente, comentando os níveis de recarga e normas aplicadas.

Energia Solar, quais formas podem ser utilizadas para aproveitar essa fonte energética.

Fundamentos da tecnologia fotovoltaica, apresentando a história, as tecnologias e seu funcionamento.

Classificação dos sistemas fotovoltaicos, mostrando como os sistemas se interligam ou não com a rede.

Capítulo 3: Desenvolvimento:

Estudo do impacto da demanda de uma frota de veículos elétricos na matriz energética da cidade de Curitiba.

Estudo do potencial de geração solar na cidade de Curitiba.

Estudo da implantação de uma topologia de geração fotovoltaica visando o recarregamento da bateria de um veículo elétrico.

Capítulo 4: Conclusão Final

Referencial Bibliográfico

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARROS ELÉTRICOS

2.1.1 Definição

Entende-se por veículo elétrico todo e qualquer veículo automotor que possua no mínimo uma de suas propulsões realizada por um motor elétrico (ABVE, 2013), onde trens, metrô, barcos, ônibus e aviões se enquadram nessa definição. Porém, para o trabalho aqui proposto, o foco será prioritariamente para os carros elétricos que se define como sendo “*veículo de rodas para transportar pessoas ou carga*” (WEISZFLOG, 2004), dotado de um propulsor elétrico conectado a pelo menos uma de suas rodas.

Partindo dessa definição ainda podemos dividir os carros elétricos em quatro categorias de acordo com a sua forma de gerenciamento da energia elétrica.

2.1.1.1 Carros elétricos híbridos

Carros híbridos são veículos elétricos híbridos (VEH) em que a energia elétrica que é fornecida para o motor elétrico é gerada no próprio veículo através de um motor de combustão interna. Esse motor pode ser abastecido tanto com combustíveis líquidos (gasolina, etanol, diesel, etc), como gasosos (gás natural veicular). Existe ainda a tecnologia de frenagem regenerativa, que aproveita a energia cinética proveniente da desaceleração do veículo para recarregar as baterias (ABVE, 2013).

Existem quatro configurações deste sistema para esse tipo de veículo, conforme mostrado nas Figuras 06 a 09.



Figura 06: Configuração VEH série

Fonte: ABVE, 2013

Nessa configuração apenas o motor elétrico atua na movimentação do veículo, cabendo ao motor de combustão interna o papel de movimentar o gerador para se produzir energia para a bateria (ABVE, 2013).

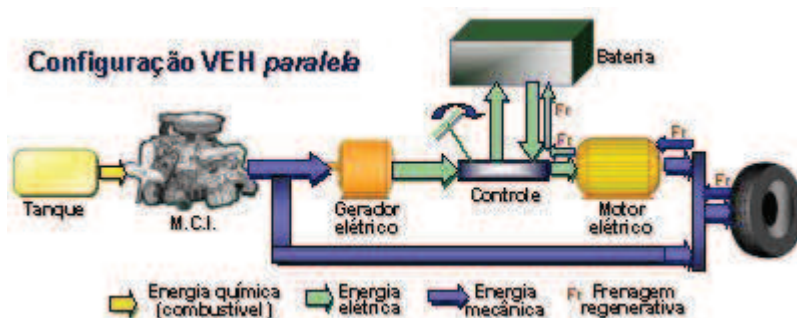


Figura 07: Configuração VEH paralela

Fonte: ABVE, 2013

Já nessa configuração o motor de combustão interna também participa na movimentação do veículo (ABVE, 2013).

Existem casos particulares onde a bateria empregada pode ter um tamanho maior e sua energia pode ser recarregada por uma fonte externa. Para este caso o veículo recebe a denominação de *plug-in* ou VEHP (veículo elétrico híbrido *plug-in*) (ABVE, 2013). Para as duas configurações anteriormente mencionadas existem essa possibilidade a partir de uma pequena alteração, demonstrada pelas figuras 08 e 09.

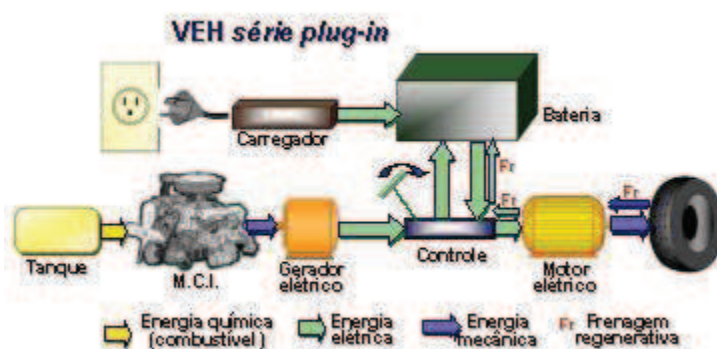


Figura 08: Configuração VHE série plug-in

Fonte: ABVE, 2013



Figura 09: Configuração VHE paralela plug-in

Fonte: ABVE, 2013

Com esta configuração o consumo de combustível e as emissões de poluentes são reduzidos, já que os trajetos iniciais (cerca de 25 a 100 km) fazem uso apenas do motor elétrico e da carga da bateria, sendo que somente quando esta atinge níveis mínimos é que o motor a combustão é acionado (ABVE, 2013).

2.1.1.2 Carros elétricos de célula a combustível

Células a combustível são “dispositivos que convertem energia química diretamente em energia elétrica e térmica, proporcionando, portanto, uma operação contínua, graças à alimentação constante de um combustível.” (ELETROCELL, 2013).

Para os carros elétricos essa energia gerada é transferida para a bateria que por sua vez alimenta o motor elétrico, conforme mostrado na Figura 10. Também é presente a tecnologia de frenagem regenerativa.

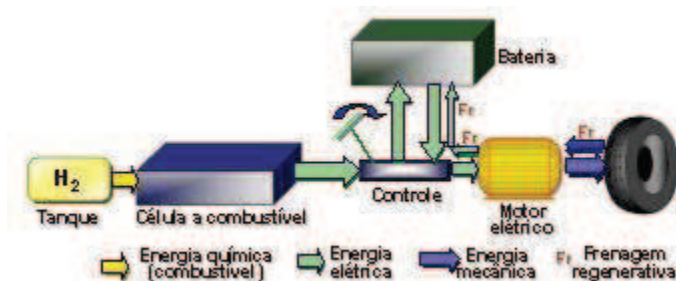


Figura 10: Configuração VE com célula a combustível

Fonte: ABVE, 2013

Os veículos elétricos de célula a combustível ainda são uma tecnologia que necessita amadurecimento, pois ainda existe uma incerteza quanto ao desempenho energético ao adicionar o hidrogênio como mais um vetor energético (ABVE, 2013).

2.1.1.3 Carros solares

Os carros solares são veículos que possuem painéis solares em sua superfície, geralmente no teto, onde as células fotovoltaicas geram a energia elétrica, que é armazenada na bateria e posteriormente utilizada pelo motor elétrico. Também é presente a tecnologia de frenagem regenerativa (ABVE, 2013). O esquema de configuração pode ser observado na Figura 11.

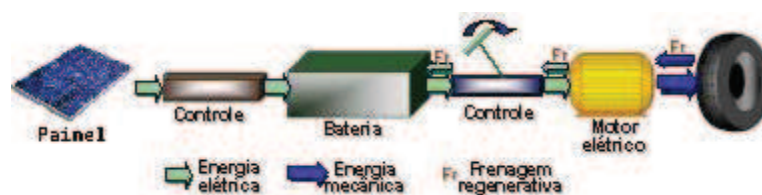


Figura 11: Configuração VE solar

Fonte: ABVE, 2013 (adaptado)

Os veículos solares não são utilizados para o dia-a-dia em função do seu baixo rendimento, já que a superfície oferecida pelo carro é pequena para comportar um painel solar que possa gerar toda a energia necessária, assim seu uso se restringe até o momento a demonstrações, competições e exercícios de engenharia (ABVE, 2013).

2.1.1.4 Carros elétricos à bateria

Os carros elétricos movidos à bateria possuem um ou mais motores elétricos que são abastecidos com energia elétrica proveniente de uma ou mais baterias, e essas por sua vez são recarregadas por uma fonte de energia externa ao veículo. Novamente o uso da tecnologia de frenagem regenerativa se faz presente (ABVE, 2013). O esquema dessa configuração pode ser observado na Figura 12.



Figura 12: Configuração VE somente à bateria

Fonte: ABVE, 2013 (adaptado)

Esse tipo de veículo se faz disponível a muito tempo, permitindo grande economia de energia e emissões nulas de gases poluentes. “A eficiência de veículos elétricos à bateria é de aproximadamente 70%, percentual igual a quase cinco vezes a eficiência de veículos convencionais (14 a 18%).” (ABVE, 2013).

Nesse tipo de tecnologia não existe forma de geração de energia principal no veículo (apenas de forma auxiliar com a frenagem regenerativa e pequenos painéis fotovoltaicos), dessa forma são diretamente classificados como veículos *plug-in* ou simplesmente VE (veículos elétricos). É nesta tecnologia de carros que o presente trabalho está baseado.

2.1.2 Histórico

2.1.2.1 O surgimento (1828-1912)

Quem inventou o primeiro carro elétrico é incerto, e entre os anos de 1828 e 1835 vários pesquisadores ensaiaram com pequenos protótipos o funcionamento de um veículo elétrico (BELLIS, 2012).

Em 1828, o inventor, engenheiro e padre benedito húngaro Ányos Jedlik inventou um pequeno dispositivo que se locomovia através de um motor elétrico, mostrado na Figura 13 (BELLIS, 2012).

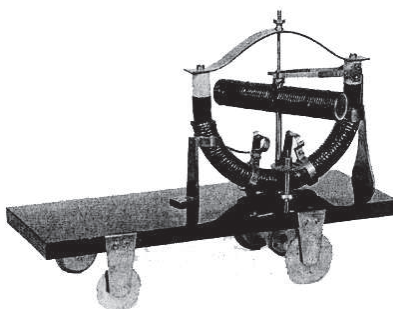


Figura 13: Invento de Ányos Jedlik
Fonte: HUNGARIANHISTORY, 2012

Em 1835 o professor holandês Stratingh de Groningen projetou um pequeno modelo de carro elétrico, que foi montado por seu assistente Christopher Becker, modelo mostrado na Figura 14 (BELLIS, 2012).



Figura 14: Invento de Stratingh de Groningen

Fonte: AUTO-EN-VERVOER, 2004

Até então os veículos criados não passavam de modelos de estudo dotados de bateria não recarregável e, portanto, o avanço maior só veio após a invenção do francês Gaston Plante, com a bateria recarregável no ano de 1859. Tratava-se de uma bateria de chumbo-ácido que poderia ser recarregada com o uso de energia elétrica vinda de outra fonte (BELLIS, 2012).

No final dos anos de 1800, França e Inglaterra eram as primeiras nações a darem suporte e disseminar os veículos elétricos (BELLIS, 2012). Em 1884 o inventor Thomas Parker desenvolveu um veículo elétrico, conforme mostra a Figura 15, capaz de locomover não só a si próprio como também o seu condutor e mais pessoas, tornando assim o primeiro carro elétrico nos moldes atuais (THE TELEGRAPH, 2009).



Figura 15: Invento de Thomas Parker

Fonte: VOITUREELECTRIQUE, 2010

O interesse pelos veículos elétricos, principalmente os carros, começou a ser maior, e até recordes de velocidade foram batidos. Exemplo disso é o “La

Jamais Contente” (Figura 16), onde o carro elétrico criado no ano de 1899 pelo belga Camille Jénatzy, obteve o recorde de velocidade de 110 km/h, sendo o primeiro a quebrar a barreira dos 100 km/h (BELLIS, 2012).

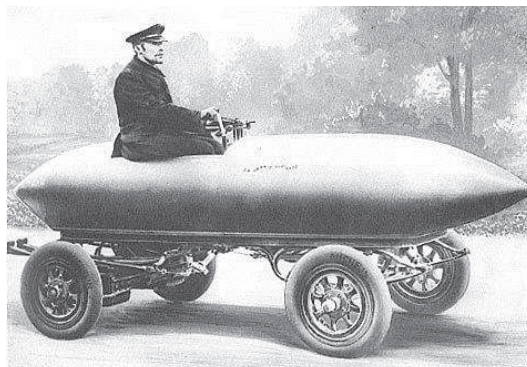


Figura 16: “La Jamais Contente”
Fonte: VOITUREELECTRIQUE, 2010

No ano de 1891 o americano William Morrison criou o primeiro carro elétrico americano, conforme ilustrado na Figura 17. Capaz de transportar seis pessoas tinha velocidade máxima de 32 km/h e com 24 células de bateria percorria uma distância máxima de 80 quilômetros (BELLIS, 2012).



Figura 17: Invento de William Morrison
Fonte: ELECTRICVEHICLESNEWS, 2013

Em 1897 foi a primeira vez em que um carro elétrico foi utilizado comercialmente, quando a frota de taxis de Nova Iorque/EUA foi introduzida pela empresa *Electric Carriage and Wagon Company of Philadelphia* (BELLIS, 2012).

A popularidade dos carros elétricos começou a ter um crescimento, porém agora havia a introdução de novos tipos de veículos, os movidos a vapor e

motor a combustão interna (BELLIS, 2012), graças ao invento de Karl Benz no ano de 1885 (BENZ, 2001).

Os anos de 1899 e 1900 foram o ponto alto para os carros elétricos nos Estados Unidos, já que seus números de vendas superavam os de qualquer outro tipo de veículo. Um dos exemplos era o 1902 *Phaeton*, produzido pela *Woods Motor Vehicle Company of Chicago*, cuja autonomia era de 29 km e possuía uma velocidade máxima de 22 km/h, vendido ao valor de dois mil dólares da época (BELLIS, 2012).

A *Woods Motor Vehicle Company of Chicago* também foi responsável pela produção do primeiro carro híbrido em 1916, com o uso conjunto de um motor de combustão interna e um motor elétrico (BELLIS, 2012).

Até os anos de 1900 os carros elétricos possuíam várias vantagens que justificavam a sua popularidade. Eles não vibravam, não emitiam odores e nem barulhos característicos de motores a combustão interna. Também não necessitavam de troca de marchas, já que a transmissão era direta entre o motor e as rodas, coisa que era diferente e complicada de se fazer nos outros tipos de carro. Outro ganho dos carros elétricos em comparação aos de combustão interna era a não necessidade de partida manual, processo trabalhoso e que poucos conseguiam realizar (BELLIS, 2012).

Os carros a vapor além de necessitarem paradas mais constantes para reposição da água, também tinham o problema de precisarem aquecer antes de poderem ser utilizados, processo que poderia levar até 45 minutos em manhãs frias (BELLIS, 2012).

As únicas estradas possíveis de se trafegar ficavam nas cidades, justamente o campo de ação dos carros elétricos, já que fora das cidades não havia meios de se recarregar as baterias, limitando a sua autonomia (BELLIS, 2012).

Veículos elétricos mais populares começavam a aparecer no mercado americano, sendo inicialmente carruagens luxuosas introduzidas de um motor elétrico e que chegavam ao custo de US\$3.000, contrastando com os US\$1.000, em valores da época, dos modelos mais simples. Assim a década de 20 foi a época de glória para os carros elétricos, tendo o pico de produção em 1912 (BELLIS, 2012).

2.1.2.2 A decadência (1912-1930)

Ao final dos anos 20, o carro elétrico, que se acreditava ter um futuro promissor principalmente nos Estados Unidos, perdeu força. Foram vários os fatores que levaram ao anos obscuros essa tecnologia.

Nessa época as cidades antes desconectadas, agora possuíam um sistema de rodovias que permitiam o acesso de mais pessoas e veículos, porém somente aqueles de grande autonomia poderiam percorrê-las, um dos pontos fracos dos carros elétricos (BELLIS, 2012).

O *Texas Oil Boom*, com a descoberta das reservas de petróleo no estado do Texas nos Estados Unidos, contribuiu para a disseminação da gasolina que abastecia os carros com motor a combustão interna, barateando o valor do combustível. O preço da eletricidade ainda era caro e restrito a poucos, enquanto o acesso à gasolina era mais fácil graças ao crescimento dos postos de abastecimento (BURROUGH, 2009).

No ano de 1912 o inventor americano Charles Franklin Kettering inventava o acionamento elétrico para os motores a combustão interna, eliminando a necessidade do trabalhoso serviço de arranque manual do motor, fato que ajudou ainda mais a popularização dos modelos (LESLIE, 1980).

Em 1908 era introduzido no mercado o Modelo T da Ford, figura 18, juntamente com a filosofia da linha de montagem introduzida por Henry Ford, que tornou o veículo com motor de combustão interna muito mais acessível. Em 1912 o preço de um carro elétrico nos EUA era de US\$1.800, enquanto um modelo da Ford poderia ser adquirido entre US\$500 e US\$1.000, em valores da época (BRINKLEY, 2003).

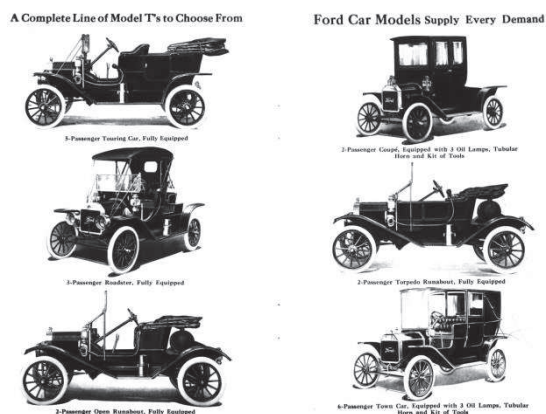


Figura 18: Ford Modelo T com suas variações

Fonte: FORDMODELT, 2013

Com esses fatores a produção dos carros elétricos se tornou impraticável e sua popularidade também deixou de existir, deixando até os seus desenvolvimentos em esquecimento por longas décadas.

2.1.2.3 Os anos obscuros (1930-1960)

A explosão da acessibilidade de carros com motores a combustão fez com que os caríssimos carros elétricos sumissem, e nenhum fator colaborava para a competitividade dos elétricos. Somado a isso têm-se o impacto causado pela Segunda Guerra Mundial, onde a produção foi toda voltada para máquinas operadas a motores a combustão.

Empresas de veículos elétricos foram compradas por grandes corporações automotivas como a GM, com o intuito de fecharem suas portas ou apenas adquirir as tecnologias para aplicarem nos modelos com motor à combustão interna.

Com o surgimento de crises na década de 60, que envolviam os combustíveis vitais para os motores de combustão interna, a necessidade de um veículo movido por uma fonte alternativa era inevitável, e então é que os veículos elétricos voltam a pauta e são novamente estudados e produzidos.

2.1.2.4 A redescoberta (1960-1990)

O mercado até então era dominado pelos carros movidos a motor de combustão interna, dependentes de combustíveis fósseis como a gasolina. A partir do momento que esses combustíveis ofereceram instabilidade na produção, veículos movidos à combustíveis alternativos se fizeram necessários, fazendo com que os veículos elétricos fossem “redescobertos”.

Juntamente, políticas que visavam a redução das emissões de gases poluentes dos motores de combustão interna tomaram forma, fortalecendo as ideias de veículos limpos (BELLIS, 2012).

No início dos anos 60 novos projetos de veículos elétricos começaram a tomar forma. Dentre eles destacam-se o caminhão da *Batronic Truck Company* que em 1964 possuía uma velocidade máxima de 40 km/h, autonomia de 100 km e capacidade de carga de 1100 kg (BELLIS, 2012).

Outros dois modelos de carros elétricos mostravam que estavam a frente de sua época.

O primeiro deles é o CitiCar, Figura 19, modelo produzidos entre os anos de 1974 e 1977 pela *Sebring-Vanguard*. Possuía espaço para dois ocupantes, velocidade máxima de 70 km/h e autonomia de 90 km (TAYLOR, 1995), e até o ano de 2011 era o carro elétrico mais vendido na história dos Estados Unidos (BELLIS, 2012).



