

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC Santo André
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Adriano Santos da Silva
Vinícius Augusto da Silva

**ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS
PARA CARREGAMENTO DE BATERIA VEICULAR**

Santo André - SP
2022

Adriano Santos da Silva
Vinícius Augusto da Silva

**ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS
PARA CARREGAMENTO DE BATERIA VEICULAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva da FATEC de Santo André, orientado pela Prof.^a MSc. Suely Midori Aoki, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Santo André - SP

2022

S586e

Silva, Adriano Santos da

Estudo de viabilidade do uso de células fotovoltaicas para carregamento de bateria veicular / Adriano Santos da Silva, Vinícius Augusto da Silva. - Santo André, 2022. – 100f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2022.

Orientador: Prof.^a MSc. Suely Midori Aoki

1. Eletrônica. 2. Estudo. 3. Painéis solares. 4. Carregamento. 5. Tecnologia. 6. Bateria veicular. 7. Veículos elétricos. 8. Veículos híbridos. 9. Protótipo. I. Silva, Vinícius Augusto da. II. Estudo de viabilidade do uso de células fotovoltaicas para carregamento de bateria veicular.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

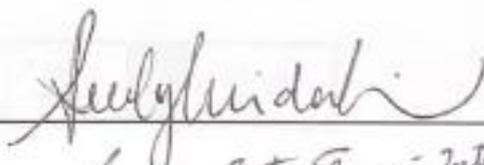
Santo André, 28 DE JUNHO DE 2022.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: "ESTUDO
DA VIABILIDADE DO USO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS
PARA CARREGAMENTO DE BATERIAL VEICULAR" DOS
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

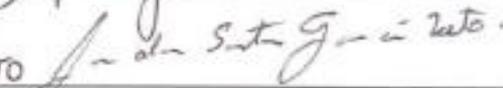
PRESIDENTE:

PROFª SUELY MIDORI AOKI



MEMBROS:

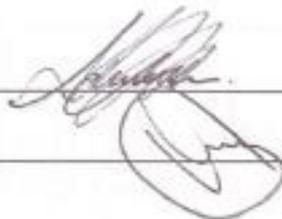
PROF. JOSÉ DOS SANTOS GARCIA NETO



PROF. ERIKI MASHIKO TAKARA

**ALUNO:**

ADRIANO SANTOS DA SILVA



VINÍCIUS AUGUSTO DA SILVA

A todos os nossos familiares, que sempre nos deram força para continuar, nos momentos bons e ruins, ajudando, assim, a vencermos mais esta batalha em nossas vidas.

AGRADECIMENTO

Agradecemos primeiramente aos nossos familiares, por todo apoio prestado durante essa longa jornada. Em segundo, à nossa orientadora, prof.^a Msc. Suely Midori Aoki, que nos instruiu durante o desenvolvimento desse trabalho. E por fim, à Fatec Santo André e aos nossos professores, pelos ensinamentos que nos fizeram ao longo desses anos, irmos agregando conhecimento para desenvolver esse trabalho da melhor forma possível.

“Meus filhos terão computadores, sim, mas antes terão livros. Sem livros, sem leitura, os nossos filhos serão incapazes de escrever – inclusive a sua própria história”

Bill Gates

RESUMO

O trabalho consiste no estudo de viabilidade para a utilização de painéis solares para carregamento de bateria veicular, no qual iremos estudar e implementar o dimensionamento de painéis solares em veículos elétricos ou híbridos, projetando o circuito de carregamento da bateria, tomando cuidado para não diminuir a vida útil da bateria dos automóveis. Também foi estudado maneiras para não haver alteração da estética do automóvel, de forma a não invalidar a engenharia aplicada no projeto de sua aerodinâmica.

Palavras-chave: Painéis Solares. Carregamento. Bateria Veicular. Protótipo Carro Elétrico.

ABSTRACT

The work consists of a feasibility study for the use of solar panels for vehicle battery charging, in which we will study and implement the sizing of solar panels in electric or hybrid vehicles, designing the battery charging circuit, taking care not to reduce the car battery life. It was also studied ways to not change the aesthetics of the car, so as not to invalidate the engineering applied in the design of its aerodynamics.

Keywords: Solar Panels. Charging. Battery. Vehicle Battery. Electric Car Prototype.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeito fotoelétrico.....	19
Figura 2 – Variação da intensidade da corrente com a tensão	20
Figura 3 – Variação da intensidade com a frequência da luz.....	20
Figura 4: (a) Formula de Einstein utilizando a constante de Planck; (b) equação do efeito fotoelétrico.	21
Figura 5 – Equilíbrio entre as conexões tipo p – n.	22
Figura 6 – Células solares policristalino e monocristalino	23
Figura 7 – Descrição do efeito fotovoltaico ocorrido nas células solares	24
Figura 8 – Estrutura interna de uma célula de Silício (Si).	25
Figura 9 – Espectro de radiação solar (Solar Radiation Spectrum) para luz direta no topo da atmosfera da Terra e no nível do mar.	25
Figura 10 – Variação do fotoperíodo ao longo do ano para diferentes latitudes	26
Figura 11 - Abrangência de valores do ângulo de declinação.....	27
Figura 12 - Ângulos notáveis solares	28
Figura 13 – Estrutura interna de uma célula de (a-Si).....	30
Figura 14 – Célula fotovoltaica de a-Si.....	30
Figura 15 – Estrutura interna de uma célula (CIGS)	31
Figura 16 – Célula solar de CIGS.....	32
Figura 17 – Estrutura interna de uma célula de CdTe.....	32
Figura 18 – Célula fotovoltaica de CdTe com uma ampliação microscópica de sua estrutura ao lado	33
Figura 19 – Estrutura interna de uma célula orgânica	34
Figura 20 – Célula solar orgânica.....	35
Figura 21 – Estrutura interna de uma célula de corante (Grätzel).....	36
Figura 22 – Célula corante (Grätzel)	36

Figura 23 – a) Estrutura interna de uma célula de multijunção. b) região de atuação de cada uma das células no espectro solar.	37
Figura 24 – Tensão em cada célula da bateria	39
Figura 25 – Curva característica de descarga.....	42
Figura 26 – Recarga com corrente limitada.....	43
Figura 27 – Estrutura e funcionamento de uma bateria de íons lítio	44
Figura 28 – Primeiro veículo elétrico brasileiro – Itaipu 400.....	46
Figura 29 – Representação do funcionamento do veículo elétrico.....	47
Figura 30 – Controle da onda.....	48
Figura 31 – Diagrama elétrico do protótipo	51
Figura 32 – Fluxograma de funcionamento do protótipo	52
Figura 33 – Diagrama de bloco do protótipo	52
Figura 34 – Painel solar de silício policristalino	53
Figura 35 – Controlador de carga solar.....	54
Figura 36 – Bateria estacionária (VLRA) 12V – 1.3Ah	55
Figura 37 – Placa Fatec	56
Figura 38 – Diagrama elétrico da placa Fatec.....	57
Figura 39 – Layout de montagem da placa Fatec	58
Figura 40 - Motor DC 3-6V com caixa de redução e eixo duplo.....	58
Figura 41 – Chassi de acrílico	59
Figura 42 – Módulo receptor RF com controle remoto 315Mhz 4 canais	59
Figura 43 – Controlador de velocidade do motor (PWM)	61
Figura 44 – Voltímetro digital.....	61
Figura 45 – Módulo relé 5V – 2 canais.....	62
Figura 46 – protótipo montado, parte de traz	63
Figura 47 – protótipo montado, parte da frente	64
Figura 48 – protótipo montado. a) lateral traseira direita; b) lateral traseira esquerda; c) lateral frontal direita; d) lateral frontal esquerda	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo sobre as células fotovoltaicas	38
Quadro 2 – Tempo de recarga com corrente constante	40
Quadro 3 – Tempo de recarga com tensão constante	41
Quadro 4 – Baterias utilizadas pelos carros elétricos e híbridos em 2017	45
Quadro 5 – Coleta de dados do protótipo no primeiro dia	66
Quadro 6 – Coleta de dados do protótipo no segundo dia	67
Quadro 7 – Coleta de dados do protótipo no terceiro dia	68
Quadro 8 – Coleta de dados do protótipo no quarto dia.....	69
Quadro 9 – Coleta de dados do protótipo no quinto dia	70
Quadro 10 – Coleta de dados do protótipo no sexto dia	71
Quadro 11 – Coleta de dados do protótipo no sétimo dia	72
Quadro 12 – Coleta de dados do protótipo no oitavo dia	73
Quadro 13 – Média dos dados coletados às 10:00h	74
Quadro 14 – Média dos dados coletados às 10:30h	74
Quadro 15 – Média dos dados coletados às 11:00h	74
Quadro 16 – Média dos dados coletados às 11:30h	75
Quadro 17 – Média dos dados coletados às 12:00h	75
Quadro 18 – Média dos dados coletados às 12:30h	75
Quadro 19 – Média dos dados coletados às 13:00h	75
Quadro 20 – Média dos dados coletados às 13:30h	76
Quadro 21 – Média dos dados coletados às 14:00h	76
Quadro 22 – Junção das médias e média final	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Dados coletados no primeiro dia de teste.....	66
Gráfico 2 – Dados coletados no segundo dia de teste.....	67
Gráfico 3 – Dados coletados no terceiro dia de teste.....	68
Gráfico 4 – Dados coletados no quarto dia de teste.....	69
Gráfico 5 – Dados coletados no quinto dia de teste.....	70
Gráfico 6 – Dados coletados no sexto dia de teste.....	71
Gráfico 7 – Dados coletados no sétimo dia de teste.....	72
Gráfico 8 – Dados coletados no oitavo dia de teste.....	73
Gráfico 9 – Junção das médias dos testes por horário de coleta.....	77
Gráfico 10 – Média final dos testes.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ah – Ampere-hora

Al – Alumínio

a-Si – Silício amorfo

a-Si:H – Silício amorfo hidrogenado

CC/CA – Corrente contínua para corrente alternada

CdS – Sulfeto de cádmio

CdTe – Telureto de cádmio

CIGS – Cobre índio gálio selênio

ddp – Diferença de potencial

EV – Veículo elétrico

H₂O – Água

ITO – Óxido índio estanho

LFP – Bateria de fosfato de ferro e lítio

LiFePO₄ – Fosfato de ferro e lítio

LiNiCoAlO₂ – Óxido de alumínio níquel cobalto e lítio

LiNiMnCoO₂ – Óxido de níquel manganês cobalto e lítio

MCI – Motor de combustão interna

m-Si – Silício monocristalino

NCA – Bateria de óxidos de alumínio níquel cobalto e lítio

NMC – Bateria de óxidos de níquel manganês cobalto e lítio

PHEV – Veículo elétrico híbrido plug-in

Pt – Platina

PWM – Modulação por largura de pulso

p-Si – Silício policristalino

RF – Radiofrequência

Si – Silício

SiH₄ – Silano

TCO – Óxido transparente condutivo

TiO₂ – Óxido de titânio

VIS – Voltage source inverter

LISTA DE SÍMBOLOS

E – Energia emitida pelo fóton

eV – Elétron volt

h – Constante de Planck ($h = 6,6261 \times 10^{-34}$ joule x segundo)

m_e – Massa do elétron

ν – Frequência da onda

V_F – Potencial de freamento

W – Característica do material (função de trabalho)

δ – Ângulo de declinação solar

θ_z – Ângulo zenital solar

φ – Latitude do local

ω – Ângulo horário solar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivo.....	17
1.2	Motivação.....	18
1.3	Conteúdo	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Revisão histórica do efeito fotovoltaico	18
2.2	Células Fotovoltaicas	21
2.2.1	Funcionamento	22
2.2.2	Células de (Si) – Primeira geração	23
2.2.3	Segunda geração de células	29
2.2.3.1	Células de (a-Si).....	29
2.2.3.2	Célula Solar de (CIGS)	31
2.2.3.3	Células fotovoltaicas de (CdTe).....	32
2.2.4	Terceira geração de células.....	33
2.2.4.1	Células orgânicas	34
2.2.4.2	Células à base de corantes	35
2.2.4.3	Células Solares de multijunção	37
2.3	Bateria automotiva	38
2.3.1	Funcionamento	38
2.3.1.1	Recarga das baterias.....	40
2.3.2	Bateria estacionária	41
2.3.3	Bateria para veículo elétrico	43
2.3.3.1	Baterias de íons lítio mais utilizadas nos veículos elétricos.....	44
2.4	Veículos elétricos e híbridos	46
2.4.1	Funcionamento	47
2.4.2	Inversores de frequência	48

2.4.3 Vantagens e desvantagens do veículo elétrico.....	49
3 METODOLOGIA E MATERIAIS.....	50
3.1 Materiais utilizados	53
4 RESULTADOS.....	63
5 CONCLUSÕES.....	78
6 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE – Programação do microcontrolador da placa Fatec.....	83
ANEXO – Bibliotecas utilizadas na programação.....	88

1 INTRODUÇÃO

O estudo em questão irá demonstrar, de forma teórica e prática, a viabilidade da implementação de painéis solares em veículos elétricos e híbridos, de forma que seja apresentada uma nova opção de recarga da bateria, e também, para caso não haja pontos de recarga próximo do veículo, este tenha uma outra fonte de recarga.

As células fotovoltaicas têm sido cada vez mais utilizadas em todo o mundo, em virtude da sua praticidade na geração de energia elétrica, tendo como fonte a luz solar, o que as tornam um meio sustentável de geração de energia elétrica. Com o crescente número de veículos elétricos e híbridos nas ruas, devemos levar em consideração que, em alguns anos isso elevará bastante o consumo de energia elétrica. No Brasil, a matriz energética é composta basicamente por hidroelétricas e termoelétricas, que ficarão sobrecarregadas com o aumento do consumo, tornando-se essencial que sejam criadas novas maneiras de recarregar a bateria do veículo elétrico.

Desta forma, para o desenvolvimento do projeto, montaremos um protótipo em pequena escala, de um veículo que terá a sua bateria recarregada por uma célula fotovoltaica. Com os dados dos testes realizados com o protótipo, poderemos atestar a viabilidade do projeto, com os dados obtidos, podendo ser comparados de forma proporcional, com os de veículos elétricos em escala real.

1.1 Objetivo

Medir a carga produzida pelos painéis fotovoltaicos, para análise da viabilidade de seu uso para recarregamento da bateria do veículo.

Elaborar um protótipo de um carro elétrico para consumir a carga elétrica gerada por painel fotovoltaico e armazenada na bateria.

Comentar tecnicamente a viabilidade do carregamento das baterias de um carro elétrico, com painéis fotovoltaicos, a partir dos dados obtidos com o protótipo.

1.2 Motivação

A tendência mundial é o aumento da utilização de carros elétricos, e a diminuição cada vez maior do uso de combustíveis fósseis. Com isso, torna-se cada vez mais importante que sejam criadas alternativas para recarregar a bateria desses carros, de forma limpa, renovável.

1.3 Conteúdo

Este estudo se divide em seis capítulos: O primeiro capítulo traz uma breve introdução do tema com seu objetivo e motivação. No segundo capítulo consta todo o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento desse estudo. O terceiro capítulo mostra toda a metodologia e os materiais utilizados. O quarto traz os resultados obtidos com os testes. O quinto capítulo contém as conclusões tiradas deste estudo. No sexto capítulo há propostas de trabalhos futuros. Na sequência, é listada toda a referência bibliográfica utilizada para o desenvolvimento desse estudo. E, por fim, constam o apêndice com o programa do microcontrolador utilizado e o anexo com as bibliotecas utilizadas na programação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo traz todo o referencial teórico e bibliográfico utilizado para que possamos desenvolver este estudo, mostrando, assim, o conteúdo utilizado para verificar a viabilidade do uso de células fotovoltaicas para o carregamento de bateria veicular.

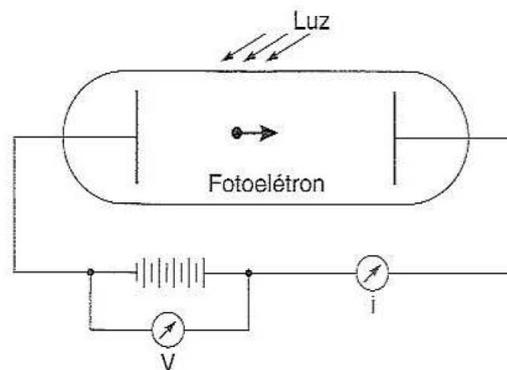
2.1 Revisão histórica do efeito fotovoltaico

De acordo com Nussenzveig (1998), em 1887, Heinrich Hertz conseguiu comprovar a teoria de Maxwell, gerando e identificando ondas eletromagnéticas através da produção de uma descarga que oscilava, fazendo com que uma faísca saltasse de um eletrodo para o outro, gerando assim, as ondas eletromagnéticas. A

detecção foi feita utilizando uma antena ressonante, onde também foi observada a faísca de um eletrodo para o outro. Durante o experimento, Hertz notou que a faísca gerada encontrava uma certa dificuldade para saltar de um eletrodo para o outro, quando o receptor não estava exposto à luz, em sua maior parte violeta e ultravioleta, que vinha da faísca do eletrodo emissor.

Ainda, segundo Nussenzveig (1998), demonstrando na prática a teoria de Maxwell, Heinrich Hertz descobriria o efeito fotoelétrico, sendo esse, um dos primeiros indícios práticos da quantização. Em pouco tempo, atestou-se que a luz ultravioleta poderia ejetar elétrons da área metálica dos eletrodos, facilitando a sua descarga. Os elétrons expelidos são acelerados pela diferença de potencial existente entre os eletrodos, ajudando a ionizar o ar e a favorecer a descarga. Na figura 1, podemos ver uma ampola de quartzo transparente com dois eletrodos, um de cada lado, constituindo uma diferença de potencial entre eles quando uma luz incidi sobre a própria.

Figura 1 – Efeito fotoelétrico

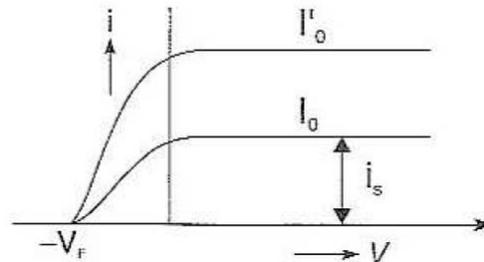


Fonte: Curso de Física Básica – Vol. 4 / Ótica, Relatividade, Física Quântica – (1998)

Nussenzveig (1998) ainda diz que, com uma corrente e tensão constante, mantida em um catodo de um determinado material, o anodo colherá todos os fotoelétrons extraídos pela luz no momento em que a tensão for positiva, o que corresponderá a uma corrente de saturação. Agora, se inverter a polaridade da tensão tentando frear os elétrons, a corrente continuará circulando no mesmo sentido, porém, ela reduzirá conforme a tensão aumente. Na figura 2, veremos que, ao aumentar a intensidade da corrente, o formato da curva não será alterado, havendo alteração

apenas na intensidade. Isso significa que, a quantidade de fotoelétrons retirados aumenta na proporção da intensidade da luz.

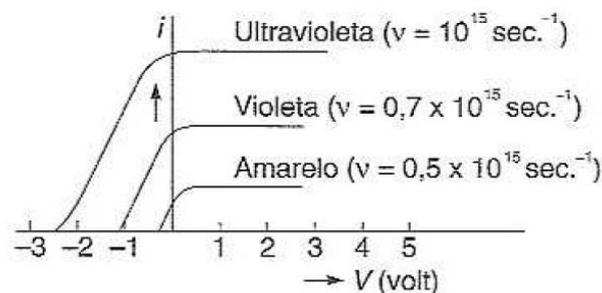
Figura 2 – Variação da intensidade da corrente com a tensão



Fonte: Curso de Física Básica – Vol. 4 / Ótica, Relatividade, Física Quântica – (1998)

Conforme Nussenzveig (1998), a geração de foto corrente pela luz, deverá ter como resultado, a luz produzindo uma energia capaz de retirar elétrons próximos à superfície do material utilizado no catodo. No momento em que o elétron é retirado, a carga positiva que sobra tentará fazer com que ele retorne, atraindo-o. Por isso, é necessário que a carga fornecida seja maior do que a carga que sobra, só assim vencerá a atração gerada. O gráfico na figura 3 demonstra que, ao variar a frequência da luz, a tendência é que a forma qualitativa das curvas não se altere, entretanto, o valor em que será o potencial de freamento se altera, crescendo conforme se eleva a frequência.

Figura 3 – Variação da intensidade com a frequência da luz



Fonte: Curso de Física Básica – Vol. 4 / Ótica, Relatividade, Física Quântica – (1998)

Segundo Nussenzveig (1998), Einstein, no ano de 1905, levantou uma teoria a respeito do efeito fotoelétrico, indo além da teoria de Planck em relação a quantização,

propondo que a radiação eletromagnética com uma frequência ν constitui-se de quanto de energia, conforme equação da figura 4a. Esta teoria foi publicada por Einstein, em um trabalho denominado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”. (NUSSENZVEIG, pág. 252, 1998). Einstein defende que, um quantum de luz passa o total da sua energia para um único elétron, o que esclarece o potencial de freamento (V_F) aumentar com a frequência ν , resultando na equação do efeito fotoelétrico, representada na figura 4b.

Figura 4: (a) Formula de Einstein utilizando a constante de Planck; (b) equação do efeito fotoelétrico.

$$E = h\nu \quad \frac{1}{2} m_e v_m^2 = eV_F = h\nu - W$$

(a) (b)

Fonte: Curso de Física Básica – Vol. 4 / Ótica, Relatividade, Física Quântica – (1998)

Nussenzveig (1998) pondera que, a equação criada por Einstein não confirma a existência de fótons, podendo apenas ser interpretado de tal forma. Somente em 1926, em um estudo publicado por G. N. Lewis que o termo, ‘fóton para um quantum de luz’ veio à tona, demonstrando que, o quanto mais intensa for a luz, maior será o total de energia que ela transportará, e conseqüentemente o número de fótons, esclarecendo o motivo da foto corrente ser proporcional a intensidade da luz.

Ainda, de acordo com Nussenzveig (1998), em 1913, um grupo formado por quatro físicos da Alemanha, em que Planck era um deles, enviou para a Academia de Ciências da Prússia um pedido para que Einstein, na época com 34 anos, fosse eleito membro titular da academia. Em 1921, Albert Einstein ganhou o prêmio Nobel, em virtude de ter criado a teoria do efeito fotoelétrico.

2.2 Células Fotovoltaicas

Aqui apresentaremos todas as características das células fotovoltaicas, descrevendo o seu funcionamento, sua estrutura interna e uma descrição de cada tipo de célula, de primeira, de segunda e de terceira geração.

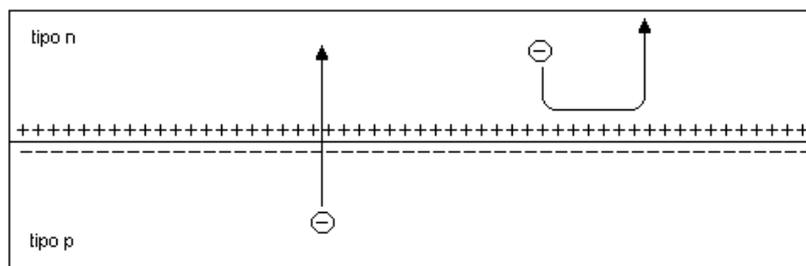
2.2.1 Funcionamento

De acordo com Meirelles (2002), as células fotovoltaicas transformam a energia luminosa em energia elétrica, utilizando-se de materiais semicondutores, em sua maioria, o Silício (Si), tendo como base para o seu funcionamento, o efeito fotovoltaico, já explicado anteriormente. De maneira resumida, essas células produzirão corrente elétrica sempre que houver luz solar sobre elas.

Ainda segundo Meirelles (2002), o Silício cristalino possui certas especificidades que devem ser observadas, por se tratar de um material utilizado na célula. “O átomo de silício possui exatamente quatro elétrons em sua última camada eletrônica, estes quatro elétrons estão todos sendo compartilhados por ligações covalentes, e portanto, não tem liberdade de se movimentar pelo cristal”. (MEIRELLES, pág. 4, 2002). Portanto, o Silício não será um condutor elétrico eficiente, e para melhorar isso, são adicionados ao cristal algumas impurezas, as quais chamasse dopagem.

Meirelles (2002) ainda diz que, de maneira concisa, as células solares são do tipo p – n e seu funcionamento pode ser demonstrado da seguinte forma. No momento em que os elétrons saem do lado tipo n, acumulará carga positiva no limite do contato p-n, de forma análoga, acumulará carga negativa na direção tipo p. Através desta assimetria de cargas nos contatos p-n que surgirá um campo elétrico oposto à disposição natural do aumento de elétrons e buracos. Desta forma, alcançará o equilíbrio demonstrado na figura 5 entre as conexões tipo p – n.

Figura 5 – Equilíbrio entre as conexões tipo p – n.

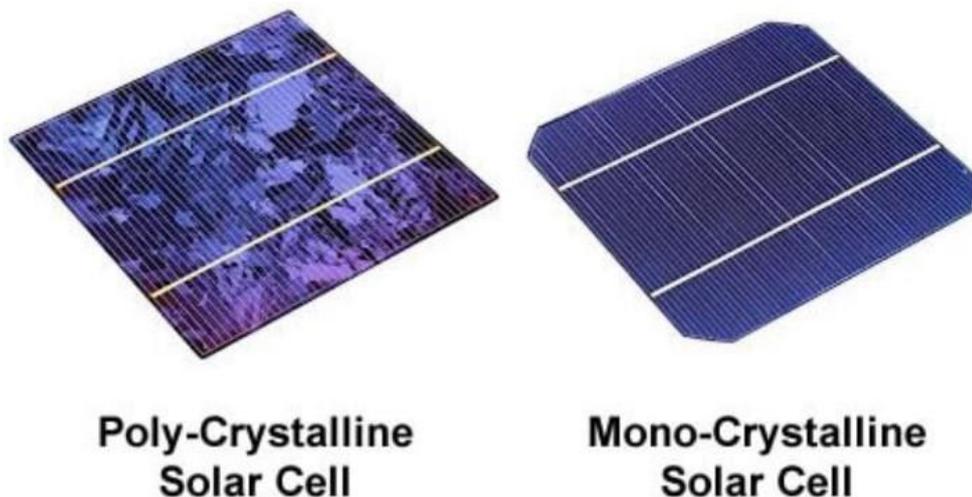


Segundo Meirelles (2002), quando a luz gerada por fótons atingir a célula solar, se formarão pares elétrons buraco. Sendo que, a cada fóton que tenha energia o bastante, se formará um elétron e um buraco. Desta forma, o elétron que se formar, fluirá para o lado n, e os buracos fluirão para o lado p. Com este fluxo de elétrons, surgirá uma corrente elétrica, e o campo elétrico fornecerá uma diferença de potencial (ddp), tendo como produto destas uma potência gerada, podendo ser utilizada para alimentar algum aparelho.

2.2.2 Células de (Si) – Primeira geração

Sobrinho (2016) diz que, as células de primeira geração utilizam o Silício (Si) de duas formas diferentes: Silício monocristalino (m-Si) e Silício policristalino (p-Si) que estão na figura 6. Estas células apesar de serem da primeira geração, ainda representam uma maioria absoluta em utilização no mercado, com uma eficiência média variando entre 11 e 14% (p-Si), 15 e 20% (m-Si), tendo o seu desempenho e a estabilidade como excelentes pontos a serem levados em consideração em sua escolha.

Figura 6 – Células solares policristalino e monocristalino



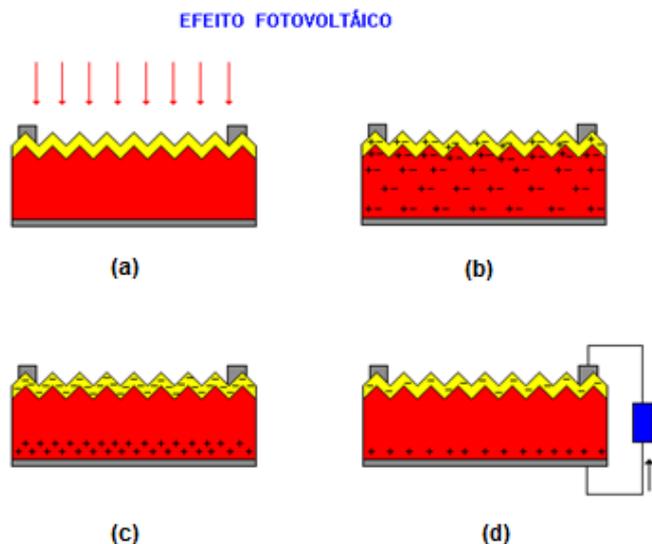
Fonte: <https://canalsolar.com.br/silicio-mono-ou-policristalino-quem-vence-o-duelo/>

Ainda de acordo com Sobrinho (2016), a partir de uma organização molecular mais uniforme, o Silício monocristalino transporta os elétrons de forma mais eficiente

pelo material. Entretanto, para que isso aconteça é necessário uma dopagem no material, criando, assim, as camadas tipo p-n. Já o Silício policristalino, possui uma fabricação menos complexa e de menor custo. Todavia, possui um material de qualidade inferior, em virtude de haver mais impurezas.

Segundo Marques (2014), os fótons, luz solar, quando atinge a célula, ocorre o chamado efeito fotovoltaico, em que, esta luz é convertida em eletricidade, onde a luz incorporada por elétrons formam pares elétron-buracos, pares estes que serão destacados, os elétrons e os buracos em lados opostos, gerando assim, uma diferença de potencial entre os dois pontos (ddp) que é demonstrada na figura 7. Com isso ao ligar uma carga nesses pontos, estará fechando o circuito e criando um fluxo ordenado de elétrons, denominada corrente elétrica. Contudo, se essa energia que é gerada em menos de um segundo não for utilizada ou acondicionada em algum dispositivo, ela será perdida.

Figura 7 – Descrição do efeito fotovoltaico ocorrido nas células solares

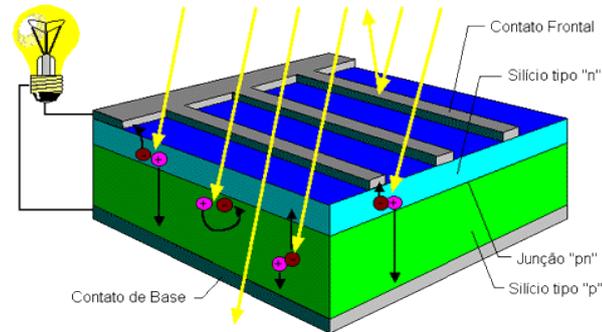


Fonte: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursosfrancisco.pdf>

Conforme Sobrinho (2016), a figura 8 mostra a estrutura interna de uma célula de Silício, onde podemos ver alguns dos componentes que a integram. A camada de Silício tipo n, tipo p e sua respectiva junção, podem ser monocristalino ou policristalino. O contato frontal é moldado de uma forma que melhore o recaimento da luz solar

sobre a célula. E por fim, uma camada antireflexo que fica sobre a camada frontal, melhorando a eficiência da incorporação da luz solar que chega na célula.

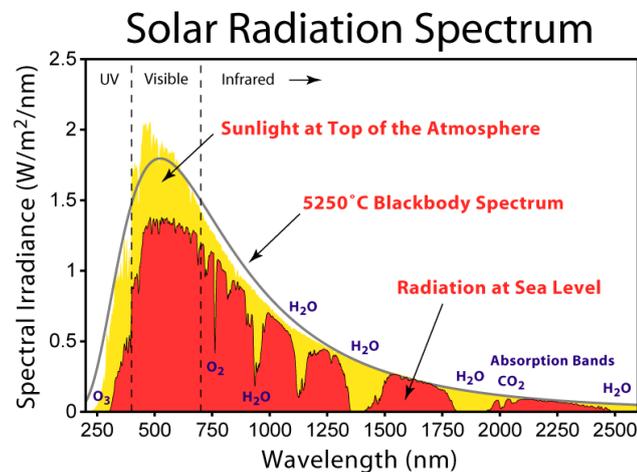
Figura 8 – Estrutura interna de uma célula de Silício (Si).



Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321

De acordo com Marques (2014), quando o vapor da água (H_2O), que esta na atmosfera, absorve parte da radiação solar do espectro da terra em sua superfície, esse espectro é alterado. Essa radiação solar pode ser dividida em radiação direta, que é quando a radiação recai diretamente sobre as células sem nenhuma interferência, e radiação difusa, que se caracteriza quando há algum tipo de ofuscamento ou espelhamento da radiação, seja ela feita por nuvens, prédios, ou outras coisas que a desvie do foco. Na figura 9, podemos ver uma relação entre o comprimento de onda (Wavelength) e a irradiância espectral (Spectral Irradiance) do espectro de radiação para a luz do sol, no topo da atmosfera e no nível do mar.

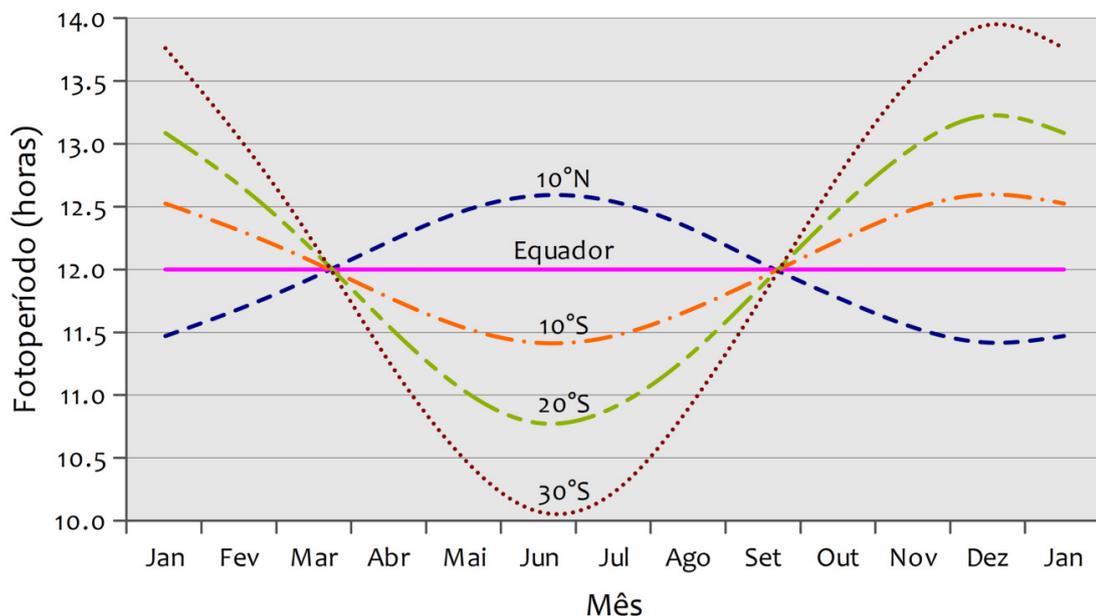
Figura 9 – Espectro de radiação solar (Solar Radiation Spectrum) para luz direta no topo da atmosfera da Terra e no nível do mar.



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png

De acordo com Pereira et al. (2017), os conceitos astronômicos estão profundamente ligados a disponibilização do recurso energético solar. Um dos fatores que devem ser levados em consideração, é a posição relativa do Sol em relação à Terra. A Terra está orbitando o Sol a um distanciamento médio, em torno de 150 milhões de quilômetros, tendo um ciclo completo a cada 365,25 dias solares. O fluxo de radiação solar médio definido como constante solar é de 1366 W/m^2 . O quanto irá durar o dia e o quanto de energia solar incidirá em um ponto da superfície da Terra, mostra uma variação específica do ciclo anual e do ciclo diário. O ciclo anual acontece em decorrência da inclinação de $23,45$ graus do eixo axial do planeta em relação ao plano de órbita da Terra ao redor do Sol. Na figura 10, podemos ver a variação da extensão do dia durante o ano para diferentes latitudes. A duração do dia está profundamente ligada às estações do ano, estações estas, que são estabelecidas pelos solstícios e equinócios. Solstício é quando o Sol chega ao maior declínio em latitude medida partindo do Equador. O equinócio é o momento em que o Sol, em sua órbita, crusa o Equador.