Figura 19: Sebring-Vanguard CitiCar
Fonte: EVMUSEUM, 2009

Explorando a mesma fórmula, existia o Elcar da *Elcar Corporation*, conforme mostra a Figura 20, que criou um carro com velocidade máxima de 72

km/h, autonomia de 96 km e com um custo de US\$ 4.000 e US\$ 4.500 (BELLIS, 2012), valor próximo de um carro médio da época (US\$ 4.250) (THEPEOPLEHISTORY, 2013).



Figura 20: Elcar da Elcar Corporation

Fonte: THENEWMPRIVATE, 2010

2.1.2.5 A luta pela sobrevivência (1990-2000)

Motivada ao longo dos anos 70 e 80, a pesquisa por melhores soluções para os carros elétricos fez com que na década de 90 grandes indústrias automotivas ensaiassem a produção em massa desses modelos. Essas empresas contratavam ou compravam pequenas empresas de desenvolvimento e convertiam seus projetos em um próprio modelo.

Nos Estados Unidos, onde a necessidade por alternativas aos combustíveis derivados do petróleo era maior, surgiram políticas para a produção de veículos mais eficientes, dentre elas a CARB, *California Air Resources Board*, uma agência do estado da Califórnia que visava a produção a longo prazo de veículos com nenhuma emissão de poluentes devido aos seus propulsores (ARB, 2010).

No ano de 1990 é lançado o GM EV1, Figura 21, um carro elétrico para duas pessoas com uma autonomia de 160 km (Gen I) e 220 km (Gen II) utilizando inicialmente baterias de chumbo-ácido e posteriormente as de níquel-hidreto metálico produzidas pela *Ovonic*.



Figura 21: GM EV1

Fonte: DIGITALTRENDS, 2012

A GM optou por vendê-lo pelo método de *leasing*, ou seja, a GM era detentora dos carros e por meio de um contrato de aluguel oferecia o modelo ao público, sendo que ao término do contrato o usuário poderia optar por estender o contrato, comprar o carro ou devolvê-lo a GM com o pagamento de uma taxa (BCB, 2012) (WITZENBURG, 2008).

A princípio o carro gerava incertezas, pois para o perfil norte-americano um carro com a autonomia do EV1 não seria satisfatório, embora todos os seus usuários estivessem satisfeitos. A maioria dos clientes o utilizava como segundo veículo da família, utilizando-o para fazer os percursos do dia a dia, e quando era necessário um maior deslocamento, o carro de motor a combustão era utilizado (WITZENBURG, 2008).

O EV1 poderia ser o primeiro sucesso da produção de carros elétricos pela indústria moderna, porém seu fim não teve nenhuma glória. A produção do modelo foi encerrada no ano de 1999 e em 7 de fevereiro de 2002 foi anunciado que a GM iria retirar todos os EV1s das ruas ao término dos contratos de *leasing*. E assim foi feito, onde todos os EV1 foram retomados pela GM e destruídos para que não houvesse a possibilidade de retorno da circulação deles pelas ruas (PAINE, 2006).

Os motivos da GM ter encerrado o projeto podem ser resumidos em três:

1. A indústria automotiva americana recorreu do CARB, fazendo-o perder a sua validade;
2. Leis obrigavam as indústrias a manter um estoque de peças de reposição para todos os veículos que produzissem, o que logo

geraria custos muito altos para a GM manter um estoque para os EV1s;

3. O sucesso de empresas petrolíferas e indústrias automotivas americanas, promovendo uma propaganda negativa dos carros elétricos (PAINE, 2006).

O EV1 de um modo geral mostra o cenário ocorrido no final do século XX, sendo que embora o apelo por carros com propulsores alternativos fosse grande, muitas empresas bloqueavam o seu avanço, fazendo mais uma vez com que os carros elétricos perdessem seu lugar de destaque, lugar que somente alguns anos depois voltariam a retomar.

2.1.2.6 A nova era (2000-2013)

A presença dos carros elétricos nos anos 2000 era discreta, em sua maioria aparições de protótipos em salões automotivos ou pequenos contratos de *leasing*, até que no ano de 2010 é lançado o Nissan Leaf, Figura 22, o primeiro carro familiar de 4 portas, com emissões de gases nula, produzido em massa (NISSAN, 2013).



Figura 22: Nissan Leaf

Fonte: NISSANUSA, 2013

O Leaf, vendido nos EUA ao preço de US\$ 29.650 na versão básica, possui uma autonomia de 160 km graças às suas baterias de Íon-Lítio as quais podem ser recarregadas ao nível de 80% em apenas meia hora com a utilização da recarga rápida, método que será posteriormente apresentado (NISSAN, 2013).

No mesmo ano de 2010, outro lançamento teve destaque, o Mitsubishi i-MiEV, Figura 23, a versão elétrica do já existente Mitsubishi i.



Figura 23: Mitsubishi i-MiEV

Fonte: MITSUBISHI-MOTORS, 2013

O i-MiEV, vendido nos EUA ao preço de US\$ 29.125 tem uma autonomia de 100 km e igualmente ao Nissan Leaf utiliza baterias de Íon-Lítio, podendo também reabastecer ao nível de 80% em meia hora (MITSUBISHI, 2013).

Esses dois modelos, demonstram uma nova iniciativa da indústria automotiva em fornecer veículos puramente elétricos. Incentivos dados pelos governos também auxiliam na disseminação de tais veículos, provando que o caminho está aberto para a expansão da tecnologia.

2.2 BATERIAS UTILIZADAS

Como visto anteriormente, as baterias estão intimamente ligadas com a evolução dos carros elétricos, tendo sua autonomia baseada na durabilidade das

mesmas. Porém antes de analisar-se cada bateria empregada, será visto como funcionam esses equipamentos.

2.2.1 O que é bateria?

Uma célula eletroquímica é um reator químico contendo materiais reativos e eletricamente condutores, que reagem de uma forma controlada para produzir eletricidade de corrente contínua.

Em uma pilha ou bateria primária, a reação geralmente não é reversível, ou seja, após a descarga a pilha ou bateria não pode ser recarregada pelo fornecimento de corrente na direção inversa, ou no máximo pode ser recarregado para apenas uma pequena fração da quantidade inicial da energia disponível a partir da primeira descarga, devido à não-reversibilidade das reações químicas no interior das células da bateria. Baterias primárias são geralmente utilizadas uma vez e depois substituídas por novas pilhas ou baterias.

Uma célula ou bateria secundária contém substâncias químicas que permitem uma reação em sentido inverso de descarga, ocorrendo quando a corrente de carregamento é fornecida à célula. Assim, após a descarga, a célula pode ser restaurada para quase o seu valor original de energia pela aplicação da corrente de carga. Esta atividade de carga / descarga pode ocorrer por vários ciclos, dependendo da tecnologia de bateria.

A tensão elétrica gerada por uma célula eletroquímica depende dos tipos de produtos químicos envolvidos nas reações, enquanto que a energia (em Wh watt - hora) depende da quantidade e da natureza dos produtos químicos que constituem a célula.

A capacidade da célula para fornecer energia, em watts - W (tensão x corrente), é determinada por vários fatores incluindo a composição química da célula, a construção de células, temperatura, etc

Uma bateria é tecnicamente uma cadeia de células eletroquímicas, ligadas em série para atingir uma maior tensão. As baterias podem ser referenciadas tanto pela química das células, bem como a tensão desenvolvida (KOPERA, 2004).

2.2.2 Elementos básicos

O ânodo é o eletrodo onde a oxidação ocorre e elétrons são enviados para fora da célula para o circuito externo.

O cátodo é o eletrodo onde ocorre a redução e os elétrons retornam do circuito externo à célula.

Em uma célula primária, o ânodo é o eletrodo negativo e o cátodo é o eletrodo positivo. Em uma célula secundária, quando estiver ocorrendo a recarga, o eletrodo negativo torna-se o cátodo e o eletrodo positivo torna-se o ânodo.

O eletrólito serve como o caminho para completar o circuito elétrico no interior da célula, através do transporte de íons de um eletrodo para o outro.

Os reagentes que formam os eletrodos (material ativo) podem ser gasosos, líquidos ou sólidos, já o eletrólito pode ser líquido ou sólido (KOPERA, 2004).

2.2.3 Componentes básicos de uma célula

Eletrodos: devem ser condutores. A maioria dos compostos utilizados como materiais ativos positivos (especialmente os óxidos) em baterias convencionais não são bons condutores elétricos e por isso devem ser misturados com um composto ou suportados por redes ou malhas condutoras, incluindo materiais aditivos como grafite, chumbo, níquel, cobre, etc

Eletrólito: deve ser uma solução condutora iônica.

Separador: proporciona isolamento físico entre os eletrodos, para evitar curto-circuito e para separar as reações de eletrodos uma da outra. Sua estrutura também deve ser capaz de permitir o fluxo de íons para permitir o fluxo de corrente.

Invólucro ou embalagem: sustenta e protege todos os eletrodos da bateria, eletrólitos, terminais, dutos, etc (KOPERA, 2004).

2.2.4 Funcionamento básico

Na Figura 24 pode-se observar o processo de descarga e carga de uma célula.

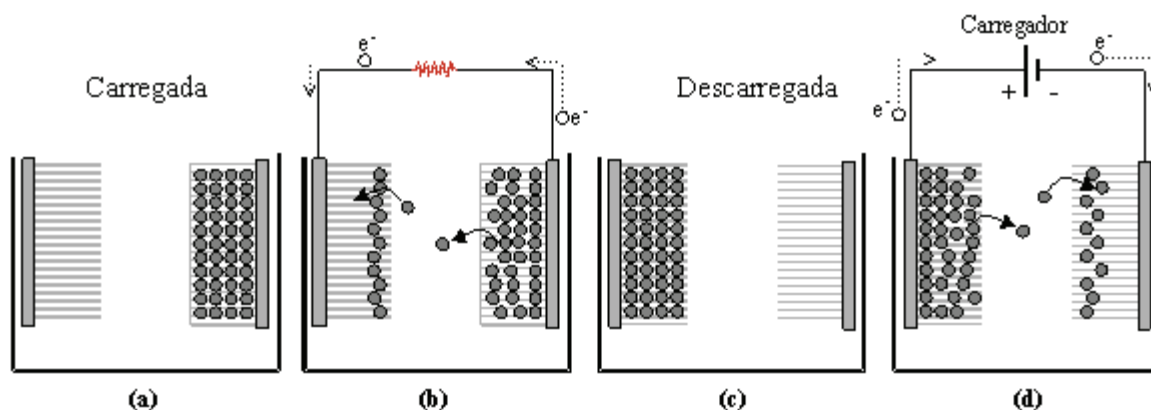


Figura 24: Processo de descarga e carga de uma célula de bateria.
Fonte: fisica.uel.br (adaptado), 2012

- Nessa etapa a célula encontra-se totalmente carregada;
- Durante a utilização os elétrons migram de um eletrodo para outro, gerando um fluxo de corrente pelo circuito;
- O fluxo cessa quando não há mais a transferência de elétrons entre os eletrodos;
- Para recarregar é induzida uma corrente inversa, forçando os elétrons a fazerem o percurso contrário.

Entendido o que constitui e o funcionamento de uma bateria, a próxima etapa será analisar detalhadamente os tipos empregados em carro elétricos. Hoje em dia os três modelos mais comuns equipando os veículos elétricos produzidos são: Chumbo-Ácido, Hidreto Metálico de Níquel (Ni-Mh) e as de Íons de Lítio (Li-ion) (LAMPTON, 2013).

2.2.5 Chumbo-Ácido

2.2.5.1 Histórico

A bateria de chumbo-ácido foi inventada pelo físico francês Gaston Planté no ano de 1859 e foi a primeira forma de armazenamento de energia elétrica que poderia ser recarregada ao se aplicar uma tensão inversa em seus potenciais. O primeiro modelo de Planté consistia em duas placas de chumbo, separadas por tiras de borracha enroladas em uma espiral e mergulhadas em uma solução a 10% de ácido sulfúrico. Um ano após o invento, Planté apresentou a bateria à *Academy of Sciences*. Ela consistia em nove elementos agrupados em uma caixa e com seus terminais conectados em paralelo, conforme pode ser visto na Figura 25. Os primeiros usos destas baterias foram para manter as luzes acesas dos vagões de trem quando estivessem em uma parada temporária numa estação (ROBERGE, 2013).



Figura 25: Bateria de Gaston Planté
Fonte: ROBERGE, 2013

Inicialmente a capacidade era limitada, pois a placa positiva possuía pouco material ativo, susceptível a eletrólise. Em 1881 um grupo de pesquisadores liderados pelo engenheiro químico francês Camille Alphonse Faure, desenvolveu uma placa positiva formada por uma malha de chumbo que era então preenchida por um óxido de chumbo (PbO₂) em pasta. Essa configuração favorecia a troca de elétrons, melhorando o desempenho da bateria, além de facilitar o processo de produção em massa da bateria (ROBERGE, 2013).

Em 1970 foi desenvolvida a bateria de chumbo-ácido livre de manutenção que poderia ser operada em qualquer posição. Isso se dá ao fato da solução de ácido sulfúrico ser embebida nos separadores, assim mantendo contato permanente da solução com as placas. Foram adicionados também válvulas de segurança que eliminavam os gases resultantes das reações químicas (BUCHMANN, 2006).

2.2.5.2 Funcionamento

Durante a descarga, ou seja, durante o uso da bateria, ambos os eletrodos tornam-se sulfato de chumbo (PbSO₄) e o eletrólito torna-se menos ácido ao ter seu ácido sulfúrico reagido, restando basicamente a água. O processo de descarga ocorre com os elétrons saindo da placa negativa (ânodo), indo para o circuito que está exigindo a corrente e retornando a bateria pela placa positiva (cátodo) (HAMMACK, 2012).

O processo químico segue as seguintes equações:

Eletrodo Negativo (Ânodo)



Eletrodo Positivo (Cátodo)



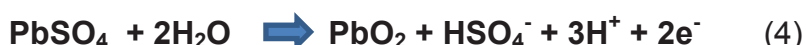
Desse modo a bateria estará totalmente descarregada quando ambos os eletrodos forem compostos por sulfato de chumbo.

Para o processo de carga, deve-se introduzir uma tensão reversa sobre os terminais da bateria, incitando assim o processo químico inverso, ocorrido conforme as seguintes equações:

Eletrodo Negativo (Ânodo)



Eletrodo Positivo (Cátodo)



Assim nota-se que quando a bateria estiver totalmente carregada, o eletrodo negativo será composto por chumbo e o positivo por óxido de chumbo.

Embora o equacionamento seja completo, na prática a bateria não se descarrega nem se recarrega completamente, pois sempre existirão resíduos ou moléculas que não poderão voltar ao sistema devido à geometria da construção da bateria. Além disso, existe um dispositivo que impede a total carga da bateria, evitando a produção em grande quantidade de gases gerada pela eletrólise da água presente (BUCHMANN, 2006).

Cada unidade da bateria é capaz de gerar 2 volts de tensão, logo para se obter uma bateria com maior tensão, são colocadas várias unidades conectadas em série. Para uma expansão da quantidade de energia armazenada, colocam-se várias unidades conectadas em paralelo (HAMMACK, 2012).

2.2.5.3 Características

Existem várias formas de construção da bateria de chumbo-ácido, dependendo da aplicação em que ela for inserida. Para o trabalho aqui proposto, onde um carro elétrico irá necessitar de constantes ciclos de carga e descarga, o foco será na arquitetura *deep-cycle*.

Esse tipo de bateria possui separadores e placas (ânodo e cátodo) com uma espessura menor que o convencional, contendo material ativo em maior concentração, desse modo a bateria se torna mais resistente aos constantes ciclos

de carga e descarga, pois existe maior superfície de contato favorecendo a reação química. Aspecto diferente ao se comparar com as baterias presentes nos carros de motor a combustão responsáveis por acionar o motor de arranque, sendo nesta a presença de uma maior capacidade de corrente num curto período de tempo é mais importante que o número de ciclos, fazendo com que as placas sejam mais espessas para poderem conduzir melhor a alta corrente demandada (NAWS, 2012).

Uma bateria *deep-cycle* é projetada de modo a entregar de 50% a 80% da sua carga nominal, de acordo com o fabricante. Existe uma relação direta entre o número de ciclos que uma bateria pode aguentar e a quantidade de carga demandada a cada ciclo, conforme pode ser visto no Gráfico 01 a seguir (NAWS, 2012).

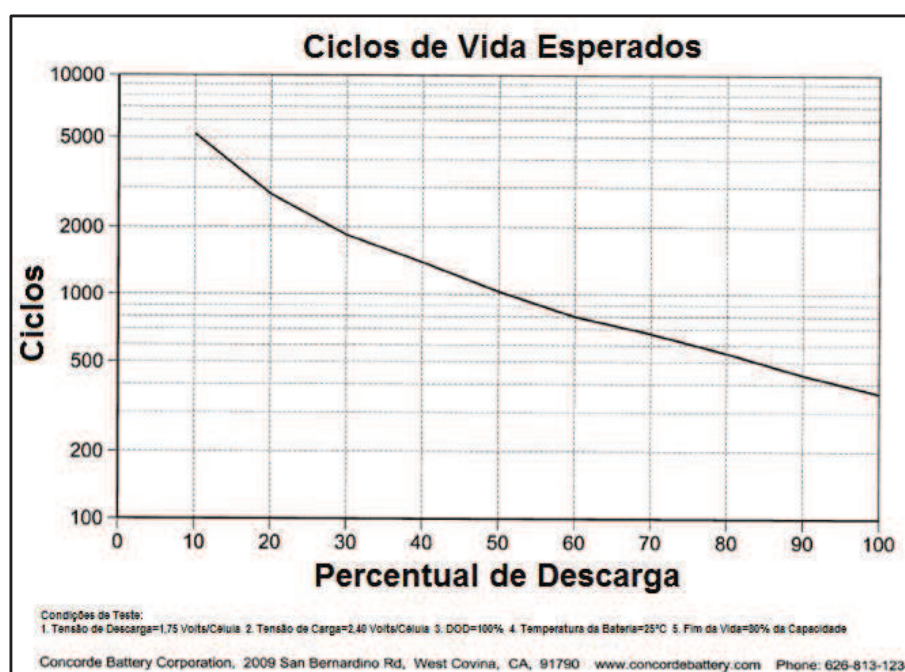


Gráfico 01: Ciclos de Vida Esperados

Fonte: ECEE, 2013 (adaptado)

Portanto para de manter uma vida longa da bateria deve-se minimizar o percentual de descarga. Um valor considerado ideal para se ter o melhor aproveitamento da bateria é de 50% de descarga, levando a bateria a ter uma vida média de 1000 ciclos (NAWS, 2012).

Como essas baterias são projetadas para fornecer carga por um período maior de tempo, sua recarga segue o mesmo princípio, não permitindo uma recarga rápida por uma alta corrente, assim o tempo de recarga fica entre 8 e 16h (BUCHMANN, 2006).

O Gráfico 02 abaixo mostra o processo ideal para a carga de uma célula de chumbo-ácido.