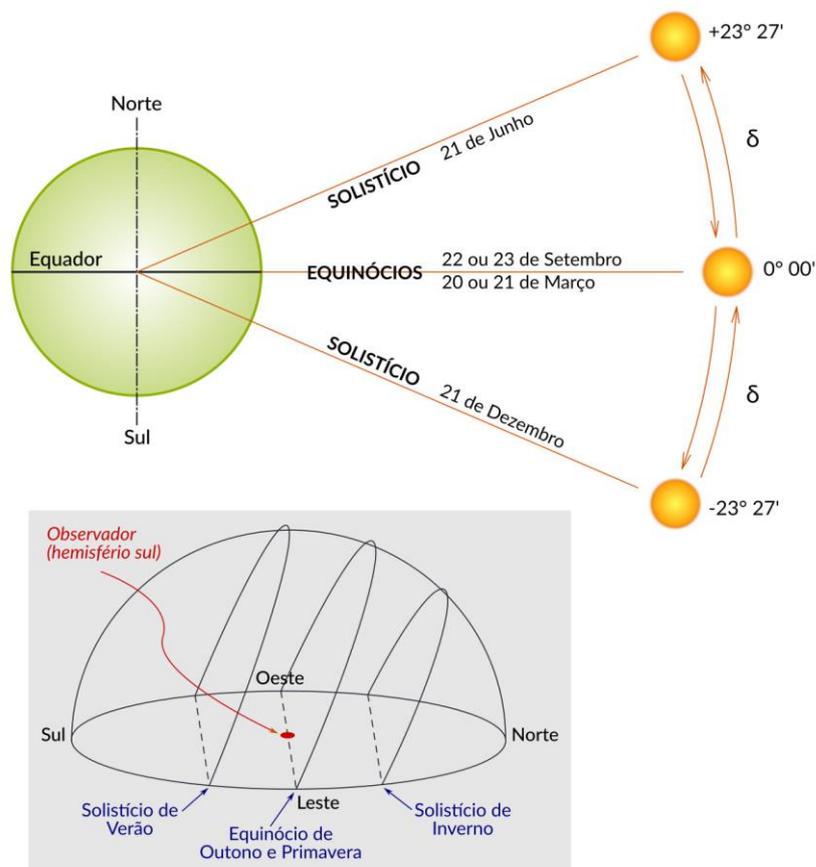
Figura 10 – Variação do fotoperíodo ao longo do ano para diferentes latitudes



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª edição

Ainda segundo Pereira et al. (2017), o ângulo produzido em função da inclinação do plano equatorial da Terra e o curso traçado entre o Sol e a Terra, é chamado de declinação solar e é representado pelo símbolo (δ). Mostrando uma oscilação entre os ângulos $-23^\circ 27'$ e $+23^\circ 27'$ durante o período de um ano, conforme podemos conferir na figura 11. No momento em que o curso traçado entre o Sol e a Terra cruza o hemisfério sul, essas declinações passam a ser consideradas negativas.

Figura 11 - Abrangência de valores do ângulo de declinação.

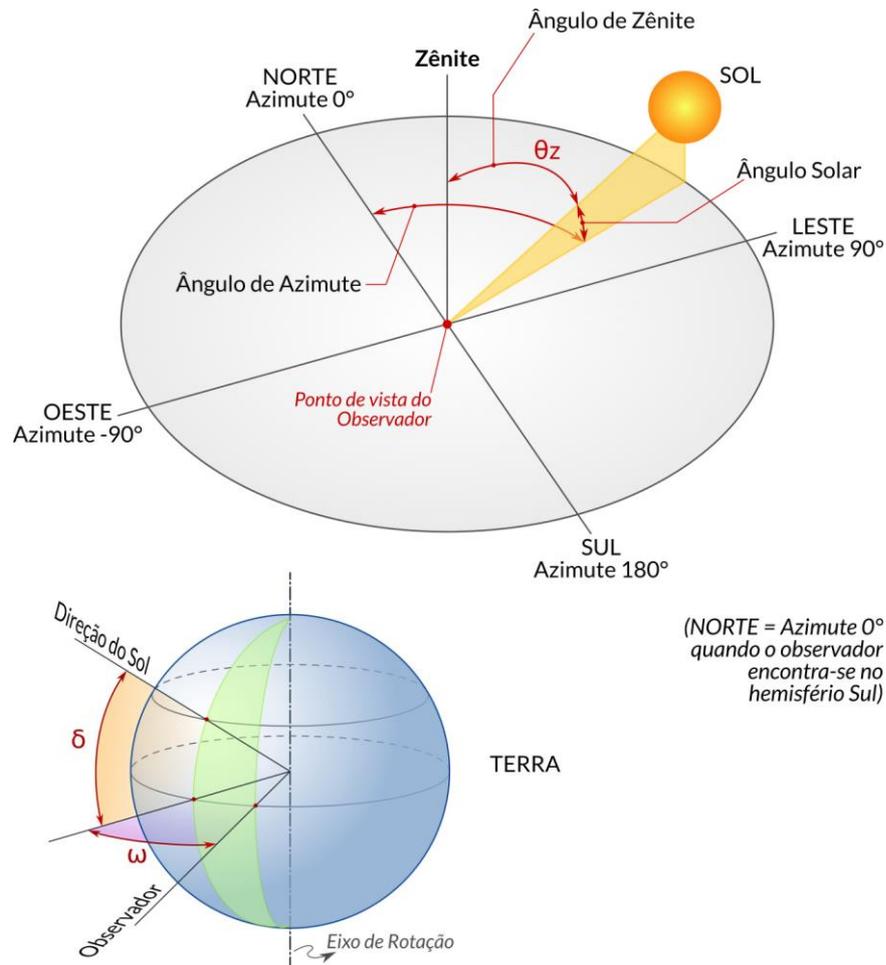


Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª edição

Pereira et al. (2017) ainda diz que, não só durante o movimento de translação orbital, como também, durante o movimento de rotação da Terra em torno do seu próprio eixo, está diretamente ligado ao ciclo diário da variação da energia incidente que provem do Sol. Para retratar esse ciclo de variação da radiação solar que atinge o topo da nossa atmosfera, é preciso utilizar de conceitos e ângulos representados na figura 12. O ângulo horário solar (ω) refere-se ao deslocamento angular do movimento

aparente do Sol em virtude da rotação da terra, variando entre -180° e $+180^\circ$, com cada hora correspondendo a uma variação de 15° . O ângulo zenital solar (θ_z) diz respeito ao ângulo que se forma entre a vertical do ponto de observação e o sentido da linha que está ligando o mesmo local da superfície da Terra ao Sol. Para calcular este ângulo são necessários os valores de latitude do local (φ), declinação solar (δ) e o ângulo horário solar (ω). Durante o nascer ou por do Sol, o ângulo zenital é de 90° . O ângulo azimutal do Sol é composto pela linha projetada no sentido do Sol no plano horizontal, juntamente com o meridiano do observador, variando entre -180° e $+180^\circ$. Com o entendimento dessas variáveis geométricas é possível especificar a localização do Sol em relação a algum ponto da superfície da Terra.

Figura 12 - Ângulos notáveis solares



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª edição

2.2.3 Segunda geração de células

Conforme Marques (2014), se compararmos as células solares de primeira geração, com às de segunda, veremos que às de primeira geração, em virtude de seu coeficiente de absorção mais baixo, demanda um nível de material muito alto em sua estrutura (entre 200 e 500 micra). Com a utilização de materiais amorfos, nos quais possuem um coeficiente de absorção bem mais elevado, foi possível reduzir a espessura das células de forma considerável, tendo em vista que as células utilizaram poucas micra em sua estrutura, sendo colocadas na forma de filmes finos, que é a forma como são conhecidas as células fotovoltaicas de segunda geração.

Ainda de acordo com Marques (2014), a vantagem obtida pela menor quantidade de materiais utilizados, se contrapõem à uma menor eficiência e vida útil em relação aos materiais cristalinos.

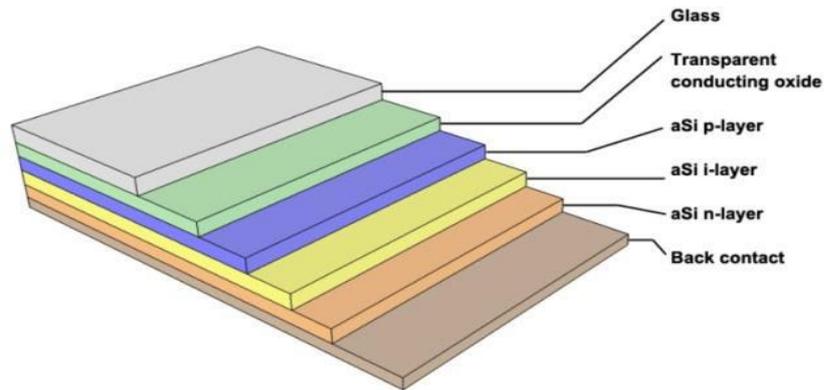
Marques (2014) ainda pondera que, as células fotovoltaicas de filmes finos podem ser dispostas em estruturas distintas como o plástico, vidro ou metal. Sendo os três materiais mais utilizados em sua estrutura, o silício amorfo (a-Si) com 13% de eficiência, o telureto de cádmio (CdTe) com 17% eficiência, e as ligas de cobre índio gálio selênio (CIGS) com 20 % de eficiência. A porcentagem de eficiência citada, é o maior valor obtido por cada material.

2.2.3.1 Células de (a-Si)

Marques (2014) argumenta que, diferentemente das células já estudadas até agora que utilizam estruturas do tipo p-n, as células de silício amorfo (a-Si) possuem uma camada intrínseca, tipo i, em sua estrutura demonstrada na figura 13, formando assim, uma estrutura do tipo p-i-n. Estas células quando fabricadas, utilizam como matéria prima para a formação do semicondutor amorfo, o silano (SiH_4), tornando o (a-Si) hidrogenado, e formando o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H). Tendo o hidrogênio, a função de eliminar as ligações contidas em materiais que não são hidrogenados, como é o caso do (a-Si). As células de (a-Si:H) não são recomendadas

para projetos de grande porte, devido ao seu nível de degradação com a iluminação, elas são mais utilizadas em aparelhos eletrônicos de pequeno porte.

Figura 13 – Estrutura interna de uma célula de (a-Si)



Fonte: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursosofrancisco.pdf>

Sobrinho (2016) alega que, as células de filmes finos de (a-Si:H) são produzidas com temperaturas baixas, utilizando-se de substâncias de menor custo, obtendo, desta forma, placas solares semitransparentes e flexíveis como o exemplo da figura 14. Devido as suas características, elas são muito utilizadas em projetos que possuem essa estética como um dos seus fundamentos principais.

Figura 14 – Célula fotovoltaica de a-Si

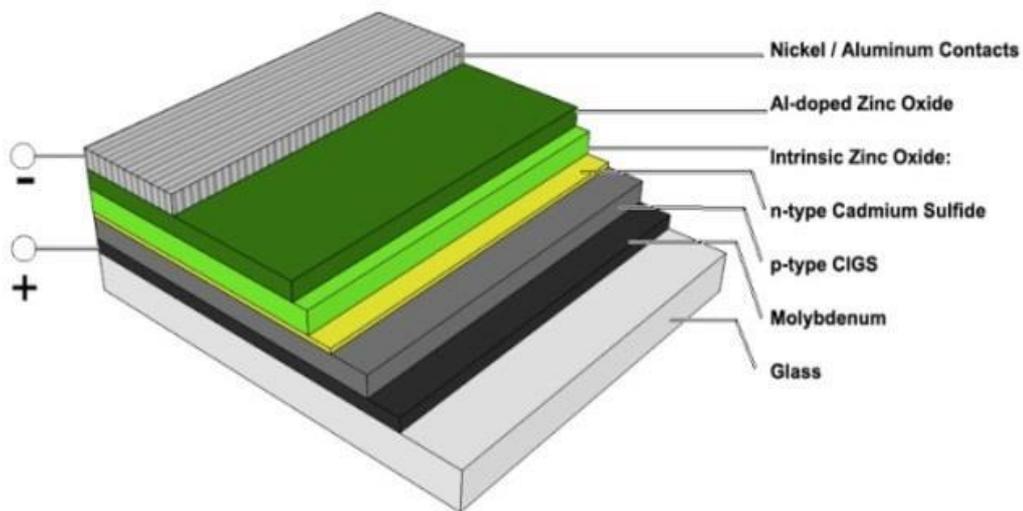


Fonte: <http://nature-log.blogspot.com/2010/01/types-of-solar-cells.html>

2.2.3.2 Célula Solar de (CIGS)

Dissertando sobre as células de cobre-índio-gálio-selênio (CIGS), Marques (2014) diz que estas células podem chegar a um nível de eficiência de 20%. As células (CIGS), apresentam uma forma de funcionar parecida com às de silício, entretanto nelas se formam uma heterojunção com o sulfeto de cádmio (CdS), formando assim, uma célula extremamente absorvedora e muito fina, diminuindo consideravelmente a quantidade de material em sua estrutura, demonstrada na figura 15. uma das formas de preparação destas células é a técnica conhecida como sputtering, que é a deposição física de materiais utilizando um gás ionizado para isso. Fazendo com que um alvo com cobre, índio e gálio seja colocado em temperaturas baixas e cozido novamente em atmosfera de selênio.

Figura 15 – Estrutura interna de uma célula (CIGS)

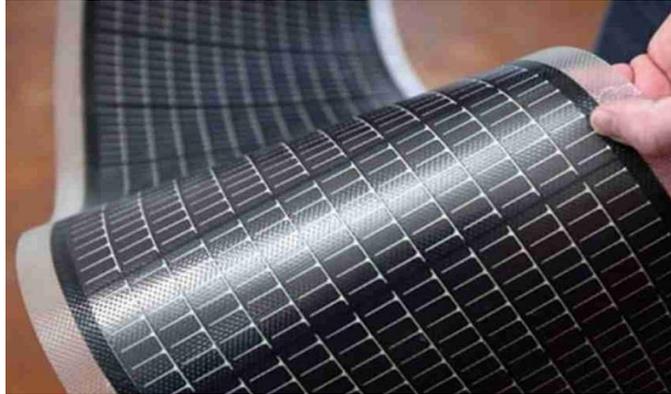


Fonte: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursofrancisco.pdf>

Segundo Sobrinho (2016), entre todas as células de segunda geração, conhecidas como células de filmes finos, as de (CIGS) obtiveram os melhores níveis de eficiência dos últimos 20 anos, além de possuírem uma ótima fisionomia e serem flexíveis como mostra a figura 16. Porém, para que ela se torne mais difundida no mercado, é necessário melhorar a forma na qual é produzida, reduzindo o seu custo,

que é alto, em função da sua complexidade e da baixa quantidade disponível dos materiais que a compõem.

Figura 16 – Célula solar de CIGS

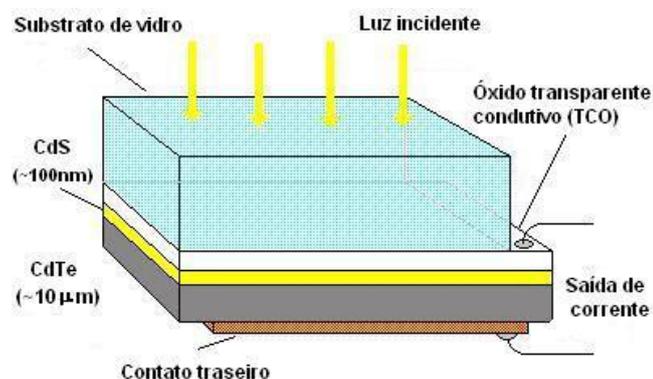


Fonte: <https://canalsolar.com.br/filmes-finos-cigs-uma-alternativa-ao-silicio-cristalino/>

2.2.3.3 Células fotovoltaicas de (CdTe)

De acordo com Falcão (2005), as células solares de CdTe têm a sua estrutura formada através de uma heterojunção de sulfeto de cádmio (CdS) com o telureto de cádmio (CdTe), representada na figura 17, onde esses materiais formam uma junção p-n de semicondutores diferentes, na qual o 'p' é o semiconductor CdTe e o 'n' é o CdS, juntando-se a uma camada de óxido transparente condutivo e uma camada de substrato de vidro, formando assim, a estrutura que obteve maior sucesso na fabricação destas células, diminuindo o custo e aumentando a sua eficiência.

Figura 17 – Estrutura interna de uma célula de CdTe

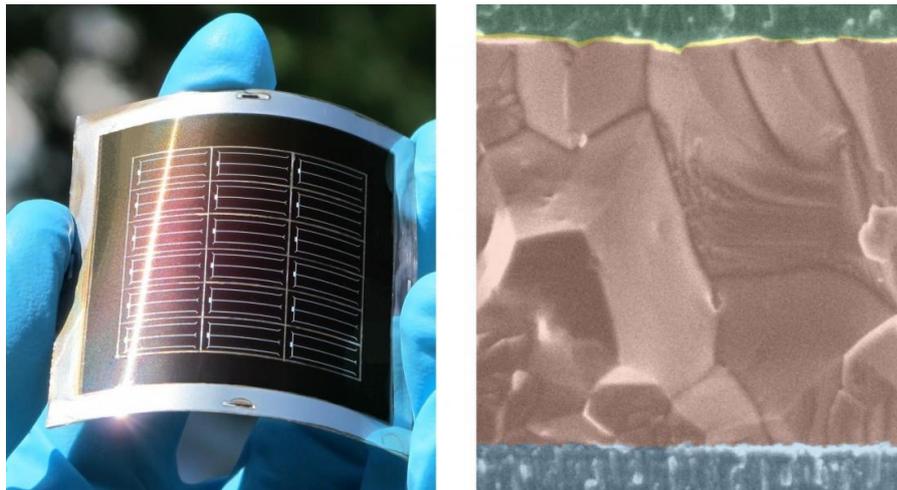


Fonte: http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/dissertacaofinal_viviennedenise.pdf

Conforme Sobrinho (2016), as maiores preocupações a serem levadas em conta com relação a essas células, primeiramente seriam os impactos gerados pela contaminação do cádmio, que é um material extremamente tóxico, e em segundo lugar, o telúrio que está cada vez mais escasso. Desta forma, evidencia a importância da reciclagem correta dessas células, evitando a emissão do cádmio e reutilizando o telúrio.

Marques (2014) diz que estas células podem ser colocadas sobre diversos tipos de substratos, sólidos ou flexíveis, aplicando o CdTe em forma de filme fino. Na figura 18 podemos ver uma célula fotovoltaica de CdTe colocada sobre um metal flexível, e ao lado, uma ampliação microscópica de sua estrutura.