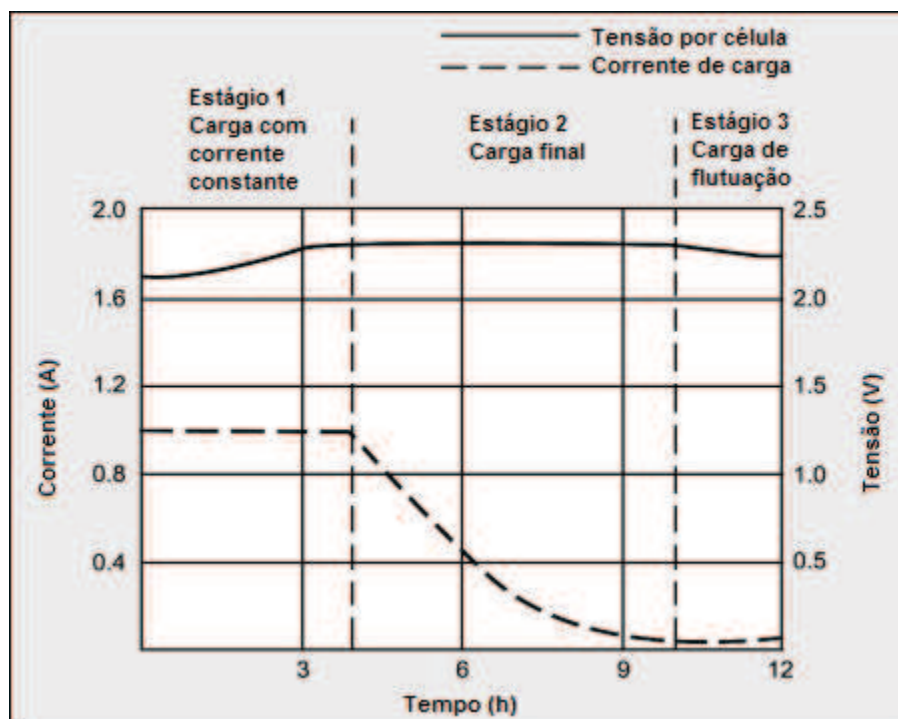


Gráfico 02: Procedimento de Carga – Chumbo Ácido

Fonte: BUCHMANN, 2006 (adaptado)

Como pode ser visto, o processo de carga ocorre em três estágios:

1. A célula é submetida a uma tensão crescente até o valor ideal, e a corrente é mantida constante. Isso se mantém durante um tempo de aproximadamente 4 horas;
2. Neste estágio ocorre uma manutenção da tensão da célula e a corrente é gradualmente diminuída, assim garantindo a completa carga. Ao final de aproximadamente 9 horas a bateria já pode ser desconectada e ser colocada em uso, caso seja mantida conectada, ela passará para o próximo estágio;
3. Nesse momento a célula já se encontra com toda a sua carga útil, é mantida uma tensão menor e uma pequena corrente para evitar o descarregamento devido às resistências internas (BUCHMANN, 2006).

Baterias de chumbo-ácido não possuem efeito memória, ou seja, independente do percentual em que a carga da bateria esteja a recarga não irá afetar o seu desempenho, ao contrário de uma bateria de Níquel-Cádmio que requer a completa descarga antes de uma nova carga completa (NAWS, 2012).

As vantagens da bateria de chumbo-ácido são:

- Barata e simples de se produzir;
- Tecnologia madura e confiável;
- Pouca perda de carga ao longo do tempo;
- Requer pouca manutenção;
- Não possui efeito memória.

Em contra partida ela possui certas desvantagens:

- Baixa densidade de energia;
- Permite poucos ciclos completos, limitando o seu tempo de vida;
- Trás danos a natureza se for imprópriamente manipulada, onde o chumbo e o ácido sulfúrico são danosos ao meio ambiente (BUCHMANN, 2006).

2.2.6 Hidreto Metálico de Níquel (NI-MH)

2.2.6.1 Histórico

O conceito básico da bateria de hidreto metálico surgiu na década de 1970 devido às pesquisas sobre o armazenamento de hidrogênio para uso como fonte alternativa de energia. Ligas metálicas foram estudadas de forma a capturar e liberar hidrogênio em volumes até mil vezes maior que o volume inicial. Pela seleção precisa e proporção dos elementos empregados, essa operação poderia ocorrer em condições de temperatura e pressão ambiente (LAWSON, 2005).

Essas baterias, que utilizavam o hidrogênio, possuíam um alto número de ciclos de vida e uma energia específica razoável, porém necessitavam de tanques para armazenar o hidrogênio comprimido, além de lidar com a catálise de

materiais nobres como a platina. Para solucionar esse problema, ligas de hidretos metálicos foram criadas para substituir um dos eletrodos, eliminando a necessidade dos tanques de armazenamento de hidrogênio (KOPERA, 2004).

Assim as pesquisas foram focadas em determinar uma liga hidreto metálica capaz de se carregar e descarregar de forma segura e com um custo acessível. Como essas baterias variam muito em função da liga escolhida, são várias as patentes atribuídas, mas a mais conhecida é a de Stanford Ovshinsky, em 1986, que se refere a bateria de Ni-Mh, a mais utilizada atualmente (LAWSON, 2005).

2.2.6.2 Funcionamento

O eletrodo positivo da bateria de Ni-Mh é constituído por hidróxido de níquel ($\text{Ni}(\text{OH})_2$), esse eletrodo possui um desenvolvimento maior que a própria bateria, pois ele já era utilizado nas baterias de Ni-Cd. O níquel utilizado é um material muito atrativo, já que permite a industrialização de placas de grande superfície, podendo dar a bateria uma alta taxa de descarga de corrente.

A reação do eletrodo de níquel não interage com o eletrólito, composto por uma solução de hidróxido de potássio (KOH), assim durante a utilização sua geometria não se altera, podendo entregar seu desempenho por praticamente todo o nível de carga da bateria. Somado a isso tem-se o fato do níquel não ser solúvel na solução do eletrólito, podendo retornar com facilidade ao eletrodo.

O eletrodo negativo possui basicamente o hidrogênio como material ativo, porém neste caso os íons de hidrogênio são armazenados nas diferentes estruturas de hidreto metálico, sendo a mais comum é a de classe AB_5 composta de lantânio e níquel (LaNi_5) (KOPERA, 2004).

Durante a descarga o processo químico que ocorre é o seguinte:

Eletrodo Negativo (Ânodo)



Eletrodo Positivo (Cátodo)

Para o processo de carga, deve-se introduzir uma corrente reversa sobre os terminais da bateria, incitando assim o processo químico inverso, ocorrido conforme as seguintes equações:

Eletrodo Negativo (Ânodo)**Eletrodo Positivo (Cátodo)**

Nas equações o “M” pode ser substituído por qualquer hidreto metálico (que comumente é utilizado o LaNi₅), variando assim a performance da bateria.

Cada célula de Ni-Mh pode fornecer 1,2V nominais, o que resulta num conjunto maior, se comparado com as baterias de chumbo-ácido ou de íons de lítio, de células para se chegar num potencial desejado (LAWSON, 2005).

2.2.6.3 Características

As baterias de níquel metal hidreto foram essenciais para o desenvolvimento dos carros elétricos, e durante a década de 1990 a maioria deles se utilizavam dessa tecnologia, sendo alguns utilizando-as por mais de 10 anos. A faixa de temperatura de operação dessas células foi estendida de modo a poder operar nesses veículos, com valores indo de -30°C até 75°C, temperaturas as quais são inviáveis para baterias de chumbo-ácido ou de íons de lítio.

Devido a sua construção, as baterias de níquel metal hidreto aceitam carga rápida, ou seja, podem chegar a 80% de sua capacidade em pouco mais de uma hora de recarga. O Gráfico 03 demonstra o comportamento dessa recarga (LAWSON, 2005).

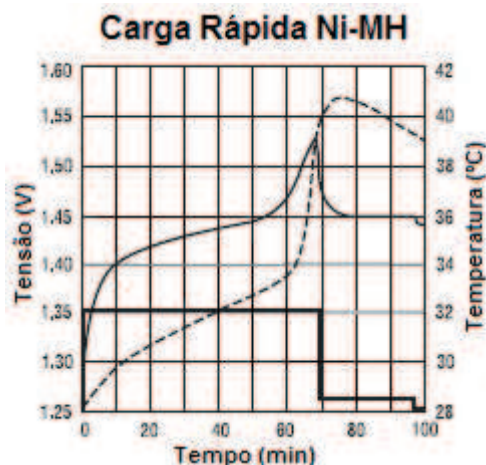


Gráfico 03: Curva de recarga rápida de uma célula de Ni-MH
 Fonte: linear.com (adaptado)

Conforme o Gráfico 03, durante a primeira hora a célula passa por um alto valor constante de corrente, até que sua carga chega a 80% e sua tensão máxima se aproxima. Nesse ponto a carga final é aplicada, com uma corrente menor, até completar a carga e deixar a bateria com uma carga de flutuação que impedirá a descarga devido às resistências internas.

Esse processo se assemelha com o carregamento das baterias de chumbo ácido, mas a diferença é que o período de tempo envolvido é muito menor, disponibilizando a bateria para o uso mais rapidamente.

Embora seja eficiente, esse tipo de recarga compromete a vida útil da bateria, sendo recomendado apenas quando não puder existir a possibilidade da carga normal, que levaria de 6 a 8 horas.

Esse tipo de bateria é sujeita ao efeito memória, porém com os últimos avanços e utilizações, essa desvantagem acabou sendo minimizada ao ponto de não mais inviabilizar a sua utilização (LAWSON, 2005).

As vantagens da bateria de Ni-MH são:

- São menos nocivas ao meio ambiente já que seus compostos são menos poluentes;
- Pode ser reciclada;
- Tem armazenamento e transporte simples, que exige menos precauções que os demais tipos de bateria;
- Aceitam recarga rápida.

E suas desvantagens são:

- Tempo de vida limitado, e ciclos seguidos no regime de *deep cycle* podem reduzir drasticamente a sua vida útil;
- O mecanismo de recarga deve ser mais desenvolvido, pois envolvem mais questões de risco que uma bateria de chumbo ácido, por exemplo;
- Manutenção frequente com custo elevado (BUCHMANN, 2006).

2.2.7 Íons de Lítio (Li-Ion)

2.2.7.1 Histórico

As primeiras experiências com baterias de lítio iniciaram em 1912 por Gilbert Newton Lewis, porém é somente no início da década de 1970 que a primeira bateria de lítio não recarregável é produzida e oferecida comercialmente.

Tentativas de se desenvolver uma bateria recarregável foram falhas até a década de 1980 devido a falta de segurança das células. Em função da instabilidade do lítio metal, principalmente durante o processo de carga, os estudos se voltaram para a utilização de íons de lítio, os quais possuem menor densidade de energia que o lítio metal, porém são mais estáveis.

Em 1991 a *Sony Corporation* comercializou a primeira bateria Li-ion e foi logo seguida por outros fabricantes. Hoje a tecnologia da bateria de íons de lítio é a mais promissora e que tem o maior crescimento dentre as atuais baterias (BUCHMANN, 2006).

2.2.7.2 Funcionamento

O eletrodo positivo da bateria é constituído por um composto contendo lítio, o mais comum e mais empregado é o LiCoO_2 , que possui uma das maiores densidades de energia, juntamente com a boa estabilidade.

O eletrodo negativo é basicamente constituído por um composto de grafite, esse material é escolhido por possuir uma forma fácil de estruturação e tem um número elevado de ciclos de vida (GPBATTERIES, 2007).

Durante a descarga, a reação química resultante é:

Eletrodo Negativo (Ânodo)



Eletrodo Positivo (Cátodo)



Para o processo de carga, deve-se introduzir uma tensão reversa sobre os terminais da bateria, incitando assim o processo químico inverso, ocorrido conforme as seguintes equações:

Eletrodo Negativo (Ânodo)



Eletrodo Positivo (Cátodo)



O “x” representado nas equações podem ser substituído por um número maior ou igual a 1, ou seja, numa mesma reação mais de um átomo de lítio pode estar envolvido.

Cada célula dessa bateria gera 3,2V nominais, isso significa um número menor de células para compor uma bateria com tensão mais elevada, e com isto os custos de construção e as perdas energéticas são menores.

2.2.7.3 Características

A bateria de íons de lítio vem se mostrando a melhor fonte de armazenamento de energia, e não é por menos que os carros elétricos produzidos em massa pelas grandes montadoras se utilizem dessa tecnologia.

A manutenção desse tipo de bateria é bem baixa, diferentemente dos demais tipos estudados. Ela não possui efeito memória e não é necessário realizar ciclos frequentes para de manter a eficiência total. O descarregamento devido ao tempo também é baixo.

Mesmo com muitas vantagens, algumas desvantagens são presentes. Sua construção deve ser cuidadosa pois a estrutura é frágil, além de necessitar de um circuito de monitoramento para evitar falhas e manter a segurança. Esse circuito protege a célula de atingir valores de tensão e temperatura muito superiores ou inferiores ao nominal, evitando assim o acúmulo de lítio metálico no interior da célula.

O ciclo de evolução dos compostos da bateria é bem rápido, podendo surgir novos modelos em períodos de seis meses, e isso colabora para o avanço da tecnologia, porém isto dificulta o estudo do modelo ao longo de vários anos (BUCHMANN, 2006).

Um dos grandes trunfos da bateria de íons de lítio é a sua capacidade de completar 80% de sua carga com aproximadamente meia hora de recarga. Esse fato corrobora para a utilização da mesma em veículos elétricos, que necessitam de uma fonte de energia que possa ser recarregada em pouco tempo, tornando o veículo útil o mais cedo possível.

O Gráfico 04 mostra como essa carga ocorre em seus vários estágios.

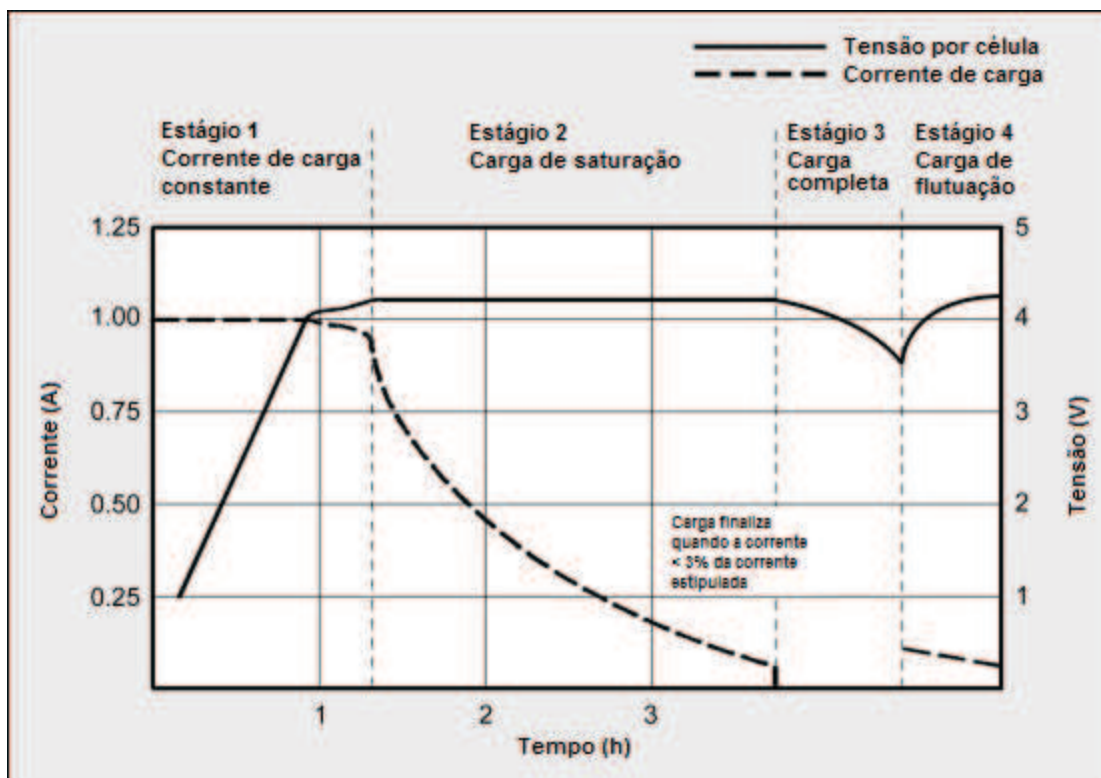


Gráfico 04: Procedimento de Carga – Li-Íon
Fonte: BUCHMANN, 2006 (adaptado)

Como pode ser visto, o processo de carga ocorre em quatro estágios:

1. A célula é submetida a uma tensão crescente até o valor ideal, e a corrente é mantida constante. Isso se mantém durante um tempo de 1 a 2 horas, nesse meio tempo a bateria já completou mais de 80% de sua carga;
2. Neste estágio ocorre uma manutenção da tensão da célula e a corrente é gradualmente diminuída, assim garantindo a completa carga. Ao final de aproximadamente 4 horas a bateria já pode ser desconectada e ser colocada em uso, caso seja mantida conectada, ela passará para o próximo estágio;
3. Durante um tempo a bateria não é submetida a nenhuma corrente, somente quando sua tensão cai muito é que uma nova carga é aplicada;
4. Essa carga de flutuação acontece com uma corrente moderadamente baixa, apenas para completar a carga que foi perdida pelas resistências internas desde a última carga (BUCHMANN, 2006).

Embora o processo de carga rápida seja eficiente, também diminui a vida útil da bateria, sendo recomendado apenas em casos que a carga lenta não pode ser aplicada.

Podemos então dizer que as vantagens da bateria de Li-Íon são:

- Alta densidade energética;
- Pouca perda de carga devido ao tempo e à resistência interna;
- Baixa manutenção.
- Carga rápida em aproximadamente meia hora.

E suas desvantagens:

- Requer um circuito de proteção que monitore a tensão e a temperatura;
- Alguns de seus componentes químicos são nocivos ao meio ambiente, porém podem ser sujeitos a delicada reciclagem;
- Processo de fabricação caro;
- Tecnologia com pouco tempo de estudo.

(BUCHMANN, 2006).

2.2.8 Comparativo

Na Tabela 01 concentram-se as informações e características dos três modelos de bateria empregados nos carros elétricos atuais e abordados anteriormente.

Tabela 01: Comparativo entre baterias

Características \ Tipo	Chumbo-Ácido	Ni-MH	Li-Íon
Densidade Energética (Wh/kg)	30 até 50	60 até 120	110 até 160
Resistência Interna (mΩ) (incluído circuitos periféricos)	100	200 até 300	150 até 250
Ciclo de Vida (até 80% da capacidade total)	500 até 600	300 até 500	500 até 600
Tempo de Recarga Normal	8-16h	2-4h	2-4h
Tempo de Recarga Rápida (até 80% da capacidade total)	Não suporta	1h	30min
Auto-descarga por mês (temperatura ambiente)	5%	30%	10%
Tensão da Célula (nominal)	2V	1.2V	3.2V
Temperatura de Operação (em regime de descarga)	-20 até 60°C	-20 até 60°C	-20 até 60°C
Manutenção	de 3 a 6 meses	de 60 a 90 dias	não necessita
Preço (valores atuais – jun/13)	US\$154 B.B. HR40-12 12V, 40Ah	US\$272 10x (Tenergy 1,2V 40Ah)	US\$240 4x (Winston 3.2V, 40Ah)
Valor por ciclo (Preço / Ciclos Max.) (valores atuais – jun/13)	US\$0.26	US\$0.54	US\$0.40
Uso comercial desde	1970	1990	1991

Fonte: BUCHMANN, 2006 (adaptado e atualizado)

Com as informações da Tabela 01 pode-se observar que cada bateria possui a sua virtude, porém a análise e a decisão de qual seria a mais adequada para o uso em um carro elétrico, logo justificando o direcionamento do dimensionamento para uma estação de recarga, deve observar os pontos principais para este tipo de utilização que seria: preço, peso, perdas e recarga.

Como pode ser visto a bateria de Li-Íon possui o maior custo dentre os demais modelos, porém esse valor diminui ao se comparar com os valores por ciclo, pois a bateria de Li-ion possui uma maior vida útil.