Figura 18 – Célula fotovoltaica de CdTe com uma ampliação microscópica de sua estrutura ao lado



Fonte: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursofrancisco.pdf>

2.2.4 Terceira geração de células

De acordo com Sobrinho (2016), o principal objetivo da terceira geração de células fotovoltaicas está em aumentar os níveis de eficiência, e para isso utilizaram todas as vantagens obtidas através das células de primeira e segunda geração. Além disso, a proposta é que estas células não utilizem de materiais que sejam tóxicos, e também não utilizem de materiais escassos, dando preferência a materiais que

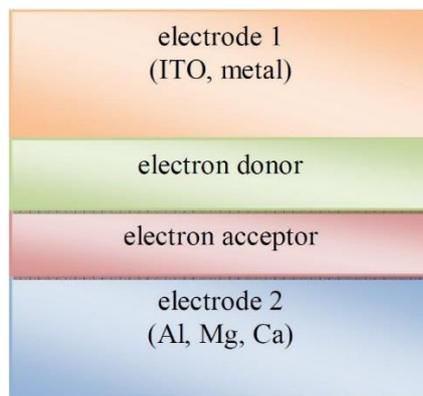
tenham uma grande disponibilidade, para que o próprio possa ser utilizado em produções de grande escala. Também levando em consideração algumas características das células de segunda geração, como a flexibilidade o baixo peso e a semitransparência.

Já Marques (2014), ressalta que na terceira geração de células, as mais utilizadas são as orgânicas, as de corante e as de multijunção. Sendo que ainda existem outros tipos sendo estudados.

2.2.4.1 Células orgânicas

Segundo Marques (2014), as células orgânicas possuem estruturas físicas semelhantes à de células de segunda geração, de filmes finos, sendo produzidas em temperaturas baixas e dispostas em substratos flexíveis, para isso, utilizam-se de processos livres de sistemas de vácuo. A eficiência obtida por essas células ainda é relativamente baixa, tendo recentemente chegado a valores em torno de 10%. Em sua estrutura representada na figura 19, teremos um semicondutor polimérico que absorverá a luz e trabalhará doando elétrons, e este será colocado em cima de outro semicondutor polimérico, que trabalhará aceitando os elétrons. Esses dois semicondutores poliméricos são dispostos entre dois eletrodos, sendo um de óxido índio estanho (ITO), e outro de algum metal, como o alumínio (Al). Formando assim, uma estrutura conhecida como heterojunção planar doador-aceitador.

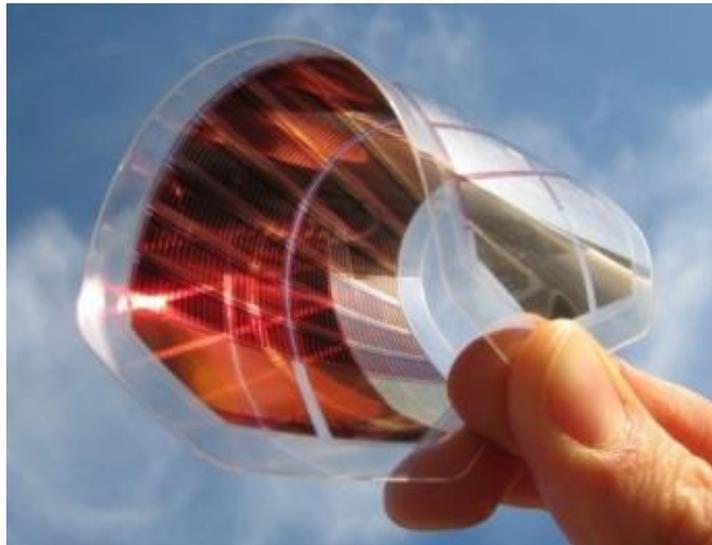
Figura 19 – Estrutura interna de uma célula orgânica



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Organic_solar_cell

Sobrinho (2016), disserta que as células orgânicas, representada na figura 20, em função de terem um baixo custo de produção e utilizarem substratos flexíveis, despertam um grande interesse, porém esbaram em sua baixa eficiência, que é um fator a ser aprimorado na síntese de novos materiais e no processo de fabricação e compressão de sua estrutura.

Figura 20 – Célula solar orgânica



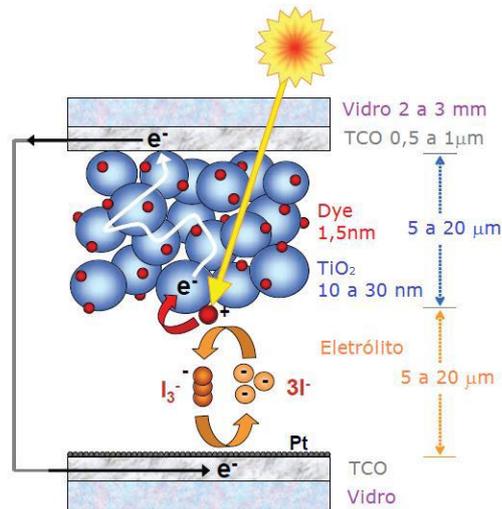
Fonte: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursosfrancisco.pdf>

2.2.4.2 Células à base de corantes

Marques (2014) argumenta que, as células de corante, conhecidas como células Grätzel, utilizam um princípio distinto das células de gerações anteriores, pois nestas células, os fótons são absorvidos por moléculas, corantes, nos quais a absorção na faixa de luz dependerá das características dessas moléculas. Desta forma, sua eficiência dependerá do tipo de corante que for usado. A maior vantagem dessas células em relação as células de outras gerações, está na maior facilidade do seu processo de fabricação. Em sua estrutura representada na figura 21, demonstra como os elétrons agem quando excitados nas moléculas dos corantes, sendo transferidos para uma estrutura de nanopartículas de óxido de titânio (TiO_2), que chegarão ao contato frontal, que é composto por um óxido transparente condutor

(TCO, do inglês, Transparent Conductive Oxide). Uma solução com eletrólitos guiará os elétrons do eletrodo traseiro, feito de nanopartículas de platina (Pt), até as moléculas do corante.

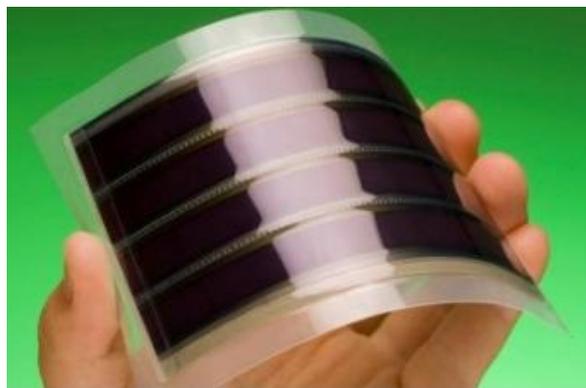
Figura 21 – Estrutura interna de uma célula de corante (Grätzel)



Fonte: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursofrancisco.pdf>

Sobrinho (2016), destaca o fato das células de Grätzel estarem no grupo das células de filmes finos, como podemos ver na figura 22, o baixo custo de sua produção e a utilização de materiais em sua composição, que são encontrados em grande quantidade e não são tóxicos. Seu nível de eficiência tem aumentado com o passar do tempo, chegando a um recorde de 12%, o que ainda é pouco comparado a outras células.

Figura 22 – Célula corante (Grätzel)

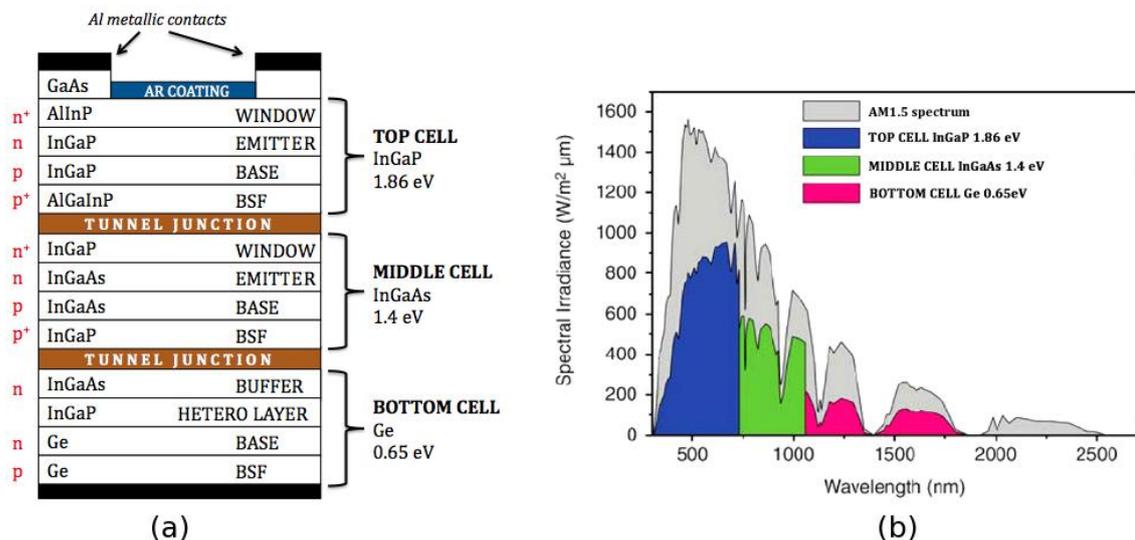


Fonte: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursofrancisco.pdf>

2.2.4.3 Células Solares de multijunção

Para Marques (2014), uma forma de aproveitar melhor o espectro solar, seria a utilização de células solares com várias junções, sendo que cada uma dessas células será formada por um semiconductor com banda proibida diferente, fazendo com que o espectro solar seja aproveitado da melhor maneira possível. Com essa estrutura de junção de células já se obteve um nível de eficiência máxima de 45%. Na figura 23a podemos observar a estrutura de uma célula com três junções, e ao lado na figura 23b temos uma relação da radiação espectral pelo comprimento da onda, mostrando o nível de eficiência de transformação de eletricidade para cada uma das três junções em relação ao comprimento da onda.

Figura 23 – a) Estrutura interna de uma célula de multijunção. b) região de atuação de cada uma das células no espectro solar.



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-junction_solar_cell

O quadro 1, apresenta um breve resumo sobre as células fotovoltaicas de primeira e segunda geração, mostrando os seus níveis de eficiência, a duração ao longo de sua vida útil, se são flexíveis ou não, uma relação entre os seus custos de produção e os níveis de toxicidade durante a sua produção. As células de terceira geração não foram citadas em função de ainda estarem em desenvolvimento, sendo que, uma das propostas no desenvolvimento dessas células, está em corrigir pontos

que possam ser considerados de negativos das tecnologias utilizadas nas células de primeira e segunda geração, como por exemplo, a não utilização de materiais tóxicos e de materiais que possam ser considerados escassos, para que possa ser possível uma produção em grade escala. E também, a utilização de todas as vantagens já adquiridas até agora com as células anteriores, como por exemplo a flexibilidade e o baixo peso. Melhorando a sua eficiência e vida útil.

Quadro 1 – Resumo sobre as células fotovoltaicas

Tipo de célula	Eficiência	Duração	Flexível	Custo de produção	Toxicidade durante a produção
Silício monocristalino (m-Si)	entre 15 e 20%	Longa	Não	Médio	Baixo
Silício policristalino (p-Si)	entre 11 e 14%	Longa	Não	Baixo	Baixo
Silício amorfo (a-Si)	13%	Baixa	Sim	Médio	Baixo
Telureto de Cádmio (CdTe)	17%	Baixa	Sim	Alto	Alto
cobre índio gálio selênio (CIGS)	20%	Baixa	Sim	Alto	Alto

Fonte: autor

2.3 Bateria automotiva

De acordo com Bosch (2007), a bateria é um equipamento eletroquímico, que tem como finalidade a transformação da energia química em energia elétrica. Porém, como esta ação de transformação é reversível, transformando a energia elétrica em química, possibilita que a bateria possa, além de armazenar energia, possa também passar por centenas de ciclos de carga e descarga.

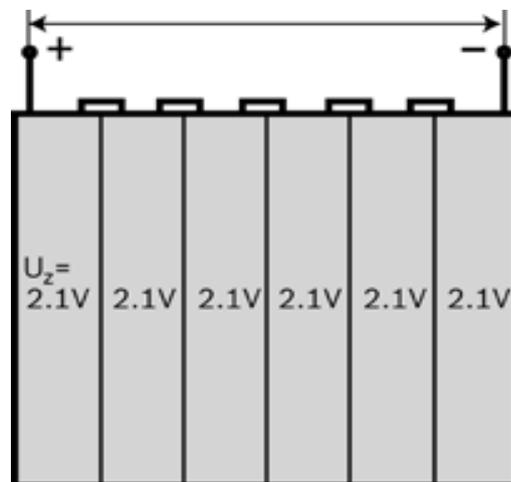
2.3.1 Funcionamento

Conforme Bosch (2007), no automóvel, a bateria tem a função de armazenar quimicamente a energia elétrica fornecida pelo alternador, possibilitando que essa

energia armazenada seja utilizada, quando o automóvel estiver desligado, para dar partida no motor, fornecendo uma alta corrente por um curto espaço de tempo, até que o motor comece a girar, e por consequência, o alternador. Entretanto, durante períodos de baixa rotação do motor, em que o alternador não consiga suprir a demanda de energia consumida pelo veículo, a bateria deve complementar a energia que falta para que o veículo continue funcionando normalmente. Desta forma, a bateria conhecida como “bateria de partida” também terá que atuar, em alguns casos, após a partida do veículo.

Ainda, segundo Bosch (2007), a bateria automotiva é composta pela junção de seis células. Estas células são formadas, cada uma, por um eletrodo positivo, um eletrodo negativo, um separador e o eletrólito. Sendo elas as responsáveis pelo armazenamento da energia elétrica. A tensão final da bateria de 12 volts, é obtida através da conexão das seis células em um circuito série, fazendo com que a tensão de cada célula, que é de aproximadamente 2.1 volts, seja somada. Conforme é demonstrado na figura 24.

Figura 24 – Tensão em cada célula da bateria



Fonte: Manual de Baterias Bosch, 2007

Bosch (2007) ainda diz que, a capacidade de uma bateria é dada pelo produto da corrente em função do tempo, ampere-hora (Ah), sendo ela, traduzida na potência elétrica que será utilizada pelo automóvel. Independentemente de a bateria estar ou não ligada à algum dispositivo, ela seguirá um ciclo de auto descarregamento, em

função das reações químicas continuarem a ocorrer internamente. O antimônio é um dos responsáveis por esta autodescarga, sendo utilizado para endurecer as grades de chumbo. Em baterias mais atuais, tem-se conseguido reduzir esse índice de autodescarga, diminuindo a quantidade de antimônio utilizada e substituindo-o por outras ligas. Com isso, alcançou um índice de autodescarga inferior a 0,1% da capacidade total da bateria por dia.

2.3.1.1 Recarga das baterias

Bosch (2007) destaca que, antes de iniciar o processo de recarga da bateria, devemos nos atentar aos seguintes passos: primeiro, deve ser verificado se o espaço entre as baterias corresponde a no mínimo 20 mm. O segundo passo, será colocar apenas baterias com mesma capacidade e estado de carga, recarregando no mesmo circuito. O terceiro passo, será ligar todas as baterias em série. E por fim, verificar todas as conexões antes de iniciar a recarga.

Ainda, de acordo com Bosch (2007), na recarga com corrente constante, a tensão deve ir aumentando gradativamente, com uma corrente constante de 10% da capacidade da bateria. O tempo de recarga pode chegar a 15 horas, conforme o quadro 2, dependendo do estado da bateria.

Quadro 2 – Tempo de recarga com corrente constante

Tensão da bateria em vazio (Volts)	Tempo de recarga (horas)
12,00 a 12,20	4,5
11,80 a 11,99	7,0
11,50 a 11,79	9,0
11,00 a 11,49	11,0
Baterias profundamente descarregadas	15,0

Fonte: adaptado - Manual de Baterias Bosch, 2007

Conforme Bosch (2007), na recarga com tensão constante, a tensão aplicada deve ser de 14,4 volts, com uma corrente limitada a 25 amperes. O tempo de recarga

pode chegar a 30 horas, demonstrado no quadro 3. Em ambos os processos de recarga, a temperatura da bateria não poderá passar de 50°C.

Quadro 3 – Tempo de recarga com tensão constante

Tensão da bateria em vazio (Volts)	Tempo de recarga (horas)
12,00 a 12,20	6 a 12
11,80 a 11,99	10 a 16
11,50 a 11,79	16 a 20
11,00 a 11,49	20 a 24
Baterias profundamente descarregadas	24 a 30

Fonte: adaptado - Manual de Baterias Bosch, 2007

2.3.2 Bateria estacionária

De acordo com Moura (s.d), a bateria estacionária acumula energia elétrica para que possa ser disponibilizada em um determinado momento, possuindo uma quantidade menor de energia para uma partida, entretanto, proporcionando o uso da energia acumulada por muito mais tempo. Em função de possuírem placas mais grossas, elas conseguem passar por vários ciclos de descarga. Essas baterias foram projetadas para impedir a estratificação do eletrólito, que é a destruição interna da bateria quando própria fica o tempo todo sem movimento (estacionada).