A bateria de Li-Íon possui a maior densidade energética, ou seja, com um menor peso pode acumular mais energia. Isso para um carro elétrico é fundamental, já que todo e qualquer peso que pode ser eliminado contribui para um melhor desempenho, portanto uma bateria que possui 320% (comparada com a

Chumbo Ácido) e 133% (quando comparada com a Ni-MH) a mais de energia por quilograma leva vantagem.

Quando considera-se a resistência interna, que geraria perda da eficiência da mesma, nota-se que a bateria de Chumbo Ácido possui o menor valor, porém a Li-Íon não fica muito distante, tendo seu valor mínimo 50% maior. Porém se desconsiderar os valores referentes ao circuito de proteção, a bateria de Li-Íon fica na liderança, pois seu circuito colabora com o valor de $100\text{m}\Omega$ (BUCHMANN, 2006), logo o circuito da bateria fica apenas com $50\text{m}\Omega$ de mínimo, ante ao $100\text{m}\Omega$ da Chumbo Ácido.

Outro trunfo da Li-Íon é a possibilidade de recarga rápida, levando apenas 30 minutos ante a 1 hora necessitada pela Ni-MH e a não existência para a de Chumbo Ácido.

Assim pode-se concluir que a melhor tecnologia de bateria que pode ser empregada nos carros elétricos é a de Íons de Lítio. Portanto um carregador para o fim de recarregá-las deve seguir as exigências da mesma, pois esse tipo de bateria exige um controle maior, com suas células muito susceptíveis ao desbalanceamento, caso em que uma das células pode atingir 100% de sua carga antes das demais, e caso o carregamento não seja controlado, pode existir a explosão desta célula. Desse modo o carregador deve possuir um eficiente controle de tensão e corrente de carregamento.

2.3 CARREGADORES AUTOMOTIVOS

Juntamente com as baterias, os carregadores tem papel fundamental no desenvolvimento dos veículos elétricos. O carregador deve ser eficiente, confiável, com alta potência, baixo custo e pequeno volume e peso, principalmente naqueles que são instalados nos próprios veículos.

O controle do carregador pode ser feito por circuitos analógicos, sistemas microprocessados, com processador de sinais digitais e de circuitos integrados específicos, dependendo de qual for o nível de utilização e dos custos envolvidos.

Um carregador para veículos elétricos deve utilizar a energia oriunda da rede de forma a não gerar distorções e um alto fator de potência, fazendo assim com que a energia utilizada tenha a maior qualidade possível, minimizando o impacto gerado pela conexão do veículo elétrico na rede.

Como dito, de acordo com a necessidade de potência do carregador, sua complexidade pode aumentar, assim como o seu custo. Atualmente a maioria dos veículos elétricos utiliza um carregador monofásico embarcado para recarregar as suas baterias por ser a forma mais prática.

Os carregadores possuem diferentes níveis de classificação que envolvem a sua potência, tempo de recarga, local, custo, equipamento e efeitos sobre a rede. A seguir são descritas as características de cada nível, de acordo com YILMAZ e KREIN (2013).

2.3.1 Nível 1

Este nível é relacionado ao recarregamento mais lento, se valendo de entradas de energia monofásica com valores de 127V / 15A com aterramento, especificação encontrada na maioria das tomadas de uso comum hoje instaladas na maioria das residências, e portanto nenhuma mudança estrutural é exigida para a conexão de um carregador desse nível.

Neste nível já ocorre a aparição do conector padrão da norma SAE J1772. Este conector tem como objetivo padronizar os métodos de carregamento, e sua estrutura comporta uma série de conexões com diferentes funções que serão mais detalhadamente estudadas adiante.

O impacto de um carregador desse nível na rede é mínimo, já que a energia demanda se dá por um longo período de tempo com uma baixa potência. Pode existir uma maior demanda nos períodos noturnos, quando o proprietário do veículo estiver em casa, ou em períodos diurnos quando o veículo estiver fora de casa, porém conectado enquanto o proprietário estiver trabalhando.

O custo de uma instalação pode variar entre US\$ 500 e US\$ 800, porém como a maioria dos veículos elétricos já possui o equipamento incorporado e

nenhuma alteração na instalação do ponto de recarga é necessária, esse custo acaba por ser reduzido à zero (YILMAZ; KREIN, 2013).

2.3.2 Nível 2

Este é o nível de carregamento considerado principal, é um intermediário entre o carregamento mais lento e o mais rápido. Nesse nível a tomada de energia é feita em até 240V / 80A com aterramento, porém diferentemente do Nível 1, uma infraestrutura dedicada para a função é necessária, não podendo ser utilizada uma tomada comum.

Como o carregamento exige mais potência por menos tempo, o impacto na rede é maior, com uma potência de quase 20 kW, picos de demanda podem surgir durante os carregamentos simultâneos dos veículos.

O valor para ser investido na instalação já é superior ao Nível 1, por exigir uma estrutura dedicada ao carregamento, e partem de US\$ 1.000 a chegam a US\$ 3.000 (YILMAZ; KREIN, 2013).

2.3.3 Nível 3

Neste nível a utilização da recarga pode tomar um modo mais comercial, se reservando a locais onde uma recarga rápida (com menos de 1 hora) seja atrativa, como estabelecimentos comerciais ou em postos de recarga (similares aos postos de combustíveis).

Este sistema trabalha tipicamente com tensões de 480V num sistema trifásico e requer um carregador externo ao veículo com conversão regulada de corrente alternada para contínua, já que a tensão fornecida para o veículo será em corrente contínua.

Como esse carregamento é feito em CC, o mesmo conector SAE J1772 recebe uma estrutura adicional que comporta dois pinos os quais flui corrente contínua em um alto valor, sendo denominado como Conector SAE J1772 Combo.

Difícilmente esse tipo de instalação é encontrada em residências, já que seu custo de instalação é altíssimo e não justifica a necessidade, já que um veículo pode permanecer mais do que 1 hora para a recarga. Os valores de infraestrutura ficam em torno de US\$ 30.000 e vão até US\$ 160.000, além dos custos de manutenção da estação de recarga (YILMAZ; KREIN, 2013).

A seguir tem-se a Tabela 02, que resume as aplicações de cada nível.

Tabela 02: Níveis de Potência de Carga

Níveis de Potência de Carga						
Níveis	Localização do carregador	Local de uso	Fonte de Energia	Nível de potência esperado	Tempo de Carga	Tecnologia do veículo
Nível 1 (Oportunidade) 120 Vca 240 Vca	No veículo Monofásico	Carregamento em casa ou no trabalho	Tomada de Uso Comum	1,4kW (12A) 1,9kW (32A)	4-11h 11-36h	VEHP (5-15kWh) VE (16-50kWh)
Nível 2 (Primário) 240 Vca 400 Vca	No veículo Monofásico ou Trifásico	Carregamento em tomadas privadas ou postos públicos	Tomada de Uso Específico	4kW (17A) 8kW (32A) 19,2kW (80A)	1-4h 2-6h 2-3h	VEHP (5-15kWh) VE (16-30kWh) VE (3-50kWh)
Nível 3 (Rápido) 208-600 Vac ou Vdc	Externo ao veículo Trifásico	Carregamento comercial, análogo a postos de combustíveis.	Tomada de Uso Específico	50kW 100kW	0,4-1h 0,2-0,5h	VE (20-50kWh)

Fonte: YILMAZ; KREIN, 2013

A norma SAE J1772 prevê que os carregamentos feitos em níveis 1 e 2 deverão ter o carregador presente no próprio veículo, e para o nível 3, devido a alta potência aplicada, o carregador deverá ser externo (YILMAZ; KREIN, 2013).

Como visto os carregamentos em níveis 2 e 3 podem ser atrativos por viabilizar o uso do veículo em menos tempo, porém exigem uma demanda maior de energia, o que pode causar grandes problemas para a rede que estiver alimentando o carregamento. Na Tabela 03 pode-se notar a potência que alguns veículos requerem de acordo com o tipo de carregamento.

Tabela 03: Características de Carga e Infraestrutura de Alguns Veículos Elétricos

Características de Carga e Infraestrutura de Alguns Veículos Elétricos									
	Tipo da bateria e Energia acumulada	Autonomia em ciclo elétrico	Tipo de Conector	Nível 1		Nível 2		Nível 3	
				Demanda	Tempo de Carga	Demanda	Tempo de Carga	Demanda	Tempo de Carga
Toyota Prius (VEHP)	Li-Ion 4,4 kWh	22,5 km	SAE J1772	1,4 kW (120V)	3h	3,8 kW (240V)	2,5 h	N/E	N/E
Chevrolet Volt (VEHP)	Li-Ion 16 kWh	64,4 km	SAE J1772	0,96-1,4 kW	5-8h	3,8 kW	2-3 h	N/E	N/E
Mitsubishi i-MiEV (VE)	Li-Ion 16 kWh	154,5 km	SAE J1772 CHAdeMO ¹	1,5 kW	14h	3 kW	7 h	50kW	0,5 h
Nissan Leaf (VE)	Li-Ion 24 kWh	161 km	SAE J1772 CHAdeMO ¹	1,8 kW	12-16h	3,3 kW	6-8 h	>50kW	0,25-0,5 h
Tesla Roadster (VE)	Li-Ion 53 kWh	394,5 km	SAE J1772	1,8 kW	>30h	9,6-16,8 kW	4-12 h	N/E	N/E

Fonte: YILMAZ; KREIN, 2013

Com essa Tabela 03 reforça-se o fato dos veículos atuais utilizarem as baterias de íons de lítio e também o fato do carregamento de Nível 2 ser mais atrativo, pois mesmo tendo um custo superior ao de Nível 1, fornece energia em um tempo mais viável para a reutilização do veículo.

2.3.4 Norma SAE J1772

Como citada, a norma SAE J1772 dita as características do conector que está envolvido na recarga do veículo, e com ela pretende-se criar um padrão definindo questões físicas, elétricas, protocolos de comunicação e requerimentos de performance para os conectores físicos de recarga de veículos elétricos.

O conector padrão exposto está exemplificado na Figura 26 a seguir.

¹ CHAdeMO foi o primeiro tipo de conector a suportar o carregamento de Nível 3, concorrendo em popularidade posteriormente com o SAE J1772 Combo, porém ambos realizam a mesma função, diferenciando apenas na forma de construção (YILMAZ; KREIN, 2013).



Figura 26: Conector Combo (AC+DC) SAE J1772
Fonte: YILMAZ; KREIN, 2013

Outro ponto que a norma indica é a localização do carregador, onde para os níveis 1 e 2 ele pode estar localizado no próprio veículo, e para o nível 3 é obrigatório que esse carregador seja externo, em função do seu tamanho e riscos envolvidos devido às altas potências exigidas (YILMAZ; KREIN, 2013).

2.3.5 Direcionalidade do carregador

Atualmente os carregadores possuem dois sentidos do fluxo de energia, pode tanto ser unidirecional, apenas carregando a bateria, como bidirecional, podendo utilizar a bateria como um acumulador temporário fornecendo a energia do veículo para a rede, sistema conhecido como “*vehicle to grid*” (V2G).

De concepção mais simples, os carregadores unidirecionais são mais baratos, tendo uma eletrônica embarcada de menor complexidade.

Os carregadores bidirecionais, entretanto, possuem muito mais funções devido a sua complexidade, já que além de carregar a bateria, ele tem a função de fornecer essa energia armazenada para a rede, e para isso monitora diversos pontos, como nível da bateria, demanda da rede e horários de pico. Esses modelos de carregadores, quando utilizados com o V2G, podem comprometer a vida das baterias por produzir um número maior de ciclos (YILMAZ; KREIN, 2013).

2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.4.1 Energia Solar

2.4.1.1 Tecnologias para aproveitamento da energia solar

Todos os dias o planeta Terra é irradiado pelo Sol, a energia que poderia ser obtida por esse fenômeno é maior do que o consumo de todos os habitantes do planeta (RUTHER, 2004), desse modo possui um grande potencial que pode ser aproveitado de diferentes formas.

2.4.1.1.1 Coletores solares térmicos para aquecimento de água

Os coletores solares térmicos aproveitam a radiação solar para captar diretamente o calor. A seguir pode-se notar na Figura 27 como funciona o sistema.

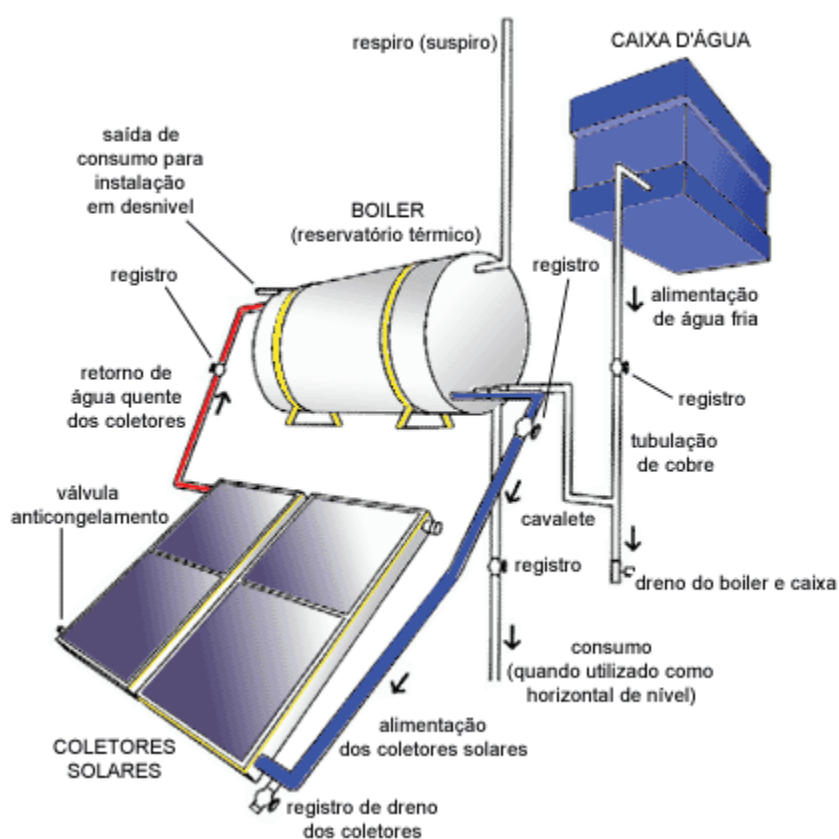


Figura 27: Sistema de Coletor Solar Térmico

Fonte: SOLETROL, 2013

Como podemos notar existe um circuito de água que pode ter o início considerado nos coletores solares. Esses são constituídos por uma placa que contém uma serpentina de cobre ou alumínio, pintada com um produto que facilita a absorção do calor oriundo do Sol, e esse aquecimento é transmitido para a água que circula pela serpentina.

Essa água quente é então enviada a um reservatório que se localiza num patamar acima dos coletores, pois assim por convecção a água acaba circulando automaticamente. Assim que existe a necessidade de água quente, ela é enviada a partir do reservatório e outro fluxo de água, geralmente vinda da rede, é inserida no sistema para ser aquecida (SOLETROL, 2013).

2.4.1.1.2 Concentradores solares térmicos para geração de energia elétrica

Os concentradores solares têm por função acumular em um ponto a radiação solar incidida em uma área, assim aquecendo muito mais este ponto.

Para aproveitar esse calor concentrado, são colocados tubos ou recipientes com fluídos como água ou soluções de sais, de modo que ao se aquecerem, fazem uma turbina funcionar, e essa por sua vez está conectada à um gerador que irá então produzir energia elétrica (RORIZ, 2011).

Na Figura 28 é apresentado o exemplo da usina solar de Ain Beni Mathar, localizada no Marrocos, capaz de produzir 20 MW em média.



Figura 28: Usina solar de Ain Beni Mathar

Fonte: SOLARSERVER, 2011

2.4.1.1.3 Módulos solares fotovoltaicos

Os módulos têm como função transformar a radiação solar diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, sem a necessidade de um meio intermediário de geração.

Através de painéis fotovoltaicos, a energia elétrica é emitida diretamente nos seus terminais, e assim aproveitada de diferentes maneiras que serão abordadas futuramente por este trabalho. Na Figura 29 tem-se um exemplo de uma usina solar que está entre as maiores 5 do mundo, a usina de Copper Mountain localizada a 60 km de Las Vegas, com uma capacidade instalada de 48MW.



Figura 29: Usina solar de Copper Mountain

Fonte: PV-TECH, 2013

2.4.1.2 Radiação solar

Para se entender como funciona o sistema de produção de energia elétrica a partir da radiação solar, é necessário iniciar-se pelo estudo da radiação em si e como ela é direcionada até as unidades que irão realizar a conversão da energia solar para elétrica.

A radiação solar é a forma de transmissão da energia do Sol através da propagação de ondas eletromagnéticas que viajam pelo espaço e atingem o planeta Terra. A constante solar, que é a intensidade média da radiação solar sobre uma determinada superfície, pode ter diferentes valores para diferentes locais.

A radiação que atinge a superfície terrestre pode se dar de três maneiras:

- Radiação Direta: radiação solar incidente em uma superfície sem meios intermediários, ou seja, a radiação incide plenamente sobre a superfície;
- Radiação Difusa: radiação solar que teve certa dispersão até atingir a superfície (como nuvens);
- Radiação devido ao Albedo: radiação solar refletida pelo solo e/ou objetos e construções ao redor da superfície.

A soma das três radiações nos dá a Radiação Global (NBR 10899, 2006).

Para a medição da radiação solar são utilizadas duas terminologias:

- Irradiância Solar: Quantidade de radiação solar a qual incide sobre a superfície, normalmente dada em watt por metro quadrado (W/m^2)
- Irradiação Solar: Integração da irradiância num período de tempo que geralmente é estipulado como um dia, dado em watt hora por metro quadrado por dia ($Wh/m^2/dia$) (NBR 10899, 2006)

Como a trajetória do Sol não é regular para todas as regiões do mundo, os níveis de radiação são diferentes para cada ângulo em que a superfície exposta é orientada. Assim as medições realizadas são feitas de um modo geral em duas situações, uma com o plano paralelo ao solo e outro com o plano inclinado numa mesma angulação que a latitude do local instalado e orientado para o equador, considerado o caso ideal de melhor incidência média para todos os dias do ano (RUTHER, 2004).

2.4.1.3 Atlas Brasileiro de Energia Solar

O Atlas Brasileiro de Energia Solar é um documento que faz parte do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), que visa criar um banco de dados para desenvolvimentos e pesquisas relacionadas à área de geração de energia elétrica solar ou eólica (PEREIRA et al, 2006).

Seus mapas abrangem todo o território brasileiro, demonstrando o potencial solar. Na Figura 30 a seguir é apresentado o mapa brasileiro e seus índices de irradiação solar sobre uma superfície horizontal. Já na Figura 31 pode-se observar os valores de irradiação solar sobre uma superfície orientada para o equador e com uma inclinação igual à latitude de cada ponto.

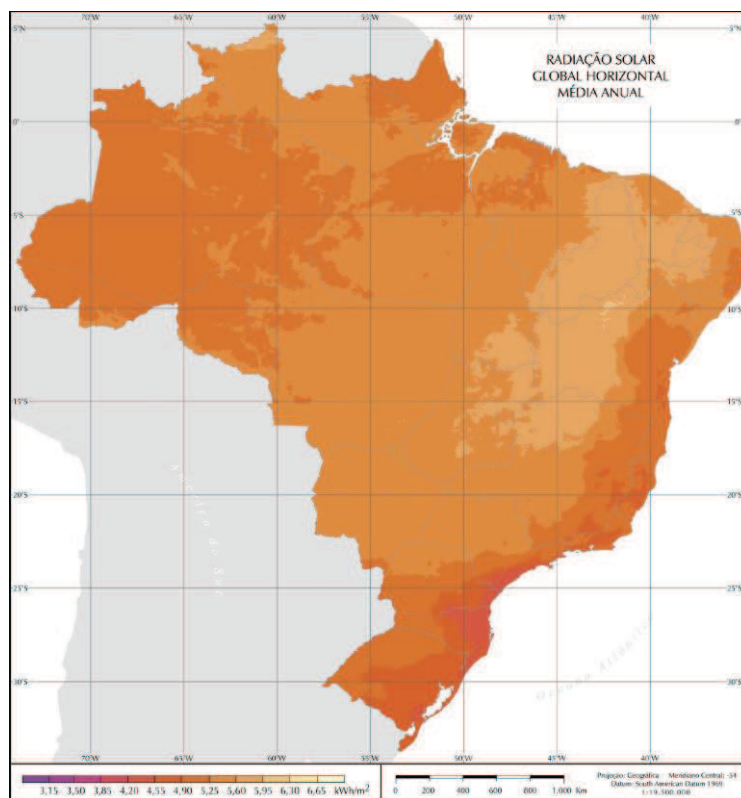


Figura 30: Radiação Solar Global Horizontal – Média Anual
Fonte: PEREIRA et al , 2006

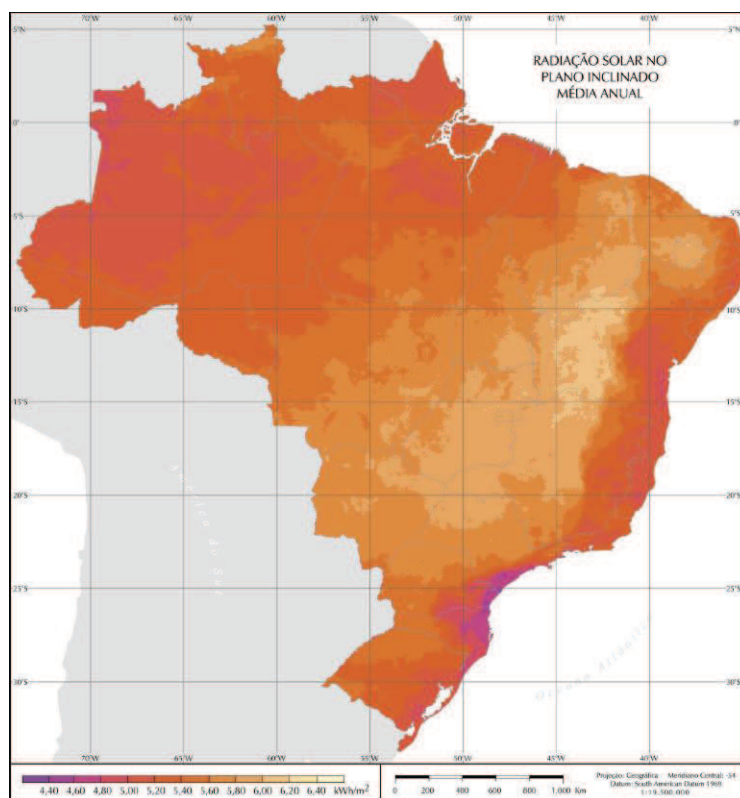


Figura 31: Radiação Solar Global no Plano Inclinado – Média Anual
Fonte: PEREIRA et al , 2006

2.4.2 Fundamentos da tecnologia fotovoltaica

2.4.2.1 Histórico

A origem do estudo fotovoltaico é do ano de 1839 quando Alexandre Edmond Becquerel relata o fenômeno fotovoltaico, que consiste em gerar eletricidade sob a incidência de luz sobre uma estrutura composta por semicondutores. Porém somente no ano de 1883 foram construídas as primeiras células fotoelétricas, por Charles Fritts, que cobriu o selênio semicondutor com uma camada extremamente fina de ouro de modo a formar junções. Essas células são a unidade fundamental no momento de transformar a radiação solar em energia elétrica. (JUNIOR, 2011)

A primeira produção industrial de células ocorreu no ano de 1956, porém sua evolução foi a passos curtos devido ao alto custo comparado às demais

fontes de energia, até que em 1973, com a crise do petróleo, os governos de países desenvolvidos deram mais atenção para esta tecnologia, estimulando a sua produção.

Com o término da crise do petróleo, essa atenção foi diminuída, retomada apenas na década de 1990 com o desenvolvimento crescente da indústria fotovoltaica, que trabalhava na demonstração da aplicabilidade de tal fonte energética. De lá pra cá as pesquisas vem tentando diminuir os custos de produção das células fotovoltaicas, seu principal ponto negativo.

Atualmente, o uso do silício cristalino, como material de uso majoritário, está presente em 95% do mercado de células fotovoltaicas, tendo um rendimento de 12 a 16% em escala comercial (NASCIMENTO, 2004).

2.4.2.2 O efeito fotovoltaico

Composta de minúsculas partículas de energia eletromagnética, os fótons são a matéria prima da luz, quando são absorvidos por uma célula fotovoltaica, que contém um material semicondutor, tais como silício ou platina, onde a energia do fóton é transferida para um elétron de um átomo presente na unidade solar. O elétron energizado é então capaz de escapar de seu vínculo com o átomo e gerar uma corrente elétrica. Isso deixa para trás um espaço vazio. Quando essa superfície é uma junção PN, um elétron é então forçado para esse espaço vazio, e assim o fluxo é realizado (MRSOLAR, 2012).

2.4.2.3 Tecnologias fotovoltaicas

Para então converter a energia solar em elétrica, são utilizados painéis fotovoltaicos, sendo esses painéis por sua vez constituídos por módulos individuais que também são formados por células fotovoltaicas, que são quem propriamente realizam a conversão. Comercialmente se disponibilizam módulos para a montagem

de painéis fotovoltaicos, e a tecnologia das suas respectivas células é o que os identificam.

2.4.2.3.1 Tecnologia Tradicional

A tecnologia tradicional na confecção de módulos fotovoltaicos consiste na utilização do silício cristalino (c-Si) como material constituinte, sendo essa tecnologia responsável por cerca de 80% da produção de módulos globalmente devido a sua extrema robustez e confiabilidade.

Existem duas tecnologias aplicadas ao silício cristalino. A primeira delas é o silício monocristalino (m-Si), que consiste no tratamento do silício cristalino com uma quantidade extremamente pura do elemento. Na Figura 32 tem-se o exemplo de um módulo que se utiliza dessa tecnologia.



Figura 32: Módulo fotovoltaico formado por m-Si

Fonte: SOLARPANEL-MANUFACTURER, 2013

Com essa tecnologia, as eficiências dos módulos de m-Si iniciam em 12% e podem chegar a 16% (ZYTECH, 2012) comercialmente. Existe uma tecnologia de m-Si que move os contatos da parte superior das células para uma parte de trás, desse modo menos área é perdida e a sua eficiência aumenta, embora o custo para essa mudança seja maior. Com isso módulos m-Si “*back contact*”, como são conhecidos, podem atingir eficiências de até 20,4% (SUNPOWER, 2011).

A segunda trata o c-Si com um processo menos dispendioso e mais rápido, produzindo o silício policristalino (p-Si), que possui uma eficiência menor, mas é compensado quando se analisa o custo de produção. Esse tipo de material é responsável por mais da metade dos módulos fotovoltaicos produzidos no mundo (RUTHER, 2004). Na Figura 33 tem-se o exemplo de um módulo que se utiliza dessa tecnologia.



Figura 33: Módulo fotovoltaico formado por p-Si

Fonte: SOLARPANEL-MANUFACTURER, 2013

Atualmente as eficiências deste tipo de módulo partem de 11% e chegam em 15% (VIKRAMSOLAR, 2013).

2.4.2.3.2 Tecnologia de Filmes Finos

A tecnologia tradicional anteriormente mencionada faz parte da maioria dos módulos fotovoltaicos produzidos, porém acredita-se que sua tecnologia já tenha se estabelecido, sendo apenas aperfeiçoados os métodos e barateada a produção.

As novas tecnologias que prometem um novo nível de eficiência são as de filmes finos, pois utilizam menos materiais e podem ser construídos em

superfícies curvas, essencial no momento que se quer um sistema fotovoltaico que se adapte a superfície sem comprometer a aparência da instalação.

Dentre elas podem se destacar três tecnologias: Silício amorfo hidrogenado (a-Si), Telureto de cádmio (CdTe) e o Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS) (RUTHER, 2004).

As pesquisas na utilização do a-Si já são de longa data e muitas de suas vantagens e desvantagens já foram pesquisadas e melhoradas gerando novos e mais eficientes tipos de células solares de a-Si (OLIVEIRA, 2008).

A seguir, na Figura 34, tem-se o exemplo de um módulo constituído por a-Si.

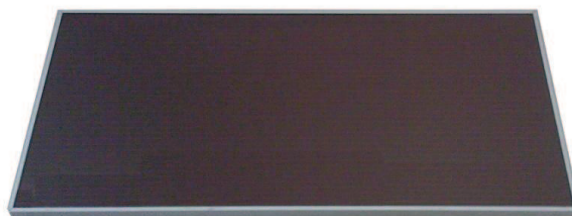


Figura 34: Módulo fotovoltaico formado por a-Si
Fonte: MADE-IN-CHINA, 2013

A tecnologia do Telureto de Cádmio é a mais recente concorrente para as a-Si e c-Si. Embora seu estudo já tenha se dado a vários anos, o seu uso em aplicações de grande porte começa a ser utilizado apenas atualmente, onde seu trunfo é que arquitetonicamente são mais atrativos, pois são menos impactante visualmente, tornando assim a instalação menos chamativa.

Embora seja de produção barata, a presença do cádmio no seu composto pode torná-lo menos atrativo do ponto de vista ambiental devido a sua toxicidade, porém menos material é gasto (se comparado com a a-Si) (RUTHER, 2004).

A eficiência de módulos constituídos por células de CdTe comercializados atualmente giram em torno de 8% e pode chegar a 11% (MEZA, 2013).

Na Figura 35 podemos ver o exemplo de um módulo que se utiliza do CdTe para a conversão da radiação solar em energia elétrica, onde nota-se que seu

visual é menos poluído que as demais tecnologias, logo a torna mais atrativa esteticamente.



Figura 35: Módulo fotovoltaico formado por CdTe

Fonte: EXPO21XX, 2013

A terceira tecnologia de filmes finos é a de Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS), que possui bons números de eficiência de conversão e assim como a a-Si e a CdTe, possuem uma boa aparência estética.

Dentre os filmes finos citados, essa é a tecnologia que possui a maior eficiência, logo é a que está em maior desenvolvimento pelos fabricantes, mesmo tendo sua matéria-prima escassa.

Assim como o CdTe, a composição dos CIS e CIGS possuem elementos químicos tóxicos, fato que tornaria preocupante caso a sua utilização atingisse níveis massivos.

As eficiências dos CIS/CIGS começam em 9% e podem chegar a 14% em módulos comerciais (MANZ, 2012).

Representada pela Figura 36 a seguir tem-se um módulo que utiliza a tecnologia dos CIS e CIGS para a conversão da radiação solar.



Figura 36: Módulo fotovoltaico formado por CIGS

Fonte: ELASSER, 2010

2.4.3 Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Para se aproveitar a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, várias configurações de ligação podem ser feitas, desde aproveitar diretamente a energia em corrente contínua até entregar essa energia para a rede elétrica.

Desse modo a NBR 11704:2008 classifica os sistemas fotovoltaicos de acordo com a Tabela 04 a seguir.

Tabela 04: Exemplos de classificação de sistemas fotovoltaicos

Tipo de sistema		Alimentação dos consumidores	Acumulação de energia elétrica	Componentes básicos	Aplicações típicas
Sistemas isolados	Puros	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica etc.
		Tensão alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial etc.
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletrificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação etc.
	Híbridos	Tensão contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária etc.
		Tensão alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial etc.
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
	Híbridos	Tensão alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia etc.
NOTA Todos os tipos de sistemas possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.					

Fonte: NBR 11704:2008

A classificação se inicia pelo método como o sistema irá se interligar com a rede pública de fornecimento de energia:

- Sistemas Isolados: não existe interligação com a rede, toda a energia produzida fica confinada no circuito de geração.
- Sistemas conectados à rede elétrica: existe a conexão do sistema de geração fotovoltaica com a rede pública.

Em seguida existe a divisão referente às fontes que irão gerar a energia:

- Sistemas Puros: a energia é puramente produzida pelos módulos fotovoltaicos.
- Sistemas híbridos: a energia é gerada pelo módulo fotovoltaico e por uma segunda fonte, como geradores eólicos.

A forma com que a energia irá ser utilizada, se em corrente contínua ou alternada, define mais uma divisão. Em seguida é visto se essa energia irá ser armazenada para uso posterior ou se só poderá ser utilizada enquanto existir geração. (NBR 11704, 2008)

2.4.4 Potencial fotovoltaico do estado do Paraná

Para se dimensionar um sistema fotovoltaico para uma determinada demanda, deve-se conhecer o potencial de geração do local onde o sistema deverá ser instalado.

Um estudo realizado por pesquisadores da UTFPR e PUCPR (Tiepolo et al, 2013) levantou esse potencial fotovoltaico para todo o estado do Paraná. Foram selecionadas 48 cidades dentro do estado, de forma a obter a cobertura mais otimizada dos dados. Nessas cidades foram levantados os valores de irradiação solar num plano inclinado com orientação para o norte geográfico, situação de melhor eficiência para sistemas conectados à rede, utilizando como base os dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar de 2006.

Com os dados mencionados e para um sistema de 1 kWp, com um *performance ratio* de 75%, ou seja, admitindo-se perdas (nos inversores, temperatura nos módulos fotovoltaicos, perdas nas conexões, etc) de 25% e G_{STC} (energia solar incidente na região do sistema fotovoltaico) de 1 kW/m², foi determinado o mapa mostrando o potencial fotovoltaico do estado, conforme mostrado na Figura 37.

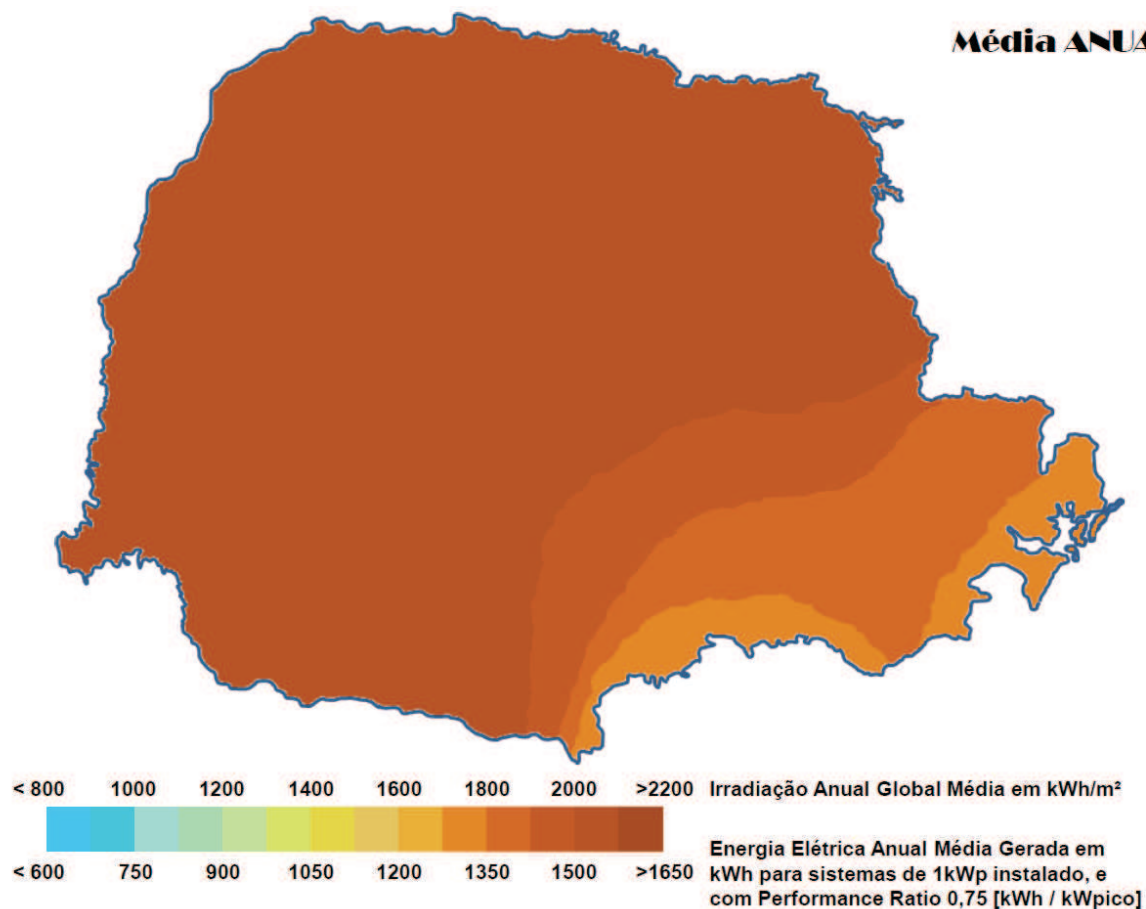


Figura 37: Mapa fotovoltaico do estado do Paraná

Fonte: TIEPOLO et al, 2013 (traduzido)

Com o mapa pode então se notar que, para um sistema de 1 kWp instalado conforme as descrições mencionadas, tem-se um mínimo de 1275 kWh/ano e um máximo de 1575 kWh/ano. Um ponto interessante a ser levantado é que o mapa segue as mesmas premissas da Comissão Européia para elaboração de mapas fotovoltaicos nos países europeus, utilizando a mesma escala de cores e escala, podendo assim ser comparado diretamente com os mapas europeus (TIEPOLO et al, 2013).

2.4.5 Custo para implementação de um sistema fotovoltaico

Os principais valores envolvidos no levantamento do custo para a implementação de um sistema fotovoltaico são os preços dos inversores, dos painéis fotovoltaicos e da instalação de todos os equipamentos (EPE, 2012). Para

cada valor de potência instalada, na Tabela 05 a seguir, retirada da Nota Técnica da EPE, é mostrado o custo para a implementação em dólares.

Tabela 05: Custo de investimento em sistemas fotovoltaicos – referência internacional (US\$/Wp)

Potência	Painéis	Inversores	Instalação e Montagens	TOTAL
Residencial (4-6 kWp)	2,23	0,57	0,70	3,50
Residencial (8-10 kWp)	2,02	0,50	0,63	3,15
Comercial (100 kWp)	1,74	0,42	0,54	2,70
Industrial (> 1000 kWp)	1,60	0,30	0,48	2,38

Fonte: EPE, 2012

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 INTRODUÇÃO

Como este trabalho tem por objetivo estipular os requisitos para o fornecimento de energia elétrica para o recarregamento de veículos elétricos em Curitiba, primeiramente deverá ser feito um estudo dos carros que estarão envolvidos no recarregamento, definindo quais os modelos e quantidade que estariam presentes na cidade, de acordo com o perfil socioeconômico, assim definindo qual seria o impacto da adição da demanda elétrica devido ao recarregamento de uma frota desse tipo de veículo.

O estudo dessa demanda se justifica para avaliar qual a demanda que poderia ser adicionada na matriz elétrica na região de Curitiba.

Com a demanda definida, o estudo se volta para os tipos de baterias que irão estar presentes nos veículos, desse modo indicando quais os carregadores automotivos estarão aptos a serem utilizados, mostrando também em quais níveis de recarga eles irão atuar.

A próxima etapa do estudo é a estimativa do potencial de geração fotovoltaica existente na região de Curitiba, a fim de detalhar qual o dimensionamento necessário de um sistema fotovoltaico para atender a demanda gerada pelo recarregamento.

Com o dimensionamento feito, serão então delimitados locais aptos a receber tais sistemas, mostrando as respectivas exigências para as instalações e como ela irá se integrar com a rede já oferecida pela concessionária de energia, para que tudo seja de acordo com as normas vigentes.