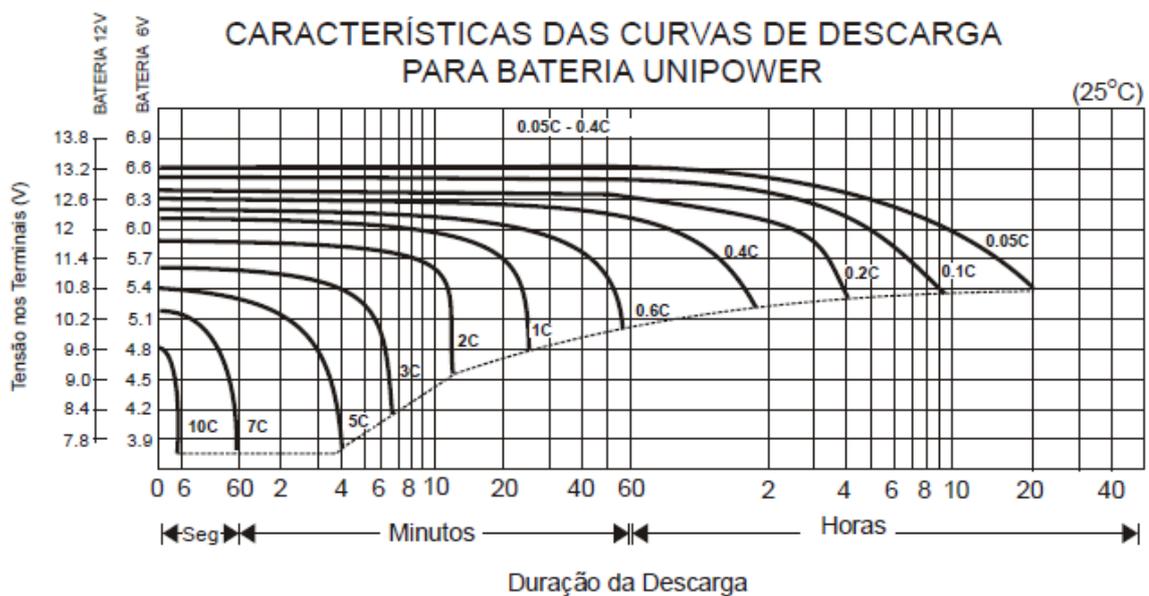
Segundo Unipower (s.d), devido às baterias possuírem um comportamento linear, quanto maior for a sua corrente de descarga, menor será a capacidade e autonomia da própria. A vida útil da bateria pode ser maximizada, mantendo a sua temperatura de operação em torno de 25°C. As baterias são formadas por elementos ou células de 2 Volts, elementos estes, que são adicionados até atingir a tensão desejada na bateria, como no exemplo de uma bateria de 12 Volts, serão necessários 6 elementos de 2 Volts para atingir essa tensão.

Ainda, segundo Unipower (s.d), não é necessário conferir a densidade do eletrólito, bem como adicionar água na bateria durante a sua vida útil, pois a operação

da mesma é livre de manutenção. As baterias possuem válvulas de segurança de baixa pressão, que abrem e fecham no automático, liberando os gases em excesso quando a pressão interna ultrapassar o nível normal. Baterias com capacidade igual ou maior que 30 Ah, sendo utilizadas em condições normais de flutuação, têm uma vida útil de 10 a 12 anos. Já as baterias com capacidade menor que 30 Ah terá uma vida útil de 5 a 7 anos.

Unipower (s.d) ainda diz que, é de aproximadamente 3% ao mês a taxa de descarga da bateria armazenada à 20°C, podendo essa taxa variar de acordo com a temperatura de armazenamento. Se a bateria descarregar abaixo da tensão de corte recomendada, perderá sua capacidade nominal e vida útil, chegando a 0V/elemento e continuando assim por um longo período sem carga, sofrerá sulfatação, aumentando sua resistência interna. Na figura 25, podemos ver a curva característica de descarga de baterias Unipower em uma temperatura de 25°C.

Figura 25 – Curva característica de descarga

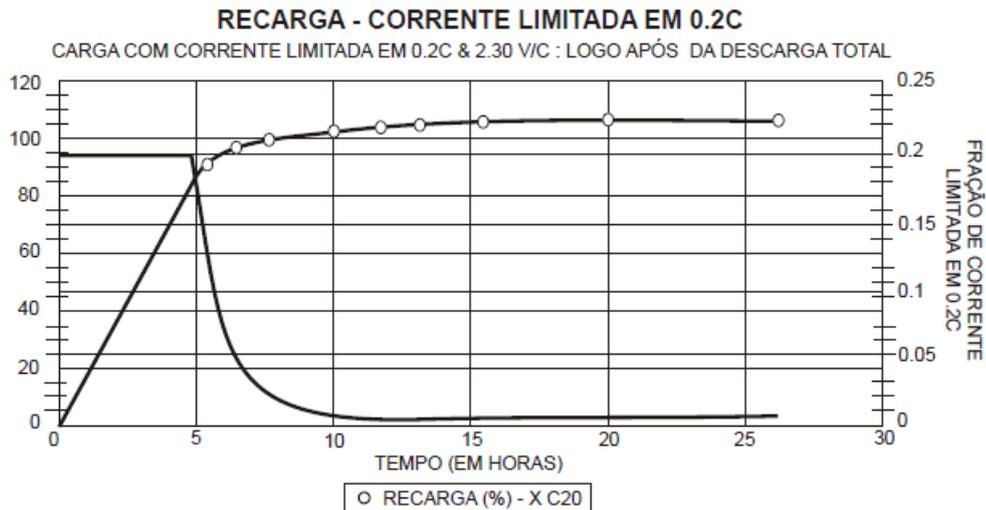


Fonte: Manual Técnico Unipower

Conforme Unipower (s.d), a melhor e mais utilizada forma de recarga da bateria, é a carga por tensão constante e corrente limitada. Na figura 26, podemos ver a relação entre o tempo de carga em horas e a corrente limitada. A carga por corrente constante, apesar de não ser muito comum, é uma forma eficiente de recarregar

muitas baterias ao mesmo tempo e corrigir diferenças de capacidades que existam entre elas.

Figura 26 – Recarga com corrente limitada



Fonte: Manual Técnico Unipower

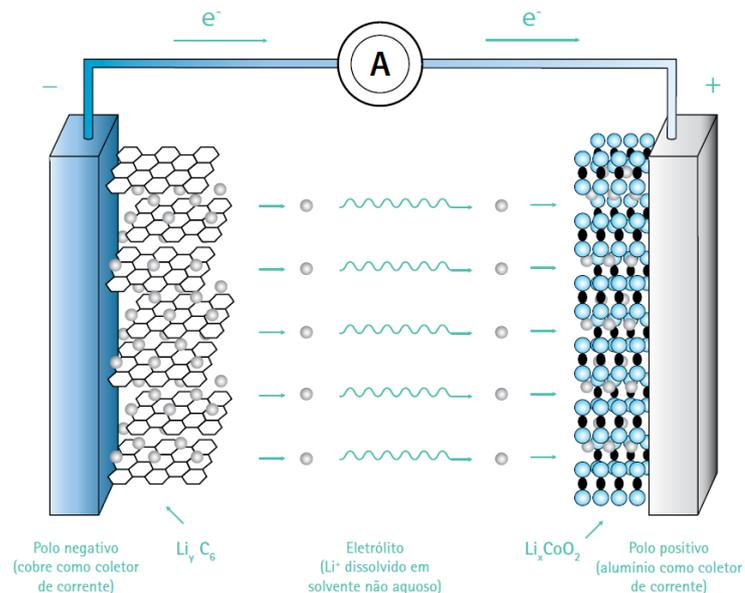
2.3.3 Bateria para veículo elétrico

De acordo com Santos (2018), a bateria à base de íons lítio tem sido muito utilizada em veículos elétricos. Formada pelo agrupamento de várias células galvânicas, até que atinja os níveis de tensão e corrente essenciais para o funcionamento do veículo. Estas células são controladas pelo Sistema de Controle e Monitoração da Bateria (Battery Management System – BMS). Esse sistema, através de um circuito eletrônico prevenirá qualquer condição de risco para as baterias. O veículo elétrico trabalha com uma tensão entre 300V e 600V, para chegar a esses valores de tensão, é feita uma interligação das células em série e/ou paralelo.

Ainda, segundo Santos (2018), devido a utilização dos íons lítio no eletrólito, sob o formato de sais de lítio diluídos em solvente não aquoso, ao invés de usar o lítio metálico como eletrodo, levou a denominação de baterias de íons lítio. Na figura 27, podemos ver o que acontece quando a bateria começa a descarregar, onde os íons lítio vão do material do anodo para o material do catodo. Em suma, o desempenho da

bateria dependera do material utilizado no anodo e no catodo, tal que, esses materiais permitam que os íons lítio entrem e saiam de suas estruturas.

Figura 27 – Estrutura e funcionamento de uma bateria de íons lítio



Fonte: Revista IPT - Tecnologia e Inovação v.2, n.9, dez., 2018.

2.3.3.1 Baterias de íons lítio mais utilizadas nos veículos elétricos

Conforme Santos (2018), ao utilizar o fosfato de ferro e lítio (LiFePO_4), ou LFP, como é chamada, como material do catodo, torna a bateria de íons lítio mais estável sob condições adversas e mais tolerante a temperaturas elevadas. Os fosfatos demonstram uma eficácia teórica de 170 Ah/Kg e 3,4 Volts de tensão, tendo como maior vantagem em relação aos outros, o fato de ser mais estável junto ao eletrólito.

Santos (2018) pondera que, a bateria que utiliza o catodo formado por óxidos de níquel-manganês-cobalto e lítio (LiNiMnCoO_2), ou NMC, como é chamada, oferece uma energia específica muito maior que as outras, devido a sua composição química. Fazendo com que a sua taxa de autodescarga se torne muito baixa. Isso faz desta bateria uma das mais utilizadas pelos fabricantes de veículos elétricos.

Ainda, de acordo com Santos (2018), a bateria composta de óxido de alumínio-níquel-cobalto e lítio (LiNiCoAlO_2), ou NCA, como é chamada, apesar de ainda serem

fabricadas em pequenas quantidades, está agradando a indústria automotiva, devido ao seu alto desempenho, por ter uma alta energia e potência e um ciclo de vida mais duradouro.

Santos (2018) destaca que, entre os fabricantes de veículos elétricos (EV) e veículos elétricos híbridos plug-in (PHEV), é predominante a utilização da bateria NMC (LiNiMnCoO_2), em um levantamento realizado em 2017, conforme o quadro 4. Isso demonstra o quanto as montadoras priorizam o desempenho no conjunto dos elementos, na escolha da bateria.

Quadro 4 – Baterias utilizadas pelos carros elétricos e híbridos em 2017

Fabricante	Nome/Modelo	Tipo	Química da bateria
Audi	Audi Q7 e-tron	PHEV	NMC
BMW	BMW i3	EV	NMC
BYD	BYD E6	EV	LFP
Daimler	Smart Fortwo Electric Drive	EV	NCA
Fiat	Fiat 500e	EV	NMC
Ford	Ford C-Max Energi	PHEV	NMC
General Motors	Chevrolet Volt	PHEV	NMC
Hyundai	Hyundai Ionic Electric	EV	NMC
Karma	Karma Revero	PHEV	NMC
Kia	Kia Soul EV	EV	NMC
Mitsubishi	Mitsubishi Outlander	PHEV	NMC
Nissan	Nissan Leaf	EV	NMC
Porsche	Porsche Panamera 4 E-Híbrid	PHEV	NMC
Renault	Renault Zoe	EV	NMC
Tesla	Tesla Model SP 100D	EV	NCA
Toyota	Toyota Prius Prime	PHEV	NMC
Volkswagen	VW Passat GTE	PHEV	NMC

Segundo Santos (2018), estão realizando vários estudos com o nióbio sendo utilizado como material do catodo e do anodo. Tendo deixado o catodo com uma melhor condutividade eletrônica e estabilizado sua estrutura cristalina. Já no anodo, as pesquisas com o nióbio têm como objetivo, que ele substitua os materiais anódicos já conhecidos como o carbono grafítico e o titanato de lítio.

2.4 Veículos elétricos e híbridos

De acordo com Theotonio (2018), o veículo elétrico utiliza um sistema propulsor, impulsionado por um ou mais motores elétricos, o que o torna diferente do veículo que utiliza motor de combustão interna (MCI). Para que o motor funcione, a energia química das baterias é transformada em elétrica para a alimentação do motor, e este, transformará a energia elétrica em mecânica, que gerará o torque necessário para que o veículo se movimente. Já os veículos híbridos, utilizam duas formas diferentes para gerar o torque necessário para o seu movimento, utilizando-se de um MCI e um motor elétrico para isso, podendo optar entre ambos.

Conforme Batista et al. (2020), no Brasil, entre as décadas de 70 e 80, foi criado o primeiro veículo elétrico brasileiro, sendo o resultado da cooperação entre as empresas Gurgel S.A e Furnas Centrais Elétricas S.A. tendo como resultado desta cooperação, o surgimento do veículo elétrico Itaipu 400, mostrado na figura 28, que se tornaria uma alternativa para o mercado automotivo no Brasil. Entretanto, não obteve tanto sucesso quanto o esperado, devido ao seu alto custo de produção e a sua autonomia ainda ser muito baixa, associado a programas governamentais, como o pró-ácool. Esses fatores levaram a descontinuidade da produção do veículo.

Figura 28 – Primeiro veículo elétrico brasileiro – Itaipu 400

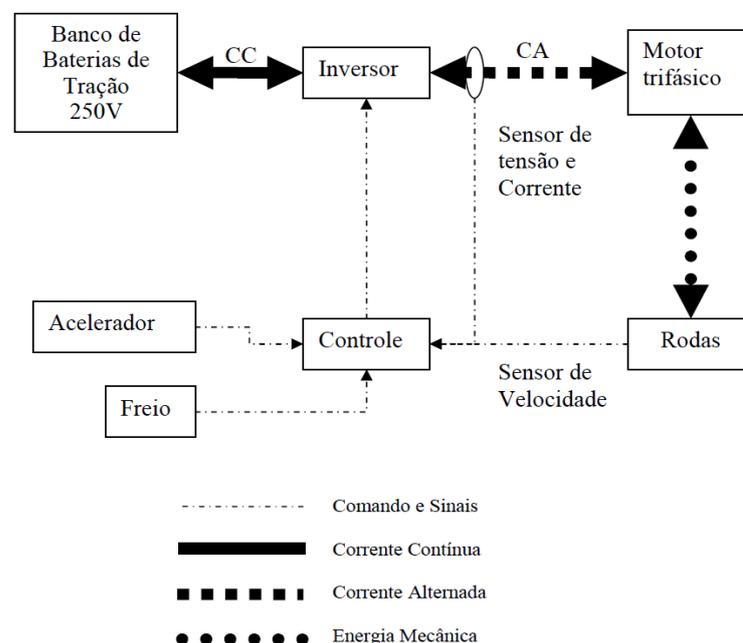


Fonte: <https://www.carrobrasil.com.br/noticia/gurgel-itaipu-o-primeiro-carro-eletrico-fabricado-na-america-do-sul>

2.4.1 Funcionamento

Segundo Noce (2009), o funcionamento do veículo elétrico se dá através de um fluxo de energia que acontece entre o banco de baterias, o inversor de corrente contínua para corrente alternada (CC/CA), o motor trifásico e as rodas, conforme demonstrado na figura 29, esse fluxo pode acontecer tanto em um sentido quanto para o outro. O banco de baterias transformará a energia química em elétrica e a enviará para o inversor CC/CA, que a converterá em corrente alternada para alimentar o motor trifásico, o motor por sua vez, transformará a energia elétrica recebida em energia mecânica, aplicando-a nas rodas, resultando no movimento do veículo. Durante o processo de frenagem, o banco de baterias receberá uma energia eletroquímica gerado através de um fragmento da energia cinética do movimento do veículo. Isto explica o fluxo energético acontecendo para ambos os lados no diagrama.

Figura 29 – Representação do funcionamento do veículo elétrico



Fonte: http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf

Conforme Vasconcellos (2022), os freios dos veículos elétricos possuem uma segunda função, além da sua função principal de parar o veículo. Quando o freio é acionado, ele passa a regenerar a energia cinética dissipada no momento da frenagem, transformando-a em eletricidade, que será enviada para a bateria. Esse

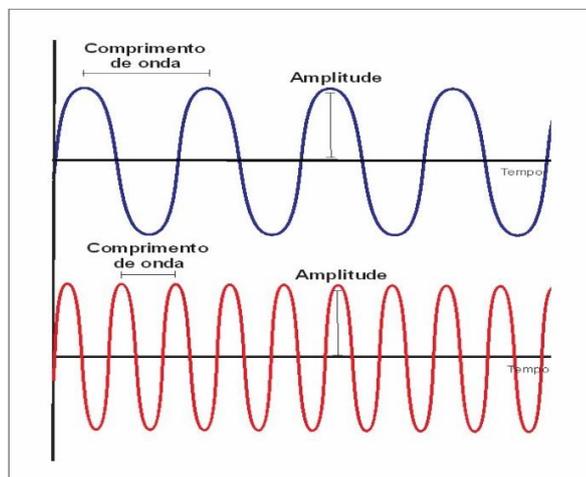
sistema ficou conhecido como frenagem regenerativa. Utilizando o movimento do veículo, no momento em que desacelera ou freia, para acionar um gerador e produzir energia utilizando o movimento das rodas. Nesse momento, o motor para de consumir energia da bateria e passa gerar eletricidade, sempre que o condutor do veículo retire o pé do acelerador ou comece a frear.

2.4.2 Inversores de frequência

De acordo com Fernandes (2015), para o funcionamento dos veículos elétricos e híbridos, além das baterias e do motor elétrico, temos um elemento fundamental para que seja possível o controle do motor, da velocidade e o do torque, que é o inversor de frequência. Sabendo que os inversores são responsáveis pela velocidade e o pelo torque, pode-se concluir que esse controle se dá através da manipulação do fluxo de energia geral, vinda do conjunto de baterias de grande armazenamento, essa topologia é a de VSI (Voltage source inverter), que é a topologia de alimentação trifásica.

Conforme Fernandes (2015), o VSI é responsável por fazer a modulação da frequência de trabalho que o motor utilizará, conforme figura 30, com esses fatores podemos determinar em qual velocidade o motor vai trabalhar, além de também termos em mente, que não podemos deixar os inversores trabalharem em uma região, ao qual não ocorra a saturação de circuito magnético.

Figura 30 – Controle da onda



Fonte: <http://celulaenergia.com/wp-content/uploads/2021/01/Imagem1.jpg>

2.4.3 Vantagens e desvantagens do veículo elétrico

Para Theotonio (2018), o veículo elétrico possui algumas vantagens se comparado aos outros, tais como a diminuição da poluição, devido a não emissão de nenhum gás de efeito estufa durante sua movimentação; diminuição dos ruídos emitidos, tendo um motor extremamente silencioso se comparado ao MCI; aumento da eficiência energética, por gastar menos energia para se locomover em um mesmo espaço; maior conforto para o usuário; e por fim, nos veículos híbridos, no momento da frenagem o motor elétrico se transforma em um gerador, transformando a energia cinética em elétrica, para usar no recarregamento das baterias.

Theotonio (2018) ainda disserta sobre as desvantagens do veículo elétrico, e entre elas podemos citar o seu alto custo, devido ao valor dos componentes e matéria prima utilizada, e o alto valor gasto em sua manutenção, uma vez que, a pouca mão de obra, faz com que aumente o seu preço; a autonomia adquirida ainda não é significativamente alta, mas a tecnologia empregada nas baterias tem melhorado nos últimos tempos, o que pode levar a uma maior autonomia; as baterias de lítio podem levar um tempo entre 6 e 8 horas para recarregar; no caso de a geração da energia utilizada para recarregar o veículo seja à base de combustíveis fósseis, como em termoelétricas, o carro elétrico não será assim tão ecológico, pois a poluição criada durante a geração da energia que recarregará o carro, pode ser muito mais prejudicial que a gerada por um carro com motor de combustão interna.