Com o sistema estipulado será por final feito um estudo de viabilidade, para determinar se tal aplicação se faz interessante dos pontos de vista técnico, ambiental e econômico, já que existem mais formas de se recarregar o veículo fora o modelo do estudo proposto.

3.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA E DO CONSUMO

Infelizmente a presença dos carros elétricos no Brasil é pequena, com exceção das importações independentes e dos protótipos nacionais. O único carro elétrico *plug-in* vendido em concessionárias no Brasil é o Toyota Prius, ao preço de R\$ 120.830,00, muito distante de carros do mesmo segmento, porém movidos a um motor a combustão, como os nacionais Ford Focus (R\$ 53.000) e Chevrolet Cruze (R\$ 65.490) (QUATRO RODAS, 2013).

Devido à essa pequena gama de opções no mercado nacional, os carros envolvidos neste estudo serão considerados alguns dos comercializados nos Estados Unidos, conforme presentes na Tabela 03 apresentada no capítulo 2.3.3 deste trabalho, compreendendo assim uma variedade maior de informações.

Para a definição da demanda e do consumo que os carros elétricos irão acrescentar ao atual cenário, será em primeiro lugar definida a quantidade de carros elétricos que irão compor a frota.

Mesmo nos países onde existem políticas de isenção de impostos para veículos elétricos, os valores de aquisição ainda são superiores se comparados aos veículos concorrente movidos a motores a combustão, logo nem toda a frota de carros poderia ser prontamente substituída pelos elétricos visto a questão puramente econômica envolvida.

Assim, para se determinar o número de carros elétricos que poderia ter na cidade de Curitiba, utiliza-se o percentual de habitantes presentes nas classes A e B, que representam os usuários com poder aquisitivo capaz de realizar a compra de carros elétricos, multiplicando-se pelo número de habitantes de Curitiba, e por fim multiplica-se pela relação de carros por habitante. Esse cálculo está demonstrado pela Tabela 06 a seguir.

Tabela 06: Estipulação do número de carros elétricos que poderiam estar presentes em Curitiba

Percentual de habitantes presentes nas classes A e B	X	População	X	Relação de veículos por habitante	=	Veículos Elétricos em Curitiba
33% ¹		1753852 ²		0,57 ³		329899

Fonte: 1:ACD¹, 2011 / 2: ACD², 2010 / 3: SALGADO, 2013 / o autor

Dessa forma chega-se ao número de aproximadamente 330 mil carros elétricos que poderiam compor a frota de carros da cidade de Curitiba. Ao se considerar que hoje tem-se um total de 1,65 milhões de carros em circulação (SALGADO, 2013), o número de carros elétricos responderia por 20% do total da frota.

Considerando a divisão dos modelos propostos na Tabela 03 como sendo igualitária dentre os 330 mil carros estipulados, pode-se atribuir um valor médio para os itens apresentados, conforme Tabela 07 a seguir.

Tabela 07: Média dos Valores para Alguns Veículos Elétricos Apresentados na Tabela 03

	Tipo da bateria e Energia acumulada	Autonomia em ciclo elétrico	Consumo	Tipo de Conector	Nível 1		Nível 2		Nível 3	
					Demanda	Tempo de Carga	Demanda	Tempo de Carga	Demanda	Tempo de Carga
Veículo Médio (VE)	Li-Ion 22kWh	160 km	7,2 km / kWh	SAE J1772	1,6 kW (120V)	14 h	3,5 kW (240V)	6,5 h	50 kW	0,5 h

Fonte: o autor

3.2.1 Definição da demanda

Para se determinar a demanda durante o período de recarga, será considerado que todos os carros sejam recarregados num mesmo momento, admitindo o mesmo perfil de usuário para todos os veículos. O resultado é obtido multiplicando-se o número de carros pelos valores de demanda.

Assim, para cada nível de carregamento teremos uma determinada demanda, conforme a Tabela 08 seguinte.

Tabela 08: Demanda gerada pela frota de veículos estipulada para Curitiba

Níveis	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Demanda gerada pela frota estipulada	528 MW	1155 MW	16500 MW

Fonte: o autor

Ao se comparar os valores obtidos com o valor de demanda da cidade de Curitiba no horário de ponta, cujo valor chega a 813 MW (ONS, 2012), vemos

que a demanda gerada pelo recarregamento seria muito superior a demanda existente, provando que o estudo para essa questão tem grande importância.

Vale ressaltar que esses valores dificilmente ocorreriam, já que foi considerado o pior caso, onde todos os carregadores estariam extraindo 100% de sua potência nominal simultaneamente para reabastecer as baterias do VE.

3.2.2 Definição do consumo

Outro ponto a se notar seria o consumo diário de energia relacionado a esses carregamentos. Como o ciclo diário é inferior à autonomia total do carro, não teríamos uma total recarga da bateria no período de um dia, assim, será considerado um ciclo diário de 40 km/dia, o que acarretaria num consumo de apenas 25% da bateria, de acordo com o consumo médio obtido na Tabela 07, ou o mesmo que 5,5 kWh por carro em um dia.

Estendendo esse valor de energia para a frota estipulada, tem-se então um consumo diário de 1,8 GWh. Ao se comparar com o consumo diário da cidade de Curitiba, com o valor de 12,7 GWh (ONS, 2012), chega-se que o consumo exigido por esses veículos corresponderia a um aumento de 14,17% do consumo atual da cidade.

Novamente nota-se a expressividade dos valores na adição da frota estipulada, confirmando a necessidade do estudo para a expansão do fornecimento de energia elétrica para o recarregamento desses veículos.

3.3 NÍVEL DE RECARGA E CARREGADOR

Para a definição dos carregadores e seus níveis de carga, deverá se observar o perfil do usuário dos carros elétricos, pois para o recarregamento o veículo deverá permanecer parado por certo momento. Para o estudo proposto, será adotado o perfil de um trabalhador ou estudante que realiza diariamente o traslado do local de trabalho ou estudo até a sua residência, dentro de uma região com

diâmetro menor que 20 km, capaz então de realizar o percurso de ida e volta em até 40 km, situação representada na Figura 38 a seguir.

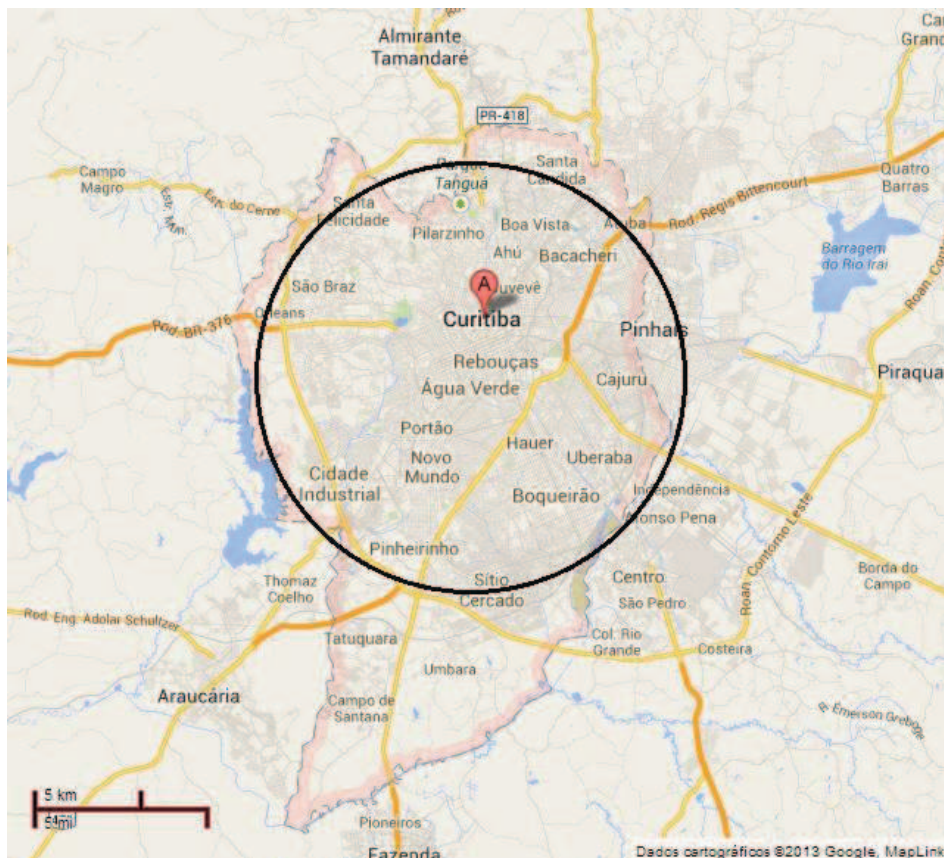


Figura 38: Região de Curitiba dentro de um círculo de 20 km de diâmetro capaz de comportar comutações diárias de até 40 km

Fonte: GOOGLE, 2013; o autor

Com o trajeto proposto, o usuário irá utilizar em média até 25% da bateria do veículo elétrico, portanto a quantidade de energia necessária para a recarga ficará em torno de 5,5 kWh, com base nos dados de um veículo elétrico médio apresentado na Tabela 07 já apresentada.

Como se trata de um usuário que poderá deixar o carro estacionado por um período de 3,1 horas, média de carga horária diária universitária (NOGUEIRA, 2006), até 8,8 horas, regime CLT de contratação (DECRETO-LEI N.º 5.452, 1943), todos os níveis de recarga poderão ser utilizados, já que para uma recarga de 25% da bateria é necessário aproximadamente 3 horas utilizando o Nível 1 de recarga, método mais demorado.

Desse modo o carregador empregado poderá ser de qualquer nível, porém para uma restrição de custos e sugestão dos fabricantes de veículos, uma instalação que comporte um carregador de Nível 2 é mais indicada, assim conciliando uma recarga rápida com um custo em infraestrutura menor (MITSUBISHI, 2013).

3.4 POTENCIAL FOTOVOLTAICO DA CIDADE DE CURITIBA

A determinação do potencial fotovoltaico de uma localidade se dá-se através de vários estudos que envolvem desde a aquisição dos dados de radiação solar incidente no local até as eficiências dos equipamentos envolvidos. Para a avaliação do presente estudo, será utilizado o mapa fotovoltaico apresentado no capítulo 2.4.4, em que é mostrado o potencial fotovoltaico do estado do Paraná.

Com posse deste, é isolada a região do mapa referente à cidade de Curitiba, conforme Figura 39.

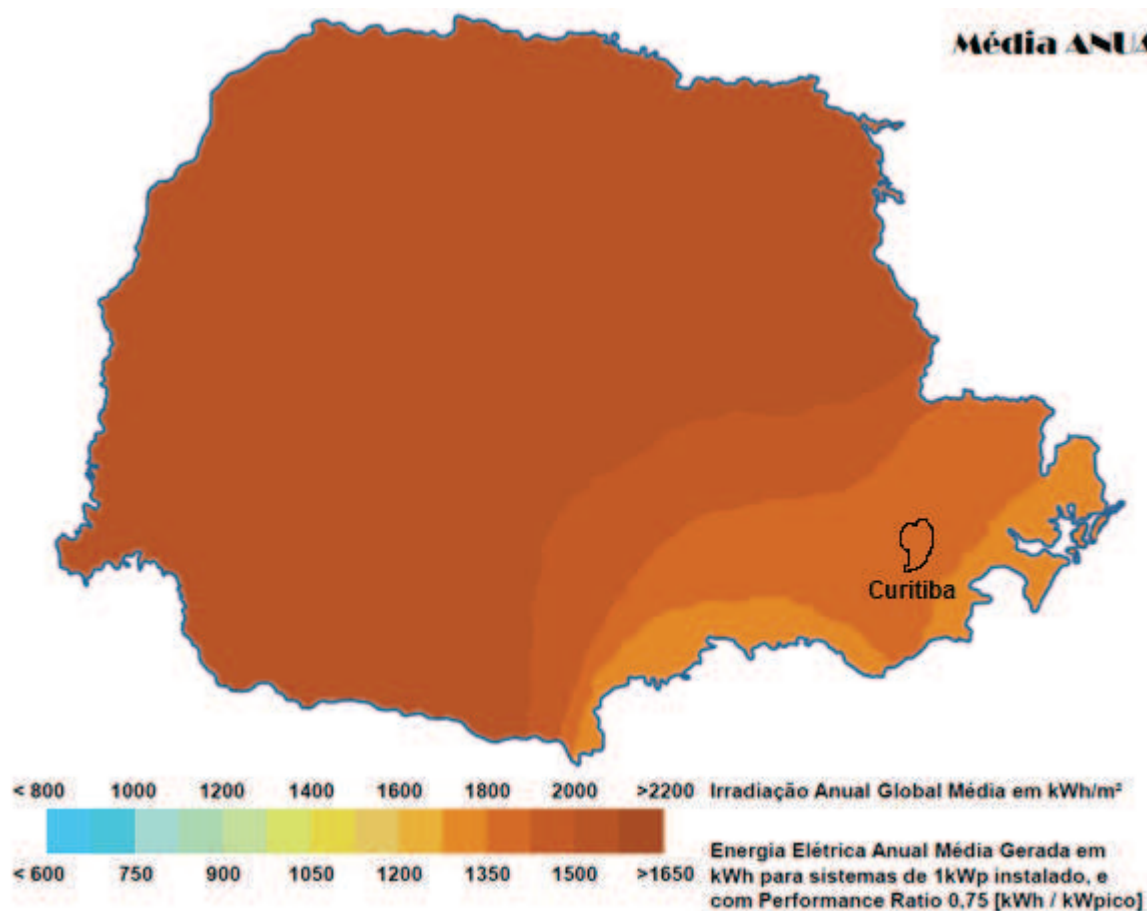


Figura 39: Mapa fotovoltaico do estado do Paraná com a região de Curitiba delimitada

Fonte: TIEPOLO et al, 2013 (traduzido e adaptado)

Como pode ser visto, a cidade de Curitiba fica inteiramente dentro da região cuja cor relaciona aos valores entre 1350 a 1425 kWh/kWp. Desse modo pode-se atribuir uma média que para cada 1kWp de um sistema fotovoltaico instalado nesta região, obtendo-se um valor de 1387,5 kWh gerados de energia em um período de um ano. Considerando uma divisão uniforme desta energia num período anual de 365 dias, tem-se que esse sistema irá gerar uma média de 3,8kWh/dia para cada 1kWp implantado.

3.5 DIMENSIONAMENTO DO UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SUPRIR O CONSUMO DA RECARGA

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é necessário ter conhecimento do quanto de energia irá ser necessário gerar, para então se determinar o tamanho do sistema necessário.

Como o mapa apresentado anteriormente na Figura 39 já considera as perdas no sistema, posicionamento e orientação do sistema fotovoltaico, o valor apresentado de geração diária já pode ser considerado como final (desde que na implantação sejam seguidas estas mesmas premissas), ficando apenas a definição da área necessária para a instalação dos módulos, sendo esta ligada diretamente com o tipo de tecnologia empregada na produção das células a serem utilizadas.

Desse modo, ao adotar-se a energia elétrica diária necessária já calculada no capítulo 3.2.2 de 5,5 kWh/dia para cada carro elétrico, e dividir pela geração diária média estimada obtida no capítulo 3.4 de 3,8 kWh/dia para cada sistema fotovoltaico de 1 kWp instalado, tem-se que cada carro irá necessitar em média de um sistema de aproximadamente 1,5 kWp para reabastecer as suas baterias após um dia cujo o percurso tenha sido de 40 km.

A Nota Técnica “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira” apresentada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2012) nos apresenta uma tabela comparativa da quantidade de área necessária para cada kWp instalado de acordo com a tecnologia do material utilizado, sendo esta tabela apresentada como a Tabela 09.

Tabela 09: Eficiência típica dos módulos comerciais

Tecnologia	Eficiência	Área/kWp (aproximada)
Silício Cristalino		
Monocristalino (m-Si)	13 a 19%	7 m ²
Policristalino (p-Si)	11 a 15%	8 m ²
Filmes Finos		
Silício amorfo (a-Si)	4 a 8%	15 m ²
Telureto de Cadmio (Cd-Te)	10 a 11%	10 m ²
Disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS)	7 a 12%	10 m ²

Fonte: EPE, 2012

Com os dados apresentados, pode-se expandir a Tabela 09 calculando a área necessária para a instalação do sistema de 1,5 kWp determinado anteriormente, bastando multiplicar os valores das áreas pelo valor em kWp do sistema. Este cálculo é apresentado na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10: Áreas necessárias para instalação de um sistema de 1,5kWp

Tecnologia	Área/kWp (aproximada)	Área necessária para um sistema de 1,5 kWp
Silício Cristalino		
Monocristalino (m-Si)	7m ²	10,5 m ²
Policristalino (p-Si)	8m ²	12 m ²
Filmes Finos		
Silício amorfo (a-Si)	15m ²	22,5 m ²
Telureto de Cadmio (Cd-Te)	10m ²	15 m ²
Disseleneto de cobre-índio-gálio (CIGS)	10m ²	15 m ²

Fonte: o autor

Como os painéis de silício policristalino correspondem a maior gama de painéis produzidos (RUTHER, 2004), para fins de dimensionamento da área, este será o material empregado no sistema do estudo proposto. Assim tem-se que para o sistema de 1,5kWp estipulado, serão necessários aproximadamente 12m² de painéis fotovoltaicos.

Para fins de comparação, uma área retangular de 5 m x 2,4 m corresponde à área de 12 m², e esta mesma área pode ser equiparada à uma vaga de estacionamento para um veículo do porte de um Nissan Leaf, cujas dimensões ficam em 4,45 m de comprimento e 1,77 m de largura (NISSAN, 2013), ou de uma vaga padrão de garagem de uma edificação que é de aproximadamente 15m².

A proteção do circuito de geração fica a cargo de dois dispositivos: o inversor e um disjuntor. O inversor deverá ter as funções de proteção 81 O/U, 25, 27, 59, 81 DF/dt e 78 e o disjuntor deverá ser padrão NEMA ou IEC, curva 'C', até 200 A (COPEL, 2012).

3.6 DIMENSIONAMENTO DA TOMADA DE ENERGIA PARA CONEXÃO DO CARREGADOR

Como visto, o Nível 2 de carregamento é o ideal, e portanto a instalação elétrica que irá fornecer a energia para o ponto onde o carregador é instalado deverá seguir os pré-requisitos para este nível.

No capítulo 2.3.2 é visto que este nível de carregamento pode exigir potências de até 19,2 kW, porém conforme a Tabela 07, um carregador de Nível 2 exige em média uma potência de 3,5 kW, portanto esta será a potência adotada para o dimensionamento da tomada que será de uso específico.

De acordo com a Norma SAE J1772, não deverá existir o elemento tomada na conexão do carregador com a rede elétrica, portanto os cabos irão se conectar diretamente no carregador, não necessitando o dimensionamento deste.

Segundo a norma NBR-6418, para uma corrente de até 16 A (referente à conexão do carregador de 3,5 kW em uma tensão de 220 V) deverá se usar um condutor de cobre isolado com seção de 2,5 mm². A alimentação de um carregador de Nível 2 é feita com dois condutores (um fase e outro neutro) mais o condutor terra (YILMAZ; KREIN, 2013), o eletroduto deverá ser com diâmetro mínimo de 1/2" (NBR-6418).

A proteção deste circuito se dará por um conjunto de um disjuntor termomagnético e por um interruptor diferencial-residual. Segundo o Manual de Instalações Elétricas Residenciais da Prysmian, para uma corrente de 16 A, um

disjuntor termomagnético de 20 A pode ser utilizado, assim como o interruptor diferencial-residual, que também deverá ser no valor de 20 A.

3.7 INTERCONEXÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO, DA TOMADA DE ENERGIA E DA REDE DA CONCESSIONÁRIA

O sistema fotovoltaico estipulado será, de acordo com a Tabela 04, do tipo conectado à rede elétrica, puro, tensão alternada, sem acumulação de energia e com a utilização apenas de um inversor (dada a potência instalada).

Os motivos que levam a essa decisão são listados a seguir:

- A não existência de um acumulador de energia propicia uma instalação mais simplificada e barata, já que não é necessário o dimensionamento e instalação deste equipamento, assim como os seus componentes necessários, como gerenciadores de carga.
- O sistema isolado não oferece segurança quanto a questão disponibilidade de energia, já que em dias em que não existe geração solar, o fornecimento de energia para a recarga pode ficar comprometida.
- O perfil de geração fotovoltaica para um sistema conectado a rede fornece mais energia do que um sistema voltado para um conjunto isolado, dada a relação de inclinação e recepção da radiação solar, conforme pode ser visto nos mapas presentes nas Figuras 30 e 31 já apresentadas.
- A Legislação Brasileira e o Sistema Interligado Nacional ainda não aceitam o sistema conectado a rede com *back-up* de energia, portanto esse sistema não pode ser adotado.
- Numa situação de dias nebulosos, em que a geração fotovoltaica não supra a recarga demandada, a rede pode

alimentar o carregador do veículo elétrico sem a necessidade de manobra.

- No caso de uma geração acima da carga demandada, ou no caso da não necessidade de carga, esse excesso de energia não será desperdiçado, podendo ser injetado na rede e compensado nas próximas faturas de energia.

Desse modo a instalação será feita conforme estipulado pela NTC 905100 para sistemas de micro geração para potências de até 75 kW, mostrado na Figura 40 a seguir.

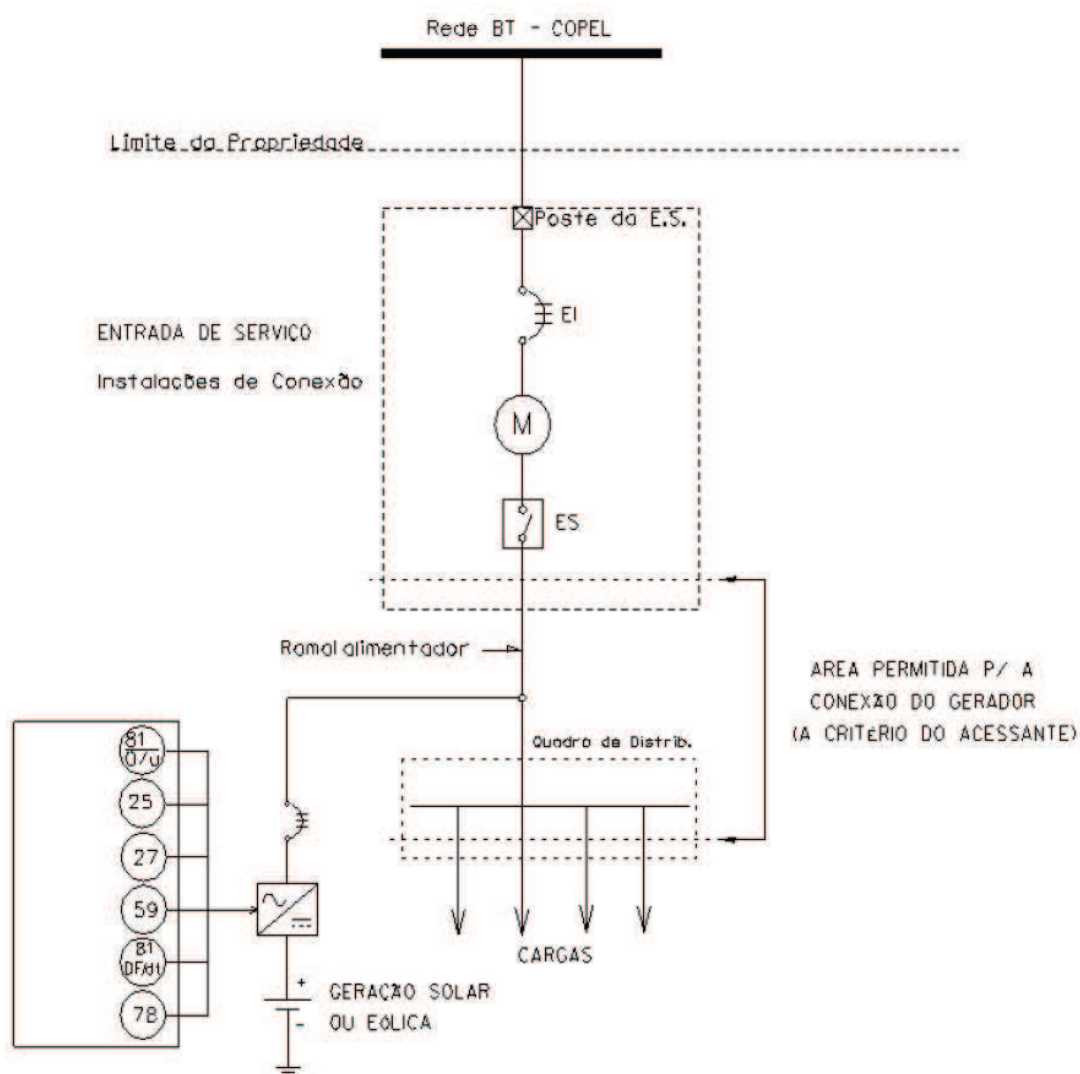


Figura 40: Conexão da Geração Fotovoltaica

Fonte: COPEL, 2012

A conexão da tomada de energia para o carregador poderá então ser feita como uma tomada de uso específico, saindo com um circuito dedicado do Quadro de Distribuição.

As alterações na entrada de energia principal comportam um EI, Elemento de Interrupção (Disjuntor padrão NEMA ou IEC, curva 'C', até 200 A), um ES, Elemento de Seccionamento e Desconexão (chave seccionadora tripolar sem elementos fusíveis) e um M, Medidor de Energia Elétrica Bidirecional (COPEL, 2012)

3.8 LOCALIDADES PROPÍCIAS PARA A INSTALAÇÃO DO SISTEMA

Como visto, o sistema fotovoltaico irá necessitar de uma área de 12 m² por carro, portanto apenas locais com disponibilidade de radiação solar, ou seja, sem sombreamento de outras edificações, poderá servir eficientemente para o propósito de geração.

Não existe a necessidade dos painéis estarem próximos do carregador, já que a conexão é feita conforme mostrado no capítulo 3.7, e desse modo a instalação dos painéis fotovoltaicos poderá ser realizada no topo dos edifícios ou como cobertura de estacionamentos.

Assim locais os quais podem servir como exemplos são estacionamentos de parques, residências, shoppings, empresas e faculdades.

3.9 VIABILIDADE

Da definição de viabilidade tem-se que é tudo aquilo que tem qualidade de ser viável (WEISZFLOG, 2004), portanto ao final deste estudo irá se analisar em três pontos se as definições propostas são capazes de serem viáveis, ou seja, se o estudo proposto pode ser aplicado e assim gerar um avanço, ou se ao contrário, existirem problemas e necessitar de uma nova abordagem a fim de se corrigirem os erros e obter-se um resultado satisfatório.

3.9.1 Viabilidade Técnica

Durante o estudo proposto, foram vistas todas as tecnologias existentes que estão presentes no desenvolvimento de um sistema que aproveite a radiação solar e converta-a em energia elétrica a fim de fornecê-la à um veículo elétrico para recarregar as suas baterias. Deste modo a primeira viabilidade a ser avaliada é a questão técnica.

Para que o estudo proposto seja exequível do ponto de vista técnico, todas as suas tecnologias deverão ser consideradas maduras a ponto de serem empregadas sem dificuldades.

Como visto, todas as tecnologias apresentadas possuem estudos que datam de vários anos de existência, demonstrando que inúmeros estudos já foram produzidos a fim de produzirem equipamentos tecnicamente viáveis.

Os veículos elétricos no cenário mundial tem seu crescimento esperado (BARBOSA, 2011), portanto pode-se considerar o momento propício para o incentivo de instalações que favoreçam a sua utilização.

Os sistemas fotovoltaicos vem tendo um crescimento não só mundial como no próprio Brasil, e espera-se que para os próximos anos a implementação do sistema venha a ser comumente aplicada, já que a regulamentação para o emprego deste sistema como forma de geração conectada a rede já foi publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ECOGEO, 2012).

Uma vez que ambas as tecnologias se mostram válidas com sua integração prática, já que não existe a necessidade instalações diferentes de uma instalação elétrica predial convencional, e que ainda temos normas e leis capazes de abranger todos os aspectos, entende-se que do ponto de vista técnico o estudo é viável.

3.9.2 Viabilidade Econômica

Para uma análise econômica, deve-se considerar os custos envolvidos e compará-los com valores de sistemas já implementados, assim podendo se obter

números que comprovem se a instalação trará vantagens financeiras caso a sua implantação seja realizada.

A validação do presente estudo, dar-se-á na comparação dos valores de custos de três cenários supostos:

- Cenário 1: Utilização de um veículo popular com motor a combustão interna sendo abastecido por etanol;
- Cenário 2: Utilização de um veículo elétrico, com a recarga feita apenas pela rede da concessionária;
- Cenário 3: Utilização de um veículo elétrico, com recarga feita pelo conjunto do sistema fotovoltaico.

Para que a comparação seja a mais precisa possível, os três cenários irão contar com os mesmos aspectos, diferindo apenas nos valores finais do combustível ou eletricidade empregados. Assim, todos irão levar em conta uma frota de 330 mil veículos rodando 40 km na cidade de Curitiba diariamente.

Para o cálculo não serão levados em conta os valores de aquisição dos veículos, sendo os valores referentes apenas para a aquisição do combustível e energia elétrica.

3.9.2.1 Cenário 1

Neste cenário o carro com motor a combustão interna utilizado será o FIAT Mille 1.0 8V ano 2012, o modelo mais barato e econômico ofertado no mercado brasileiro, com os dados de consumo fornecidos pelo Inmetro. O percurso será considerado como feito em um ciclo misto de 50% rodados em cidade e 50% rodados em estrada.

Segundo o Inmetro, o Mille neste tipo de percurso possui um consumo médio de 9,8 km/l se abastecido com etanol (INMETRO, 2013). Considerando um percurso de 40 km, este veículo consumiria aproximadamente 4 litros de combustível.

O preço médio do etanol em Curitiba para mês de outubro de 2013 ficou em R\$ 1,775 (ANP, 2013), portanto diariamente esse percurso irá resultar num custo de R\$ 7,24.

O custo com a aquisição do combustível é inerente apenas ao valor final do combustível na bomba dos postos de combustíveis, portanto para este caso não existe um investimento inicial para a viabilização do abastecimento do veículo.

3.9.2.2 Cenário 2

Neste cenário o carro elétrico será baseado nos valores obtidos no estudo proposto, levantados nos capítulos 3.1 ao 3.8.

Conforme visto, para percorrer o percurso de 40 km diários, o carro elétrico tem um consumo médio diário de 5,5 kWh.

O valor da tarifa de energia a ser considerado será o de um consumidor da classe residencial do grupo B1 convencional, num valor de R\$ 0,39631/kWh, com impostos incluídos (COPEL, 2013).

Diariamente o percurso deste veículo custaria um valor de R\$ 2,18.

Para se realizar a recarga, é necessário um carregador, desse modo irá se adotar a utilização de um carregador Nível 2 para a recarga. Este carregador, conforme visto no capítulo 2.3.2, acarreta num investimento inicial médio de R\$ 5.750,00, calculado considerando US\$ 1,00 = R\$ 2,30 e um adicional de 25% de tributos nacionais.

3.9.2.3 Cenário 3

Neste cenário o carro elétrico também será baseado nos valores obtidos no estudo proposto, levantados nos capítulos 3.1 ao 3.8.

Idêntico ao Cenário 2, o carro elétrico consumiria os mesmos 5,5 kWh de energia para este cenário.

Conforme dimensionado, um sistema fotovoltaico de 1,5 kWp supriria completamente a necessidade energética do veículo, e desse modo toda a geração seria direcionada para a recarga do veículo, tornando o custo das recargas nulo.

O investimento inicial para este cenário, porém, é maior, já que além do sistema do carregador, já calculado anteriormente, é adicionado o sistema fotovoltaico. De acordo com a Tabela 05 já apresentada, um sistema fotovoltaico de 1,5 kWp teria o custo de R\$ 15.093,75, calculado considerando US\$ 1,00 = R\$ 2,30 e um adicional de 25% de tributos nacionais.

Desse modo o investimento inicial resultante para o cenário 3 seria de R\$ 20.843,75.

3.9.2.4 Comparativo e Tempo de *Payback*

Para se obter uma melhor visualização dos valores obtidos nos três cenários, é montada a Tabela 11 com a comparação dos custos diários e investimentos iniciais, apresenta a seguir.

Tabela 11: Comparativo dos Cenários

Cenário	Custo Diário (Percurso de 40 km)	Investimento Inicial
1: MCI + Etanol	R\$ 7,24	R\$ 0,00
2: VE + Rede	R\$ 2,18	R\$ 5.750,00
3: VE + Fotovoltaico	R\$ 0,00	R\$ 20.843,75

Fonte: o autor

Com esta tabela pode-se observar que embora o investimento inicial do Cenário 1 seja nulo, é a situação onde o custo diário apresenta o maior valor. Situação inversa ocorre no Cenário 3, onde o custo diário é nulo, porém tem-se um valor considerável de investimento inicial.

Para a verificação final de se a recarga de veículos elétricos por meio de um sistema fotovoltaico pode ser considerada economicamente viável, deve ser feito o cálculo do *payback*, ou seja, quanto tempo seria necessário para que o investimento inicial proposto fosse inteiramente pago para então ser iniciada uma geração sem custos.

O cálculo é feito dividindo-se o investimento inicial de um cenário pelo custo diário de outro, obtendo-se um tempo para que o primeiro cenário se pague.

Esse cálculo, com base nos dados da Tabela 11, é demonstrado na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Cálculo do *payback*

	Investimento do Cenário 3 em relação ao Cenário 1	Investimento do Cenário 3 em relação ao Cenário 2	Investimento do Cenário 2 em relação ao Cenário 1
Tempo	7,8 anos	18,9 anos	3,1 anos

Fonte: o autor

Com isso tem-se que, após 7,8 anos o Cenário 3 iria se tornar mais economicamente viável que o Cenário 1, após 18,9 anos o mesmo Cenário 3 iria se tornar mais economicamente viável que o Cenário 2, já que após esse tempo o sistema se pagaria e então iniciaria uma geração gratuita de energia, e após 3,1 anos o Cenário 2 seria economicamente melhor que o Cenário 1.

Entretanto, cabe salientar que neste cálculo, além de efetuar um retorno simples dos valores investidos e gastos diariamente com o veículo, não foram considerados:

- custos de manutenção;
- estimativa futura dos preços da energia elétrica.

Como sistemas fotovoltaicos podem ter uma vida útil de no mínimo 10 anos, limitada pela vida útil do inversor, após um tempo de *payback* de 7,8 anos teríamos 2,2 anos de geração gratuita sem a necessidade de manutenções de grande porte (NEOSOLAR, 2013).

Com a substituição do inversor, a vida útil sobe para um total de mais de 25 anos, agora limitados pela garantia dos fabricantes de painéis fotovoltaicos que confirmam eficiência de no mínimo 80% dos painéis até esse período (NEOSOLAR, 2013).

Os cálculos não envolvem demais custos como a variação dos valores de combustível e tarifa de energia elétrica, que com o tempo tendem a aumentar e

podem influenciar no custo diário, portanto um cenário em que esse valor é nulo é vantajoso, uma vez que o investimento inicial é realizado num momento e não se alterando mais.

Outro fator não avaliado é a questão da inexistência no Brasil de incentivos fiscais dados para geração fotovoltaica (TERRA, 2013) e veículos elétricos (TRIGUEIRO, 2013), fato que acarretaria num investimento inicial menor para essas tecnologias.

Se essas questões fossem levadas em conta, os valores de *payback* poderiam ser ainda menores já que existiram reduções nos custos de aquisição das tecnologias, tornando a atratividade para a instalação desses sistemas ainda maior.

3.10 CONCLUSÃO

Com o estudo feito, pode-se observar que a implementação de um SFVCR para a recarga de veículos elétricos é viável tanto tecnicamente como economicamente.

A demanda de energia da frota de 330 mil veículos poderia ser facilmente suprida com a instalação de sistemas fotovoltaicos que não iriam exceder muito o espaço já utilizado por um carro, que em muitos locais é somente utilizado para proteger o veículos das intempéries.

Para a instalação do sistema foi visto que não existem complicações e que o conhecimento técnico exigido para a instalação do carregador é equiparável à instalação de uma TUE.

Levando em conta que a vida útil do sistema fotovoltaico é de no mínimo 10 anos, sem que precise investimentos em manutenção pesada, o sistema já se pagaria em um período de 7,8 anos utilizando o SFVCR. Isso considerando as cargas tributárias existentes no Brasil, que encarecem o investimento.

Desse modo tem-se que o sistema proposto é de aplicação imediata e totalmente viável nas questões técnicas e econômicas, sendo que a instalação poderia ainda ser favorecida caso existissem políticas incentivadoras.

4 CONCLUSÃO FINAL

A utilização de veículos está intimamente relacionada ao desenvolvimento humano, onde os carros entram como maior parte da frota desses veículos, tornando-os máquinas dignas de atenção e constante desenvolvimento a fim de se obter a melhor e mais eficiente tecnologia empregada.

Na revisão bibliográfica deste trabalho constatou-se que a tecnologia do carro elétrico não é nova, porém só nos dias atuais é que a sua maturidade tecnológica coincidiu com a necessidade do ser humano de possuir um meio de locomoção e transporte que seja menos agressivo ao meio ambiente, assim permitindo uma crescente ocupação deste tipo de carro no dia a dia das pessoas.

Entretanto nenhuma tecnologia caminha sozinha, pois todas possuem suas vantagens e desvantagens, e é com a união de diferentes ramos tecnológicos que pode se ter um avanço propriamente dito.

Nesse ponto que surge a opção da utilização de energia elétrica produzida através de fontes renováveis, já que os carros elétricos necessitam de uma fonte de geração para abastecer as suas baterias, e uma vez que ela seja renovável, os danos causados ao meio ambiente são muito menores.

O trabalho optou pela geração fotovoltaica que no decorrer do estudo se mostrou uma tecnologia já desenvolvida até o presente momento, e ainda promete muito mais evolução nos próximos anos, haja visto que quanto mais interesse se tiver por essa fonte de geração, mais força tem o seu desenvolvimento.

Da união dessas duas tecnologias surge a proposta deste estudo, que visa o recarregamento das baterias dos carros elétricos através de painéis fotovoltaicos e com a adição da rede elétrica convencional como *backup*, aliando uma geração renovável com a estabilidade da rede oferecida pela concessionária.

Com foco na cidade de Curitiba, foi estipulada uma frota de carros elétricos, que de acordo com os dados socioeconômicos da capital poderia corresponder a um valor de 20% da frota atual de veículos, número referente a 330 mil veículos.

Dentre esses veículos, os que poderia usufruir do sistema de recarga proposto seriam os de concepção *plug-in*, ou seja, àqueles que poderiam se recarregar utilizando uma fonte externa de eletricidade.

Para a realização do estudo foi calculado o consumo médio de um veículo elétrico, com base nos dados de uma gama de cinco modelos comercializados, chegando-se ao valor de 7,2 km/kWh.

De acordo com as dimensões, densidade demográfica da cidade e admitindo um perfil de um usuário estudante ou trabalhador, foi determinado que os veículos poderiam percorrer uma distância diária de até 40 quilômetros, o que levaria a um consumo diário de 5,5 kWh por veículo elétrico.