Ainda, segundo Theotonio (2018), as baterias de lítio têm uma vida útil média, em torno de oito e dez anos e no momento atual, poucas são as empresas especializadas em reciclagem desse tipo de material. O processo de reciclagem das baterias de lítio ainda não é padronizado, em função da diversidade de processos químicos que envolvem a sua produção. Um outro fator a ser levado em consideração é o nível de toxicidade de alguns elementos que são utilizados na bateria, como o cobalto por exemplo. Além disso, as baterias usam minerais nobres em sua composição e a extração desses minerais costuma ser prejudicial ao meio ambiente.

3 METODOLOGIA E MATERIAIS

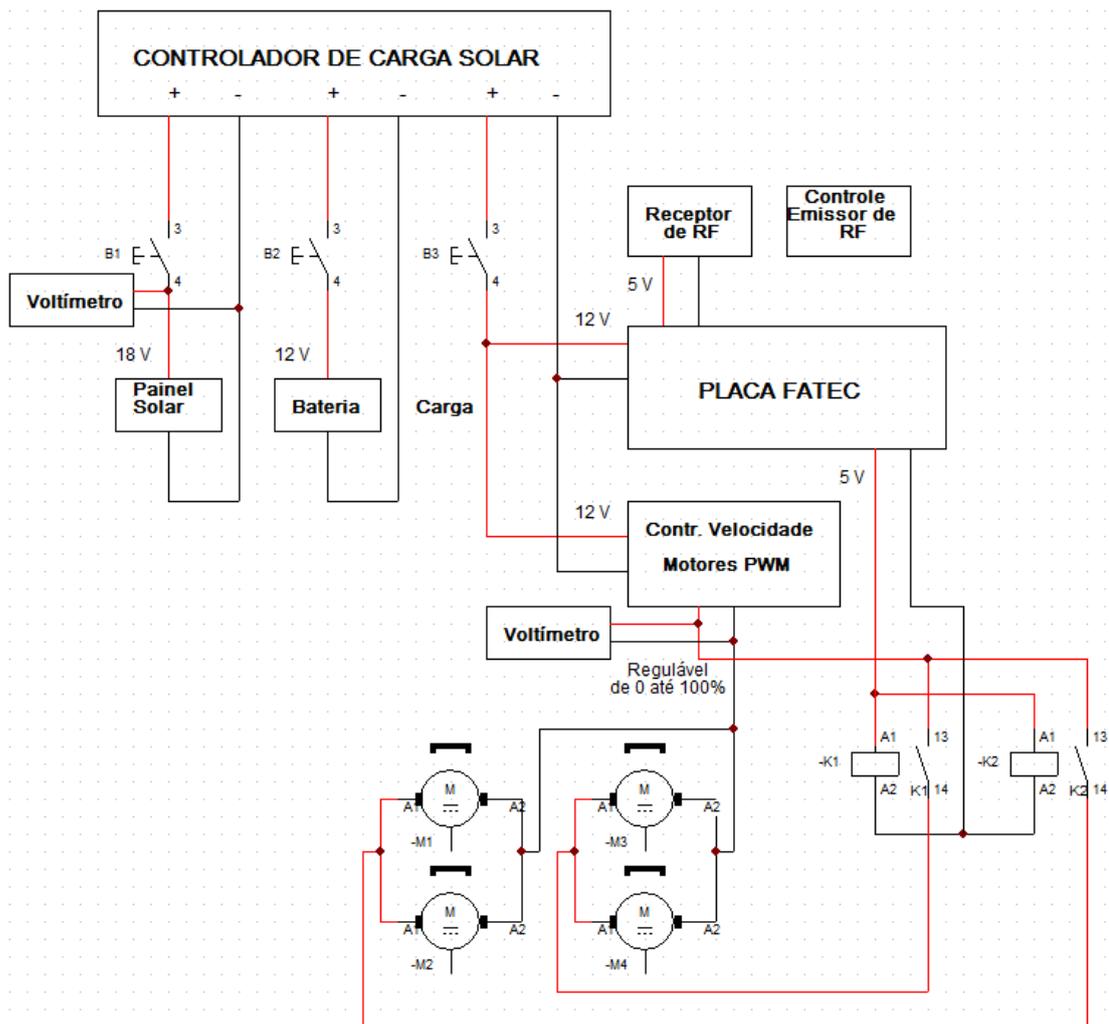
O método de análise, será através da coleta de dados gerados pelo protótipo montado em pequena escala, durante quatro finais de semana, totalizando oito dias de testes. A partir dos índices de radiação solar emitidos no dia do teste, juntamente com as condições climáticas do dia, poderemos aferir a tensão gerada pelo painel solar e o tempo levado para recarregar a bateria, com o painel solar exposto a determinado nível de radiação solar. Podendo calcular a potência total gerada em um determinado espaço de tempo, e verificar qual dos fatores climáticos têm a maior capacidade de interferir nos valores de tensão gerado pelo painel solar, e por consequência, aumentar o tempo de recarregamento da bateria em função de estar gerando uma potência menor que a nominal.

A montagem do protótipo partirá de uma placa de acrílico já furada, própria para protótipos, adicionando quatro motores DC 3-6V com caixa de redução, um para cada roda. Fixação da bateria estacionária de chumbo ácido de 12V / 1,3Ah no centro do acrílico, para que, com o seu peso, torne-se o ponto de equilíbrio do protótipo. Confeccionar três placas de acrílico para fixar o painel solar, o controlador de carga solar e o voltímetro com os botões de acionamento.

Os motores serão acionados em grupos de dois, ligados em paralelo, com um relê para o acionamento de cada grupo, tendo como fonte de alimentação, a saída da placa que controlará a velocidade dos motores por meio da modulação por largura de pulso (PWM), onde também terá um voltímetro mostrando a tensão nos motores. Esta placa será alimentada pela saída de carga do controlador de carga solar. O painel solar será ligado no controlador de carga, tendo o seu cabo positivo passando por um botão liga/desliga. Assim como o painel solar, a bateria também será ligada no controlador de carga, tendo o seu cabo positivo passando por um botão liga/desliga. A saída do controlador de carga que alimentará todo o protótipo, também terá o seu cabo positivo passando por um botão liga/desliga, botão esse, que controlará a alimentação da placa de controle de velocidade dos motores PWM, e da placa Fatec (hardware com pic 18F4550).

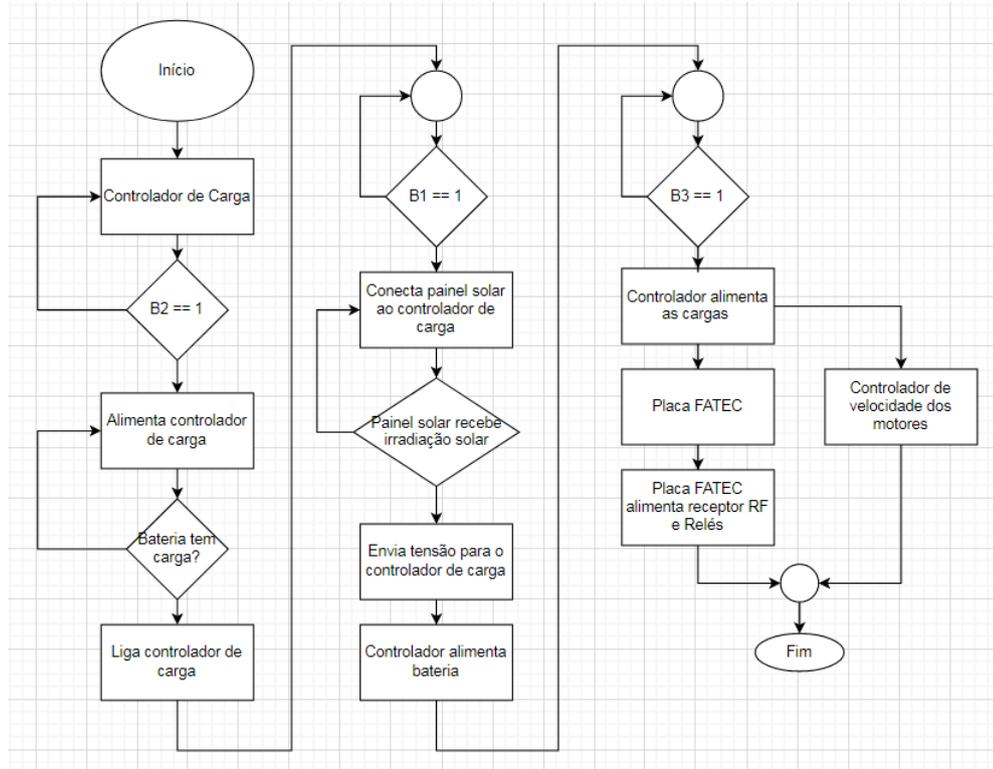
O funcionamento do protótipo, começará pelo painel solar enviando uma tensão em torno de 18 volts para o controlador de carga, e este, através de uma programação preestabelecida, enviará uma tensão de recarga para a bateria, e distribuirá a carga da bateria para todo o protótipo, podendo ser estabelecido o valor mínimo e máximo de tensão que alimentará a carga, que serão os componentes do protótipo. Quanto ao acionamento e movimentação do protótipo, será através de um controle emissor de radiofrequência que enviará o sinal para a placa receptora que estará interligada à placa Fatec, que através da programação do pic 18F4550, enviará o sinal de acionamento ao relé 5V, que por consequência, acionarão os motores. Conforme demonstrado no esquema elétrico da figura 31 e de forma simplificada no fluxograma da figura 32 e no diagrama de bloco da figura 33.

Figura 31 – Diagrama elétrico do protótipo



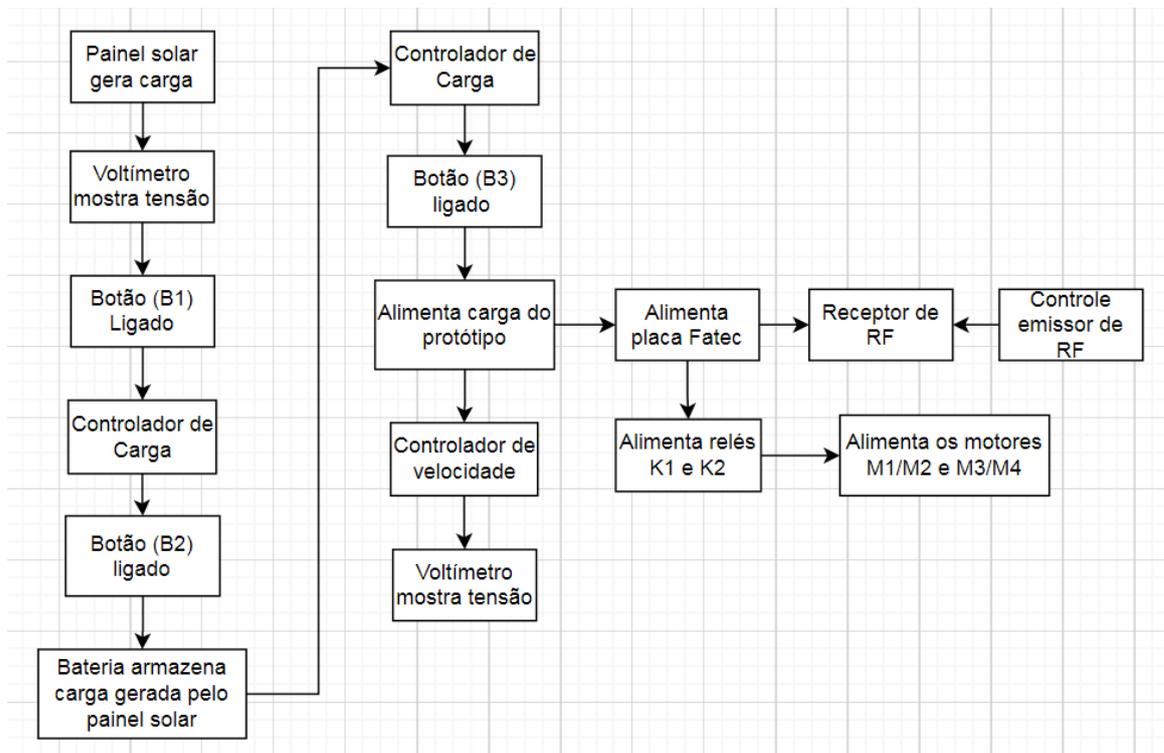
Fonte: autor

Figura 32 – Fluxograma de funcionamento do protótipo



Fonte: autor

Figura 33 – Diagrama de bloco do protótipo

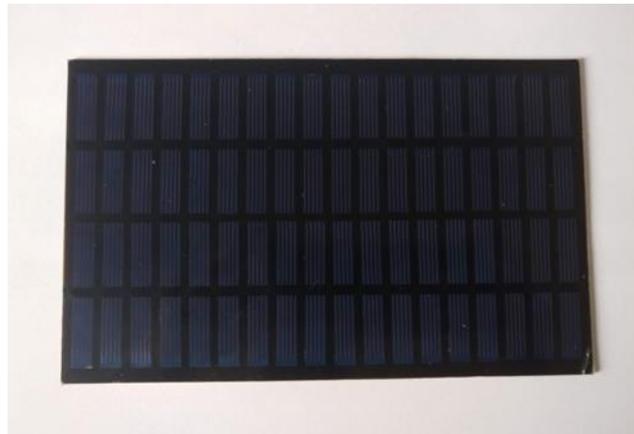


Fonte: autor

3.1 Materiais utilizados

O painel solar escolhido para o protótipo, foi o de silício policristalino, conforme figura 34, em função de sua ampla disponibilidade no mercado, baixo custo, durabilidade e eficiência, acaba por ser uma boa opção. Embora às células de segunda geração, sejam flexíveis, grande parte dos materiais utilizados em sua fabricação são escassos, o que faz com que a própria tenha uma baixa disponibilidade no mercado e um custo mais elevado. Além disso, elas possuem materiais tóxicos em sua composição e uma durabilidade baixa, se comparado às de silício.

Figura 34 – Painel solar de silício policristalino



Fonte: autor

Especificações:

- Material: Silício Policristalino;
- Potência: 2.5 W;
- Tensão: 18 V;
- Corrente de trabalho: 100 a 138mA;
- Tamanho: 19,4 x 12 x 0,3 cm.

Para controlar o recarregamento da bateria, utilizaremos um controlador de carga solar, conforme figura 35. A partir desse aparelho, será controlada a tensão que é gerada pelo painel solar e será utilizada para recarregar a bateria, podendo também configurar os valores mínimo e máximo de tensão que a bateria enviará para a carga,

desativando a alimentação do protótipo quando a bateria estiver fora dos valores preestabelecidos, para a proteção do circuito.

Figura 35 – Controlador de carga solar



Fonte: autor

Especificações:

- Tensão nominal: 12V/24V (seleção automática);
- Corrente máxima de carga: 10A;
- Corrente máxima na saída: 10A;
- Tensão máxima de entrada: < 50V;
- Saída USB: 5V/3A;
- Consumo: < 10mA;
- Tipo de controlador: PWM;
- Controle de carga e descarga da bateria;
- Proteção contra curto-circuito;
- Display LCD;
- Indicador de carga pelo painel;
- Dimensões: 133 x 70 x 32 mm;
- Faixa de temperatura ambiente: -35°C +60°C;
- Peso: 120g.

Para receber a recarga e alimentar todo o circuito, será utilizada uma bateria estacionária de chumbo ácido regulada por válvula (VRLA) de 12 Volts, 1.3Ah, como mostra a figura 36.

Figura 36 – Bateria estacionária (VLRA) 12V – 1.3Ah



Fonte: autor

Especificações:

- Modelo:UP1213;
- Tensão Nominal: 12 V;
- Capacidade (C10): 1,2;
- Capacidade (C20): 1,3;
- Carga em tensão constante (25°C);
- Flutuação: 13,5 a 13,8 V;
- Cíclico: 14,1 a 14,4 V;
- Corrente máxima de recarga: 0,39 A;
- Tipo Terminal: Faston 187;
- Comprimento: 96mm;
- Largura: 43mm;
- Altura Total: 57mm;
- Peso: 0,58Kg.

A placa Fatec, mostrada na figura 37, foi montada durante o curso para auxiliar no desenvolvimento de programação em C, sendo utilizada ao longo do curso nas

disciplinas que envolvem a programação de microcontroladores, utilizando o pic 18F4550 para a programação. No protótipo, a placa Fatec será utilizada, através da programação do pic, para o acionamento dos relés que vão chavear a alimentação dos motores, e estes, acionarão apenas quando o controle remoto enviar um comando para o modulo receptor interligado ao pic.

Figura 37 – Placa Fatec

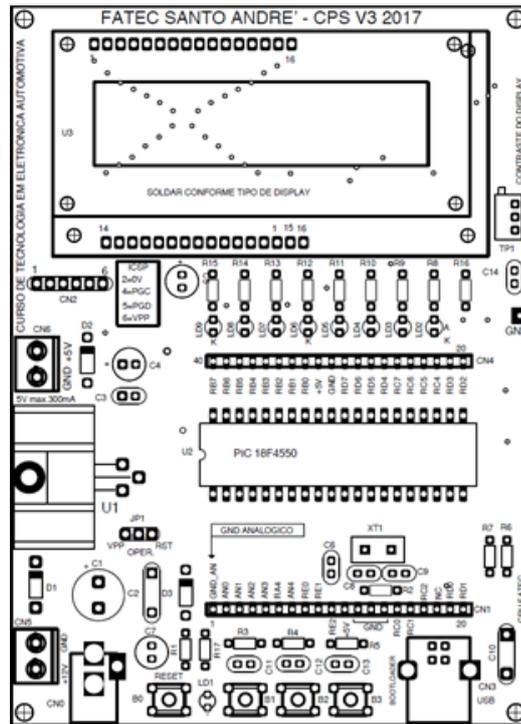


Fonte: autor

Especificações:

- Fonte de alimentação 12V;
- 3 botões Táctil para uso geral;
- 1 botão de reset da CPU;
- Display de LCD de 16X2;
- Programação via USB com recurso de bootloader, não exigindo o uso de gravadores;
- Pinos de programação in-circuit se for necessário usar o programador;
- Borne de saída para alimentar circuitos externos com 5V ou 12V;
- 8 Leds de uso geral;
- Protegido contra inversão de polaridade na fonte de alimentação;
- Acesso a todos os pinos do PIC, com exceção dos pinos do oscilador a cristal.