Definido o consumo foi dimensionado o sistema fotovoltaico capaz de suprir esse consumo, chegando-se a um sistema que deverá possuir uma área de aproximadamente 12m², valor inferior até a uma região ocupada por uma vaga de estacionamento padrão.

Com o sistema dimensionado avaliou-se a questão da viabilidade. Primeiramente se avaliou a questão técnica e viu-se que hoje já existem normas que abrangem a conexão desse tipo de sistema, regulamentando todos os componentes e ligações que devem ser realizadas. Em segundo lugar levantou-se a questão econômica, para isso foi pego como comparação um veículo com motor a combustão interna que realizasse o mesmo percurso diário. Após os cálculos determinou-se que após um período de 7,8 anos o SFVCR dimensionado para a recarga diária requerida pelo veículo se pagaria, sobrando ainda 2,2 anos até a primeira manutenção no sistema de custo significativo.

Assim, após os cálculos e considerações, foi visto que a tecnologia pode prontamente ser empregada, pois tanto tecnicamente quanto economicamente ela é viável.

Mesmo promissor, o tema abordado no estudo ainda não é visto como de fundamental importância para o governo e grandes empresas, pois somente nos anos mais recentes é que iniciativas vêm sendo tomadas, porém pouco pode se comparar quando se trata dos avanços realizados em outros países mais desenvolvidos.

4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Integração do SFVCR dimensionado para recarga de veículos elétricos com o sistema V2G.
- Requisitos para fornecimento de energia elétrica para recarga de veículo elétrico através de sistemas fotovoltaicos e concessionária de energia em nível nacional.
- Influência no Brasil da aplicação de políticas de incentivos à geração fotovoltaica e utilização de veículos elétricos já utilizados em países europeus.
- Aplicação do fornecimento de energia elétrica para recarga de veículo elétrico em Curitiba através de sistemas fotovoltaicos e concessionária de energia utilizando o triciclo Pompeo (Tree Citycar) e o SFVCR do Escritório Verde da UTFPR.

REFERÊNCIAS

- ABVE: **“O que é um veículo elétrico?”**, ABVE.org.br, Brasil, <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0001>, acessado em 15/06/2013
- ACD: **“Participação das Classes na População de Curitiba - 2011”**, Agência Curitiba de Desenvolvimento, 2011, disponível em <http://www.agencia.curitiba.pr.gov.br/multimedia/PDF/00000358.pdf>, acessado em 01/10/2013
- “População”**, Agência Curitiba de Desenvolvimento, 2010, disponível em <http://www.agencia.curitiba.pr.gov.br/publico/conteudo.aspx?codigo=30>, acessado em 01/10/2013
- ANP: **“Sistema de Levantamento de Preços”**, disponível em http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Municipio_Posto.asp, Utilizando os parâmetros: Curitiba, Etanol e Outubro, acessado em 07/10/2013
- ARB: **“History of Air Resources Board”**, ARB.ca.gov, Estados Unidos, 16 de novembro de 2010, <http://www.arb.ca.gov/knowzone/history.htm>, acessado em 16/06/2013
- AUTO-EN-VERVOER: **“Invento de Stratingh de Groningen”**, 2004, disponível em <http://auto-en-vervoer.infonu.nl/auto/20042-de-elektrische-auto-stiller-zuiniger-duurzamer-beter.html>
- BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando L.: **“Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil”**, XIII Congresso Brasileiro de Energia, Brasil, 2010
- BARBOSA, Vanessa: **“Mercado de carros elétricos vai crescer 19,5% até 2017”**, Revista Exame, agosto de 2011, disponível em

<http://exame.abril.com.br/meio-ambiente-e-energia/noticias/mercado-de-carros-eletricos-vai-crescer-19-5-ate-2017-preve-estudo>, acessado em 07/10/2013

BCB: **“FAQ - Arrendamento mercantil (leasing)”**, Banco Central do Brasil, Brasil, janeiro de 2012, http://www.bcb.gov.br/pre/bc_atende/port/leasing.asp, acessado em 22/06/2013

BELLIS, Mary: **“History of Electric Vehicles”**, About.com, EUA, 9 de abril de 2012, <http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm>, acessado em 15/06/2013

BENZ, Karl: **“The life of a German inventor: my memories”**, 6ª Edição, Alemanha, 2001

BERMAN, Brad: **“History of Hybrid Vehicles”**, HybridCars.com, EUA, 2011

BRINKLEY, Douglas. **“Prime Mover”**. American Heritage, Estados Unidos, 2003

BRITANICA, Enciclopédia: **“Photovoltaic Effect”**, britannica.com, Estados Unidos, 2013, <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/458271/photovoltaic-effect>, acessado em 25/08/2013

BUCHMANN, Isidor. **“Carregando a bateria de Chumbo-Ácido”**, Battery University, novembro de 2006 http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery, acessado em 01/07/2013

BUCHMANN, Isidor: **“Qual é a melhor bateria?”**, Battery University, novembro de 2006, http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery, acessado em 22/06/2013

BURROUGH, Bryan: **“The Big Rich: The Rise and Fall of the Greatest Texas Oil Fortunes”**, 1ª Edição, Estados Unidos, 2009

COPEL: **“NTC 905100: Manual de Acesso de Geração Distribuída ao Sistema da COPEL”**, COPEL, dezembro de 2012

COPEL: **“Taxas e Tarifas”**, outubro de 2013, disponível em <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ftarifas%2Fpagcopel2.nsf%2Fverdocatual%2F23BF37E67261209C03257488005939EB>, acessado em 07/10/2013

DECRETO-LEI N.º 5.452: **“Consolidação das Leis do Trabalho”**, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1º de maio de 1943

DIGITALTRENDS: **“GM EV1”**, 2012, disponível em <http://www.digitaltrends.com/cars/how-does-gms-fabled-ev1-stack-up-against-the-current-crop-of-electrics/>

ECEE: **“Ciclos de Vida Esperados”**, 2013, disponível em <http://ecee.colorado.edu/~ecen4517/components/agmexpectedlife.pdf>

ECOGEO: **“Energia solar fotovoltaica apresenta crescimento no Brasil”**, maio de 2012, Ano III nº 5, disponível em http://www.ecogeo.com.br/energia_solar_fotovoltaica_apresenta_crescimento_no_brasil.html, acessado em 07/10/2013

ELASSER, Ahmed: **“Photovoltaics Systems: Overview, Status, and Future Prospects”**, outubro de 2010, Estados Unidos, disponível em http://www.ecse.rpi.edu/homepages/ieee/presentations/Fall_2010/IEEE_RPI_Oct7th_PV_Systems_Seminar_2010.pdf

ELECTRICVEHICLESNEWS: **“Invento de William Morrison”**, 2013, disponível em <http://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyIII.htm>

ELETROCELL: **“Como funciona a célula a combustível?”**, Eletrocell.com.br, Brasil, http://www.electrocell.com.br/oqueeacc_pt.htm, acessado em 15/06/2013

EPE: **“Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”**, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2012

EV1: **“GM EV-1s destruídos e armazenados em um pátio da pista de testes da GM.”**, 2013, disponível em <http://www.ev1.org>

EVMUSEUM: **“Sebring-Vanguard CitiCar”**, 2009, disponível em <http://www.evmuseum.com/>

EXPO21XX: **“Módulo fotovoltaico formado por CdTe”**, 2013, disponível em http://www.expo21xx.com/renewable_energy/19083_st2_inverter_transformador/default.htm

FORDMODEL: **“Ford Modelo T com suas variações”**, 2013, disponível em <http://www.fordmodelt.net/gallery2/picture.php?/232/category/11>

G1: **“SP recebe primeiro posto de carga rápida para carro elétrico do país”**, <http://g1.globo.com/carros/noticia/2012/10/sp-recebe-primeiro-posto-de-carga-rapida-para-carro-eletrico-do-pais.html>, acessado em 09/03/2013.

GOOGLE: **“Google Maps – Curitiba”**, disponível em <https://maps.google.com.br/maps?q=curitiba&hl=pt-BR&ie=UTF8&ll=-25.473653,-49.255829&spn=0.556043,1.056747&sll=-25.495249,-49.288399&sspn=0.555943,1.056747&hnear=Curitiba+-+Paran%C3%A1&t=m&z=11>, acessado em 05/10/2013

GPBATTERIES: **“Lithium Ion: technical handbook”**, GPI International Limited, Honk Kong, Vol. 7, 2007, http://web.archive.org/web/20071007175038/http://www.gpbatteries.com/html/pdf/Li-ion_handbook.pdf, acessado em 09/07/2013

HAMMACK, Bill: "**How a lead-acid battery works**", YouTube.com, Estados Unidos, 03 de julho de 2012, <http://www.youtube.com/watch?v=rhIRD5YVNbs>, acessado em 24/06/2013

HOWSTUFFWORKS: "**Primeiro veículo elétrico de Thomas Parker em 1884.**", auto.howstuffworks.com, 2012, disponível em <http://auto.howstuffworks.com/who-created-the-first-electric-car.htm>

HUNGARIANHISTORY: "**Invento de Ányos Jedlik**", 2012, disponível em <http://www.hungarianhistory.com/mszh/ejedlik.htm>

INMETRO: "Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE", inmetro.gov.br, 2013, disponível em http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2013.pdf, acessado em 07/10/2013

JUNIOR, Luiz Carlos Pereira: "**A Interação Entre Geradores Solares Fotovoltaicos e Veículos Elétricos Conectados à Rede Elétrica Pública**", 110 páginas, Dissertação (Pós-Graduação), Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2011

KOPERA, John J.C.: "**Por dentro da bateria de níquel metal-hidreto.**" Cobasys, Estados Unidos, 2004

LAMPTON, Christopher: "**Como funcionam as baterias dos carros elétricos**" HowStuffWorks, Brasil, <http://carros.hsw.uol.com.br/bateria-carro-eletrico1.htm>, acessado em 22/06/2013

LAWSON, Barrie: "**Nickel Metal Hydride Batteries**", Reino Unido, 2005, <http://www.mpoweruk.com/nimh.htm>, acessado em 06/07/2013

LESLIE, Stuart W.: "**Charles F. Kettering, 1876-1958**", Estados Unidos, 1980

LORD, Richard: **“Where renewable energy is the norm and not the exception”**, SustainableGuernsey.info, 2010

MADE-IN-CHINA: **“Módulo fotovoltaico formado por a-Si”**, 2013, disponível em http://pt.made-in-china.com/co_szglobalsolar/product_Amorphous-Silicon-Solar-Panel-YG-Z38127A-_hguhigrgg.html

MALZONI, Isabel: **“Entenda a matriz energética brasileira”**, Revista Escola, Editora Abril, 2012, versão online em: <http://revistaescola.abril.com.br/geografia/pratica-pedagogica/energia-brasil-pais-presente-matriz-energetica-586688.shtml>, acessado em 12/04/2013

MANZ: **“Catalogo MANZ M-GES101”**, manz.com, Alemanha, 2012, disponível em http://www.manz.com/downloads/CIGS-Module_M-GES101.pdf

MEZA, Edgar: **“Researchers boost CdTe cell efficiency from below 8% to 11.5%”**, PV-Magazine, 2013, http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/researchers-boost-cdte-cell-efficiency-from-below-8-to-115-_100012391/#axzz2dVvn2p1A, acessado em 31/08/13

MITSUBISHI: **“New i-MiEV”**, Estados Unidos, 2013, <http://www.new-miev.com/en/index.php>, acessado em 22/06/2013

MITSUBISHI-MOTORS: **“Mitsubishi i-MiEV”**, 2013, disponível em <http://www.mitsubishi-motors.pt/explores.aspx?id=12789>

MOORE, Elizabeth Armstrong: **“As electric cars gain currency, Oregon charges ahead”**, The Christian Science Monitor, EUA, 2009

MORGAN, Trevor: **“Smart grids and electric vehicles: Made for each other?”**, Seamless Transport: Making Connections (International Transport Forum), Alemanha, 2012

MOTORFULL: "**GM EV1**", motorfull.com, 2013, disponível em <http://motorfull.com/2013/05/motorfull-verde-v-general-motors-ev1-el-boicot-inicial-hacia-el-coche-electrico>

MRSOLAR: "**Photovoltaic Effect**", mrsolar.com, Estados Unidos, 2012, <http://www.mrsolar.com/content/photovoltaic-effect.php#.UhmWaNKshcY>, acessado em 25/08/2013

NASCIMENTO, Cássio Araújo do: "**Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**", 21 páginas, Monografia (Pós-Graduação), Universidade Federal de Lavras, Brasil, 2004

NAWS: "**Deep Cycle Battery FAQ**", Northern Arizona Wind & Sun, 2012, <http://www.solar-electric.com/deep-cycle-battery-faq.html>, acessado em 24/06/2013

NBR 10899:2006: "**Energia solar fotovoltaica – Terminologia**", ABNT, Brasil, 2006

NBR 11708:2008: "**Sistemas fotovoltaicos – Classificação**", ABNT, Brasil, 2008

NEOSOLAR: "**Qual é a vida útil do sistema?**", NeoSolar.com.br, 2013, disponível em <http://www.neosolar.com.br/aprenda/perguntas-frequentes#perg17>, acessado em 07/10/2013

NISSAN: "**2013 Nissan Leaf**", Estados Unidos, 2013, <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/>, acessado em 22/06/2013

NISSANUSA: "**Nissan Leaf**", 2013, disponível em <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/>

NOGUEIRA, André Magalhães: "**Considerações sobre Carga Horária Mínima dos Cursos de Graduação: Uma Nota Técnica**", Observatório Universitário, Novembro de 2006

- OLIVEIRA, Hallyson Eduardo: **“Tecnologia Fotovoltaica em filmes finos (películas delgadas)”**, UFLA, 2008
- ONS: **“NT – 0042/2012 - Resultado da Implantação do Horário de Verão 2011/2012”**, Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2012, disponível em http://www.ons.org.br/download/avaliacao_condicao/horario_verao/NT_042-HV_2011-2012.zip, acessado em 01/10/2013
- PAINE, Chris: **“A Vingança do Carro Elétrico” (“Revenge of the Electric Car”)**, Papercut Films e WestMidWest Productions, EUA, 2011
- PAINE, Chris: **“Quem Matou o Carro Elétrico?” (“Who Killed the Electric Car?”)**, Electric Entertainment, EUA, 2006
- PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna; RUTHER, Ricardo; **“Atlas Brasileiro de Energia Solar”**, INPE, Brasil, 2006
- PRYSMIAN: **“Instalações Elétricas Residenciais”**, Prysmian Cables & Systems, dezembro de 2006
- PV-TECH: **“Sempra US Gas & Power begins building Copper Mountain Solar 3”**, 2013, disponível em http://www.pv-tech.org/news/sempra_us_gas_power_begins_building_copper_mountain_solar_3
- QUATRO RODAS: **“Tabela de Preços”**, Edição 647, setembro de 2013
- ROBERGE, Pierre R.: **“Gaston Planté (1834-1889)”**, Corrosion Doctors, Canadá, 2013, <http://www.corrosion-doctors.org/Biographies/PlantelBio.htm>, acessado em 24/06/2013
- RORIZ, Luis Filipe: **“Concentradores Solares”**, Portugal, 2011, http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/et_T25.htm, acessado em 24/08/2013

RUTHER, Ricardo: **“Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil”** – LABSOLAR, 2004

SALGADO, Diego: **“Com 30 mil novos carros por mês, Curitiba dobra frota em dez anos”**, Portal 2014, agosto de 2013, disponível em <http://www.portal2014.org.br/noticias/12199/COM+30+MIL+NOVOS+CARROS+POR+MES+CURITIBA+DOBRA+FROTA+EM+DEZ+ANOS.html>, acessado em 01/10/2013

SANTOS, Alexandre Carvalho dos: **“Carro elétricos é o futuro. Menos no Brasil”**, Revista CESVI, ANO 16 nº83 JAN/FEV 2013

SOLARPANEL-MANUFACTURER: **“Zhejiang Solar Panels Co., Ltd.”**, 2013, disponível em <http://www.solarpanel-manufacturer.com/>

SOLARSERVER: **“Solar Energy System of the Month - the Martin Next Generation Solar Energy Center”**, 2011, disponível em <http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-energy-system-of-the-month/the-martin-next-generation-solar-energy-center.html>

SOLETROL: **“Como Funciona um Aquecedor Solar”**, Brasil, 2013 <http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php> , acessado em 23/08/2013

SUNPOWER: **“Catálogo E20/333 e E20/327”**, sunpowercorp.com, Estados Unidos, 2011, disponível em: http://img.en25.com/Web/SunPowerCorporation/11_252_sp_e20_333_327_ds_en_a4_w.pdf

TAYLOR, Barbara: **“The Lost Cord”**, Estados Unidos, 1995

TERRA: **“Falta incentivo para pequenas centrais de energia renovável”**, Terra.com.br, 2013, disponível em <http://noticias.terra.com.br/ciencia/falta-incentivo-para-pequenas-centrais-de-energia-renovavel,e65d472b9cb10410VgnCLD2000000dc6eb0aRCRD.html>, acessado em 07/10/2013

THE TELEGRAPH: **“World's first electric car built by Victorian inventor in 1884”**, Telegraph.co.uk, Reino Unido, 24 de abril de 2009, <http://www.telegraph.co.uk/news/newstopics/howaboutthat/5212278/Worlds-first-electric-car-built-by-Victorian-inventor-in-1884.html>, acessado em 15/06/2013

THENEWMPRIVATE: **“Elcar da Elcar Corporation”**, 2010, disponível em <http://thenewmprivate.files.wordpress.com/2010/05/secondelectriczagatoelcar1975.jpg>

THEPEOPLEHISTORY: **“Cost Of Living 1975”**, ThePeopleHistory.com, Estados Unidos, <http://www.thepeoplehistory.com/1975.html>, acessado em 16/06/2013

TIEPOLO, Gerson Maximo; URBANETZ, Jair; CANGIOLIERI, Osiris: **“A Solar Photovoltaic Electricity Insert Source in the State of Paraná/Brazil: An Analysis of Productive Potential”**, 22nd International Conference on Production Research, Foz do Iguaçu, Brasil, agosto de 2013

TRIGUEIRO, André: **“Falta de incentivo e carga tributária inviabilizam carro elétrico no Brasil”**, G1.com.br, fevereiro de 2013, disponível em <http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2013/02/falta-de-incentivo-e-carga-tributaria-inviabilizam-carro-eletrico-no-brasil.html>, acessado em 07/10/2013

VEICULOELETRICO: **“Volvo C30 Electric em um carregamento lento”**, 2012, disponível em http://www.veiculoeltrico.blog.br/2012_11_01_archive.html

VIKRAMSOLAR: "**Catálogo Eldora Jumbo Series**", vikramsolar.com, Índia, 2013, disponível em <http://www.vikramsolar.com/Products.aspx>

VOITUREELECTRIQUE: "**Invento de Thomas Parker**", 2010, disponível em <http://www.voitureelectrique.net/histoire-de-la-voiture-electrique>

VOITUREELECTRIQUE: "**La Jamais Contente**", 2010, disponível em <http://www.voitureelectrique.net/histoire-de-la-voiture-electrique>

WEISZFLOG, Walter: "**Michaelis Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**", 1ª Edição, 2004, versão online em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/>, acessado em 15/06/2013

WITZENBURG, Gary: "**At Witz End - GM's EV1, the True Story**", AutoBlog, Estados Unidos, 2008, <http://green Autoblog.com/2008/08/15/at-witz-end-gms-ev1-the-true-story-part-i/>, acessado em 22/06/2013

YILMAZ, Murat; KREIN, Philip T.: "**Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles**", IEEE Transaction On Power Electronics, Vol. 28, Nº 5, maio de 2013

ZYTECH: "**Catálogo ZT 210S/215S**", zytech.es, Espanha, 2012, disponível em: http://www.zytech.es/download/monopdf/English_210S_215S_black.pdf