Figura 39 – Layout de montagem da placa Fatec



Fonte: Fatec Santo André

Para a movimentação do protótipo, será utilizado o motor DC 3-6V com caixa de redução e eixo duplo, conforme figura 40, instalando um motor para cada roda, totalizando quatro motores.

Figura 40 - Motor DC 3-6V com caixa de redução e eixo duplo



Fonte: autor

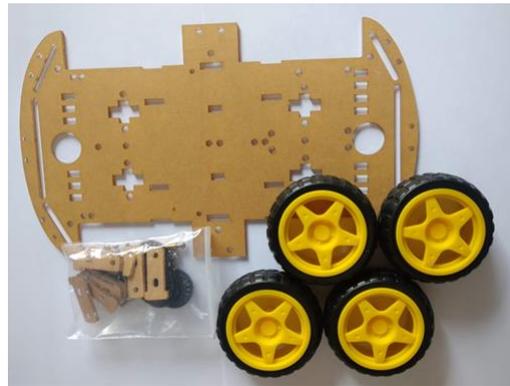
Especificações:

- Tensão de Operação: 3-6V;
- Redução: 1:48;
- Peso: 30g;

- Eixo duplo;
- Corrente sem carga: $\leq 200\text{mA}$ (6V) e $\leq 150\text{mA}$ (3V);
- Velocidade sem carga: 200RPM (6V) e 90RPM (3V).

Todos os componentes serão montados sobre duas placas de acrílico pré-moldadas, nas quais formarão o chassi do protótipo, conforme figura 41.

Figura 41 – Chassi de acrílico



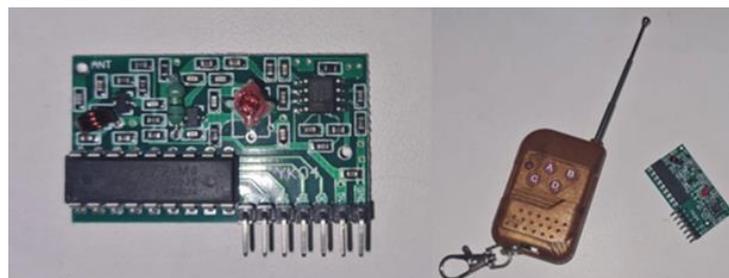
Fonte: autor

Especificações:

- Chassi em acrílico;
- Tração nas 4 rodas (4WD);
- Dimensões: 256 x 150 x 65mm.

A movimentação do protótipo, se dará através do acionamento do módulo receptor de radiofrequência (RF) pelo controle remoto, conforme figura 42. O receptor trabalha com uma frequência de 315Mhz, recebendo o sinal de um controle remoto que possui quatro canais previamente programados.

Figura 42 – Módulo receptor RF com controle remoto 315Mhz 4 canais



Fonte: autor

Especificações do Módulo Receptor:

- Tensão: 5VDC;
- Sensibilidade do receptor: -98db;
- Frequência de recepção: 315MHz;
- Pinos: VT, D3, D2, D1, D0, 5V e GND;
- Protocolo: 2262/2272;
- VT: Indicação de status de saída;
- D0, D1, D2 e D3: Saídas de dados;
- Dimensões: 41 x 23 x 5mm;
- Peso: 4g.

Especificações do Controle Remoto:

- Controle Remoto RF com 4 botões;
- Antena telescópica;
- Tensão: 12VDC (bateria A27);
- Potência irradiada: 10mW 12V;
- Modulação: ASK;
- Transmissão corrente: $I_2 \leq 15\text{mA}$;
- Tempo de transmissão: $\geq 1\text{s}$;
- Frequência de transmissão: 315MHz;
- Distância de transmissão: 50 a 100m (sem barreiras);
- Tipo: Código fixo;
- LED indicador de funcionamento;
- Comprimento total da antena: 70mm;
- Dimensões: 57 x 38 x 13mm;
- Peso: 30g.

A tensão de alimentação dos motores, sairá da placa de controle de velocidade do motor, conforme figura 43. Utilizando a modulação por largura de pulso, conhecida

como PWM, a placa controla a tensão DC com um ciclo de trabalho ajustável de 0 a 100%, podendo fornecer até 3A de corrente contínua para o motor.

Figura 43 – Controlador de velocidade do motor (PWM)



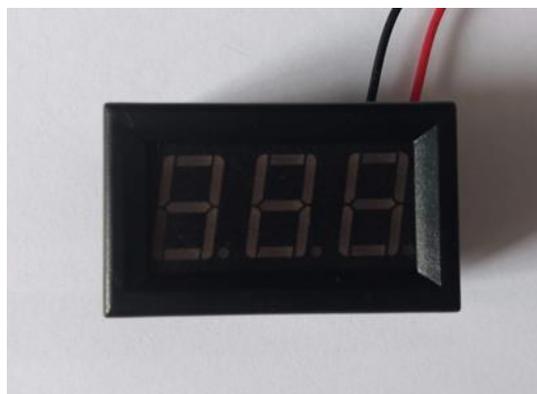
Fonte: autor

Especificações:

- Tensão de alimentação de entrada: 6VCC a 28VCC;
- Potência máxima de saída: 80W;
- Corrente de saída máxima contínua: 3A;
- Ciclo de trabalho ajustável: 0 a 100%.

Para medir a tensão gerada pelo painel solar e a tensão aplicada nos motores, serão instalados dois voltímetros digitais, conforme figura 44. Com um display de 3 dígitos, ele possui uma capacidade de medição de até 30VDC.

Figura 44 – Voltímetro digital



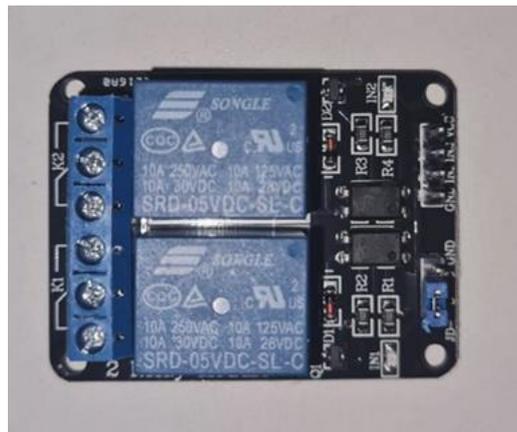
Fonte: autor

Especificações:

- Número de dígitos: 3;
- Cor do LED: Vermelho;
- Faixa de medição: até 30VDC;
- Precisão: $\sim 0,1V$;
- Dimensão (C x L x A): 48 x 29x 22mm.

Para chavear o acionamento dos motores, utilizaremos um módulo relé de dois canais, conforme figura 45. O relé será acionado quando um dos botões do controle remoto for pressionado, conforme programação, fazendo com que sua bobina seja energizada e os seus contatos sejam fechados, enviando tensão para os motores.

Figura 45 – Módulo relé 5V – 2 canais



Fonte: autor

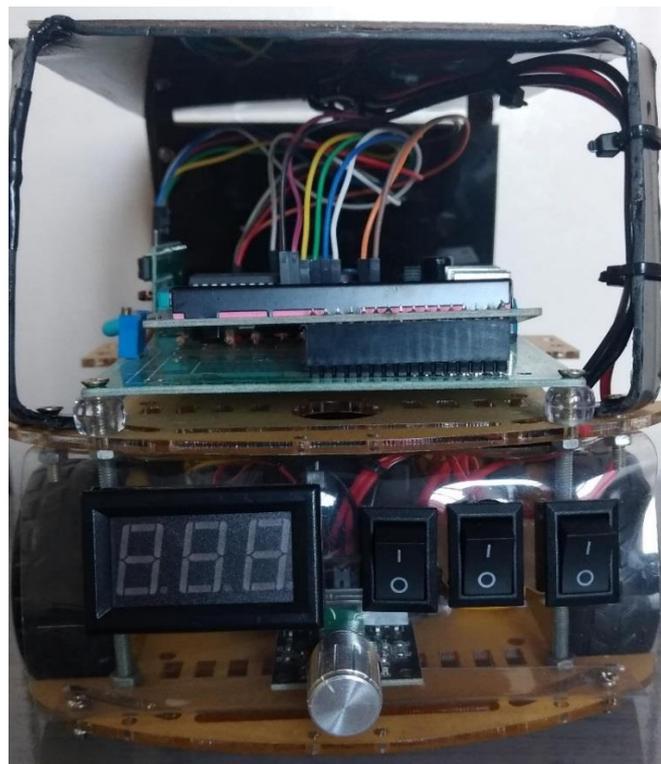
Especificações:

- Tensão de operação: 5 VDC;
- Permite controlar cargas de até 220V AC;
- Corrente nominal: 71,4mA;
- LED indicador de status;
- Pinagem: Normal Aberto, Normal Fechado e Comum;
- Tensão de saída: (28 VDC a 10A) ou (250VAC a 10A) ou (125VAC a 15A);
- Tempo de resposta: 5~10ms;
- Dimensões: 50 x 37 x 18 mm;
- Peso: 30g.

4 RESULTADOS

Após reunir todo o material necessário para a montagem do protótipo, fazer o esquema elétrico, definindo como seria ligado cada componente, foi feita a montagem e ligação do protótipo, conforme figura 46, onde podemos ver a sua parte de traz, que tem em sua parte inferior, um voltímetro que mostra a tensão aplicada nos motores. Um controlador de velocidade PWM, que controlará a tensão nos motores. Três botões (liga/desliga), onde, um faz o chaveamento do painel solar, o segundo faz o chaveamento da bateria, e o último faz chaveamento da alimentação de toda carga do protótipo. na parte superior, está a placa Fatec, que controlará a movimentação do protótipo.

Figura 46 – protótipo montado, parte de traz



Fonte: autor

Na figura 47, na parte inferior, temos um voltímetro que está em paralelo com o painel solar, medindo a tensão gerada por ele. Na parte superior, está o controlador de carga, que é alimentado pela bateria e recebe a tensão gerada pelo painel solar, que é em torno de 18 volts, e através do seu modulo de controle PWM, envia uma

tensão controlada para a bateria, sempre alguns décimos acima do valor da tensão medida na bateria. O controlador mede o nível de carga da bateria em 5 níveis diferentes, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de carga, sendo mostrados no formato de barras no display do controlador de carga. Com a carga inicial da bateria, medida pelo controlador em 40% para iniciar os testes.

Figura 47 – protótipo montado, parte da frente

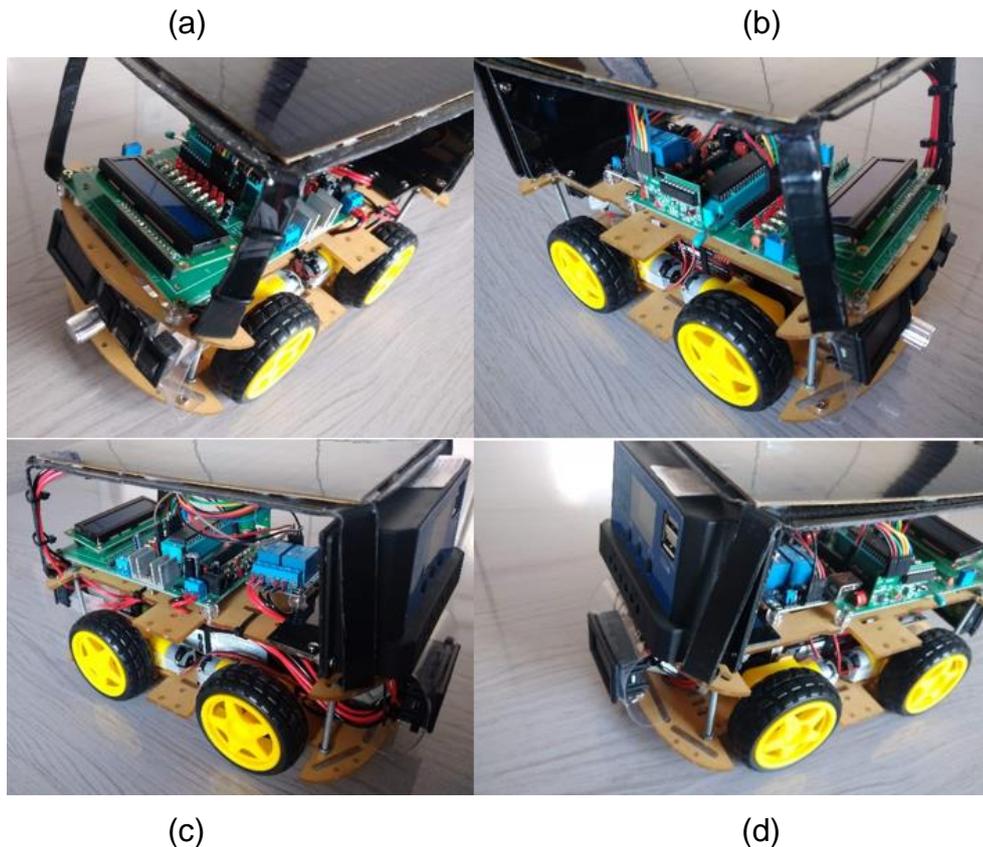


Fonte: autor

Na figura 48, temos uma vista lateral do protótipo em quatro ângulos diferentes. Em sua parte central, em baixo do painel solar, está a placa Fatec, placa esta que controla a movimentação do protótipo, através da programação em seu microcontrolador (PIC 18F4550). Ao acionar o controle remoto, ele envia um sinal de radiofrequência para uma placa receptora, interligada ao microcontrolador, que em seu programa, reconhece o sinal recebido, e envia um sinal de acionamento para o relé, que fechará o seu contato, acionando, assim, os motores do protótipo. Na parte superior está o painel solar, fixado em uma base de acrílico de fabricação própria, sendo este painel solar, a única fonte de alimentação que fornecerá tensão para que a bateria seja recarregada, passando pelo controlador de carga, onde podemos

acompanhar os níveis de carga e a tensão na bateria. No centro do protótipo na parte inferior, está a bateria, que por ser o item de maior peso entre todos os componentes, foi colocada nessa posição para que seja mantida a estabilidade do protótipo durante a sua movimentação.

Figura 48 – protótipo montado. a) lateral traseira direita; b) lateral traseira esquerda; c) lateral frontal direita; d) lateral frontal esquerda



Fonte: autor

Os testes foram realizados durante quatro finais de semana seguidos, totalizando oito dias. O horário em que as medições foram feitas, foi das 10:00h às 14:00h, na cidade de Santo André, São Paulo. A tensão gerada pelo painel solar, a tensão na bateria e status de carga da bateria, foram coletados diretamente no protótipo, através do voltímetro ligado em paralelo com o painel solar, e no controlador de carga, no qual a bateria está ligada. Já as condições meteorológicas de temperatura, índice de radiação ultravioleta, umidade, vento e pressão, foram coletados em tempo real, no site do The Weather Channel (O canal do tempo).

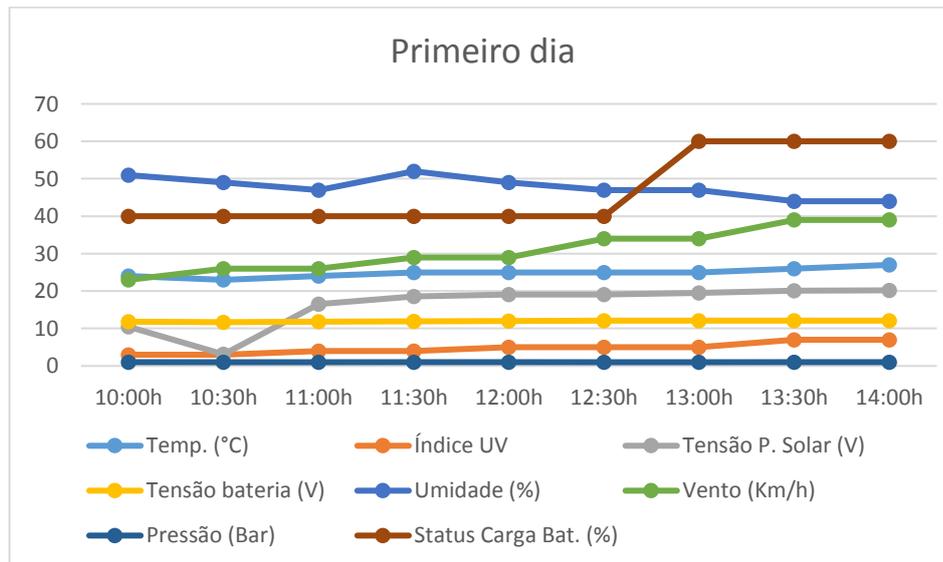
A coleta de dados, referente ao quadro 5, no período das 10:00h às 11:00h, devido ao tempo parcialmente nublado e com ventania constante, os valores de tensão gerados pelo painel solar foram relativamente baixos. Porém, após esse período, mesmos continuando com fortes ventos, as nuvens se dispersaram e o sol se manteve até o final da medição, mantendo assim, a tensão gerada pelo painel solar constantemente próxima ao seu valor nominal, fazendo com que a carga da bateria chegasse aos 60%. No gráfico 1, podemos ver de forma mais clara essas variações climáticas.

Quadro 5 – Coleta de dados do protótipo no primeiro dia

Data	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
23/04/2022	10:00h	24	3	10,5	11,8	51	23	1,012	40
	10:30h	23	3	3,1	11,7	49	26	1,014	40
	11:00h	24	4	16,5	11,8	47	26	1,014	40
	11:30h	25	4	18,6	11,9	52	29	1,016	40
	12:00h	25	5	19,1	12	49	29	1,016	40
	12:30h	25	5	19,1	12,1	47	34	1,014	40
	13:00h	25	5	19,5	12,1	47	34	1,014	60
	13:30h	26	7	20,1	12,1	44	39	1,012	60
	14:00h	27	7	20,2	12,1	44	39	1,012	60

Fonte: autor

Gráfico 1 – Dados coletados no primeiro dia de teste



Fonte: autor

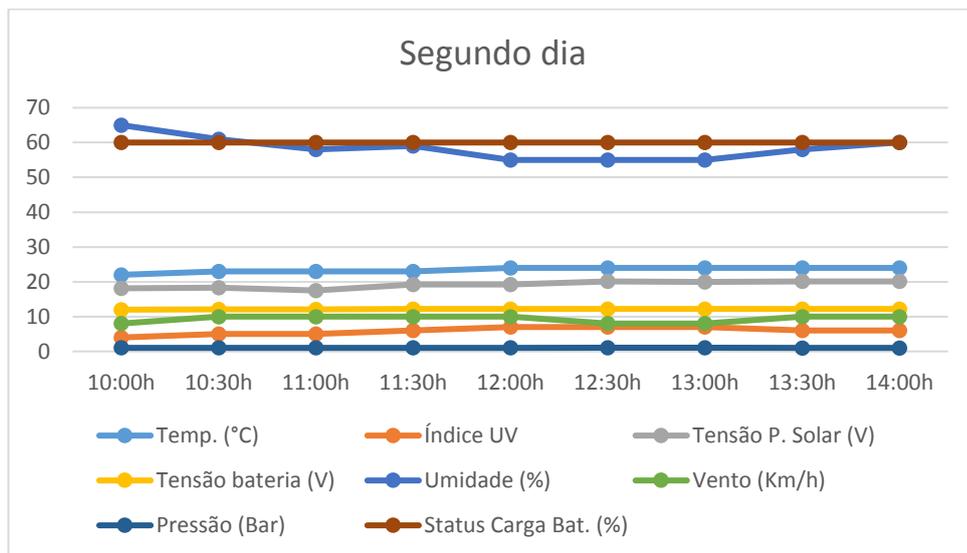
O segundo dia de coleta de dados, que podemos ver no quadro 6, ocorreu em um dia ensolarado, com pequenos períodos com o céu parcialmente nublado, e o índice de radiação ultravioleta crescente ao longo do tempo. A tensão gerada pelo painel solar foi constante, mantendo-se próximo ao valor de tensão nominal do painel solar, porém, durante as quatro horas seguidas de recarga da bateria, a própria se manteve com o medidor marcando 60% de carga, ou seja, as quatro horas não foram suficientes para que a bateria chegasse no próximo nível de medição, que seria 80%. No gráfico 2, as variações climáticas ocorridas podem ser melhor visualizadas.

Quadro 6 – Coleta de dados do protótipo no segundo dia

Data	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
24/04/2022	10:00h	22	4	18,1	12	65	8	1,023	60
	10:30h	23	5	18,3	12,1	61	10	1,023	60
	11:00h	23	5	17,5	12,1	58	10	1,023	60
	11:30h	23	6	19,2	12,2	59	10	1,023	60
	12:00h	24	7	19,2	12,2	55	10	1,023	60
	12:30h	24	7	20,1	12,2	55	8	1,022	60
	13:00h	24	7	20	12,2	55	8	1,022	60
	13:30h	24	6	20,1	12,2	58	10	1,021	60
	14:00h	24	6	20,1	12,2	60	10	1,021	60

Fonte: autor

Gráfico 2 – Dados coletados no segundo dia de teste



Fonte: autor

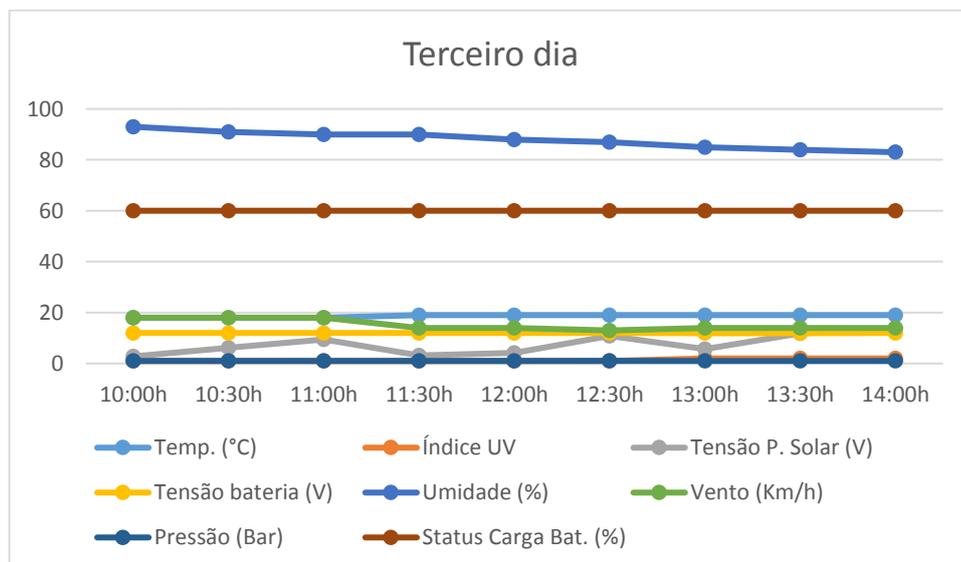
Durante o terceiro dia de coleta de dados, referente ao quadro 7, podemos aferir os resultados obtidos pelo protótipo durante um dia predominantemente nublado, com pequenos períodos de garoa. Com uma temperatura baixa constante, e um índice de radiação ultravioleta se mantendo baixo durante as quatro horas de medição. A tensão gerada pelo painel solar foi extremamente baixa, não alterando em nada a carga já existente na bateria. Para facilitar a compreensão do quadro 6, o gráfico 3, mostra de forma simplificada as variáveis ao longo do tempo.

Quadro 7 – Coleta de dados do protótipo no terceiro dia

Data	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
30/04/2022	10:00h	18	1	2,8	12	93	18	1,024	60
	10:30h	18	1	6,2	12	91	18	1,024	60
	11:00h	18	1	9,4	12	90	18	1,024	60
	11:30h	19	1	3,2	12	90	14	1,024	60
	12:00h	19	1	4,2	12	88	14	1,024	60
	12:30h	19	1	10,8	12	87	13	1,023	60
	13:00h	19	2	5,7	11,9	85	14	1,022	60
	13:30h	19	2	11,8	11,9	84	14	1,022	60
	14:00h	19	2	13,7	12	83	14	1,022	60

Fonte: autor

Gráfico 3 – Dados coletados no terceiro dia de teste



Fonte: autor

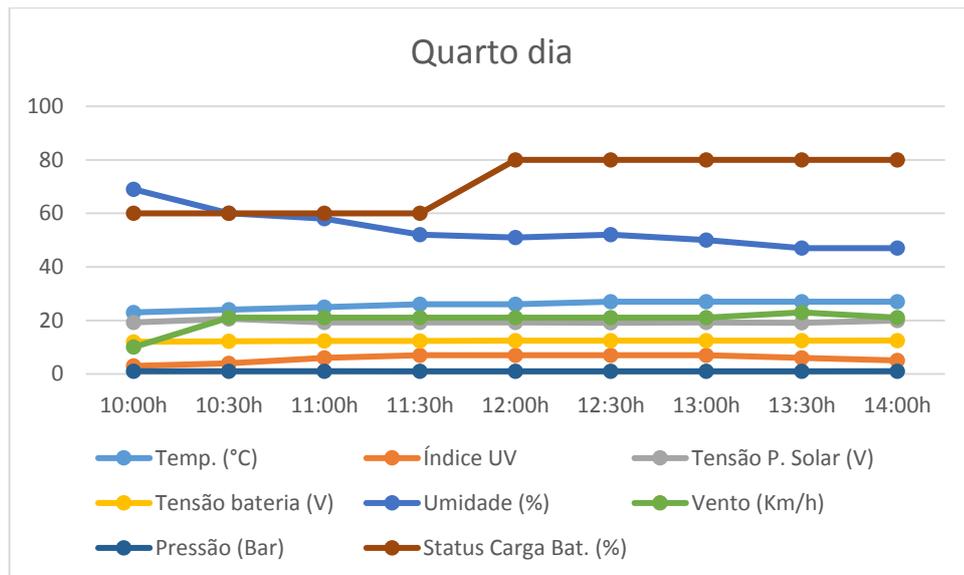
No quarto dia de testes, com os dados coletados no quadro 8, pode-se concluir que com aproximadamente sete horas de recarga na bateria, com o tempo predominantemente ensolarado, obtemos um ganho de 20% na carga da bateria, chegando a 80% de carga. Com o tempo predominantemente ensolarado durante o período de testes, a tensão gerada pelo painel solar manteve-se próxima ao seu valor nominal, fazendo com que a tensão da bateria suba, gradativamente, e consequentemente o nível de carga. No gráfico 4, com os dados plotado em linhas, pode-se observar a evolução de algumas variáveis, enquanto outras se mantem estáveis.

Quadro 8 – Coleta de dados do protótipo no quarto dia

Data	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
01/05/2022	10:00h	23	3	19,2	12	69	10	1,020	60
	10:30h	24	4	20,6	12,2	60	21	1,020	60
	11:00h	25	6	19,2	12,3	58	21	1,020	60
	11:30h	26	7	19,2	12,3	52	21	1,019	60
	12:00h	26	7	19,3	12,4	51	21	1,019	80
	12:30h	27	7	19,1	12,4	52	21	1,018	80
	13:00h	27	7	19,2	12,4	50	21	1,018	80
	13:30h	27	6	19,1	12,4	47	23	1,018	80
	14:00h	27	5	20	12,5	47	21	1,017	80

Fonte: autor

Gráfico 4 – Dados coletados no quarto dia de teste



Fonte: autor

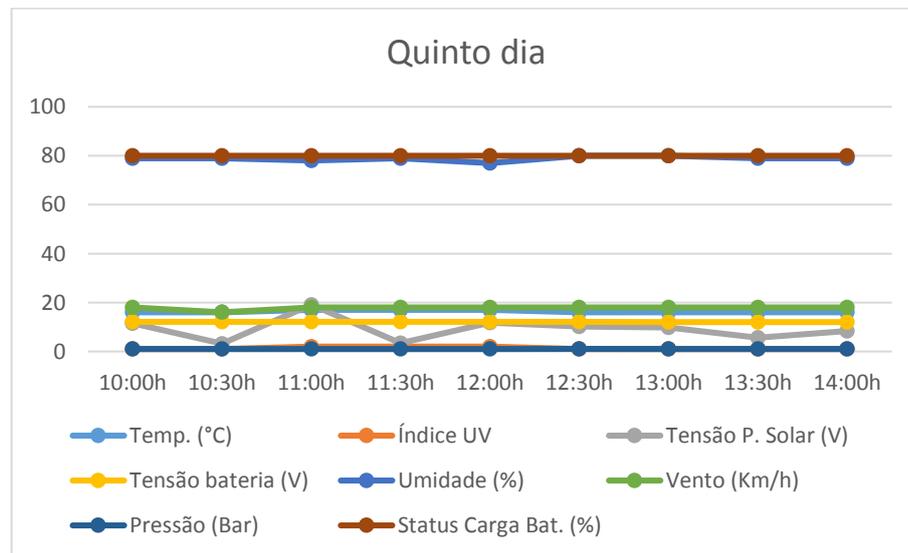
Durante o quinto dia de coleta de dados, referente ao quadro 9, o tempo permaneceu predominantemente nublado, com a temperatura e o índice de radiação ultravioleta, mantendo-se baixo durante todo o período de medição. A umidade se manteve alta, porém não choveu durante o teste. Os valores de tensão gerados pelo painel solar foram relativamente baixos, não sendo suficiente para alterar o nível de carga da bateria. No gráfico 5, conseguimos verificar, o quanto as variáveis se mantiveram constantes durante o período de teste.

Quadro 9 – Coleta de dados do protótipo no quinto dia

Data	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
07/05/2022	10:00h	16	1	11,5	12,1	79	18	1,026	80
	10:30h	16	1	3,2	12,1	79	16	1,026	80
	11:00h	17	2	19,1	12,1	78	18	1,026	80
	11:30h	17	2	3,4	12,1	79	18	1,026	80
	12:00h	17	2	11,8	12,1	77	18	1,026	80
	12:30h	16	1	10,2	12,1	80	18	1,025	80
	13:00h	16	1	9,8	12	80	18	1,024	80
	13:30h	16	1	5,6	12	79	18	1,024	80
	14:00h	16	1	8,3	12	79	18	1,024	80

Fonte: autor

Gráfico 5 – Dados coletados no quinto dia de teste



Fonte: autor

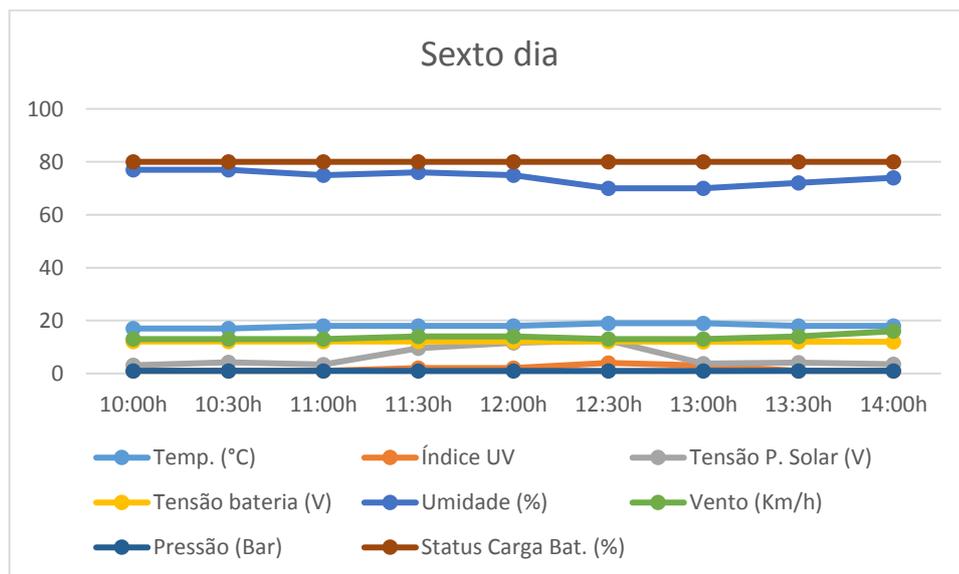
No sexto dia de coleta de dados, referente ao quadro 10, assim como no dia anterior, durante todo o período de medição, o tempo permaneceu predominantemente nublado, com uma temperatura baixa constante. O índice de radiação ultravioleta conservou-se com um nível baixo, durante praticamente todo o período de medição, tendo um pequeno aumento no período das 12:00h às 13:00h, entretanto essa pequena alta não foi suficiente para aumentar o valor da tensão gerada pelo painel solar. No gráfico 6, podemos observar que, as variáveis, em sua maioria, permaneceram constantes durante o teste.

Quadro 10 – Coleta de dados do protótipo no sexto dia

Data	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
08/05/2022	10:00h	17	1	3,1	12,1	77	13	1,026	80
	10:30h	17	1	4,2	12,1	77	13	1,026	80
	11:00h	18	1	3,4	12,1	75	13	1,026	80
	11:30h	18	2	9,5	12,1	76	14	1,025	80
	12:00h	18	2	11,6	12,1	75	14	1,025	80
	12:30h	19	4	12,5	12,1	70	13	1,024	80
	13:00h	19	3	3,7	12	70	13	1,024	80
	13:30h	18	1	4,1	12	72	14	1,023	80
	14:00h	18	1	3,5	12	74	16	1,023	80

Fonte: autor

Gráfico 6 – Dados coletados no sexto dia de teste



Fonte: autor

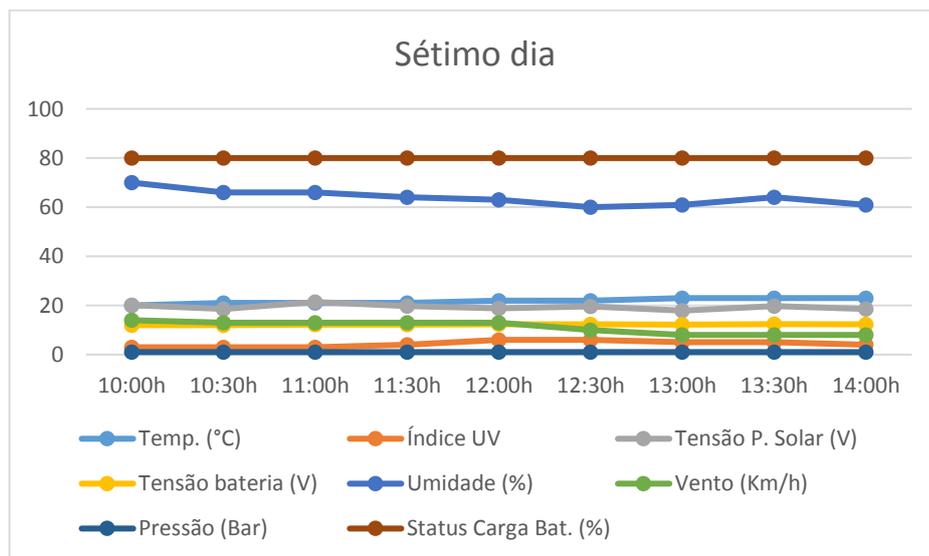
Durante o sétimo dia de coleta de dados, referente ao quadro 11, o tempo se manteve predominantemente ensolarado, com pequenos períodos parcialmente nublado, com a temperatura e o índice de radiação ultravioleta se mantendo crescentes durante todo o período de teste, a tensão gerada pelo painel solar se manteve com valores próximos ao seu valor nominal de tensão, fazendo com que a tensão da bateria aumente, porém este período de recarga não foi suficiente para que a bateria chegasse a 100% de carga, que seria o próximo nível medido. No gráfico 7, conseguimos visualizar as variações climáticas do dia, de forma mais clara.

Quadro 11 – Coleta de dados do protótipo no sétimo dia

Data	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
14/05/2022	10:00h	20	3	20,1	12	70	14	1,022	80
	10:30h	21	3	18,6	12	66	13	1,022	80
	11:00h	21	3	21,4	12,2	66	13	1,022	80
	11:30h	21	4	19,8	12,2	64	13	1,021	80
	12:00h	22	6	18,8	12,3	63	13	1,021	80
	12:30h	22	6	19,6	12,3	60	10	1,020	80
	13:00h	23	5	17,9	12,2	61	8	1,019	80
	13:30h	23	5	19,7	12,4	64	8	1,019	80
	14:00h	23	4	18,6	12,3	61	8	1,018	80

Fonte: autor

Gráfico 7 – Dados coletados no sétimo dia de teste



Fonte: autor

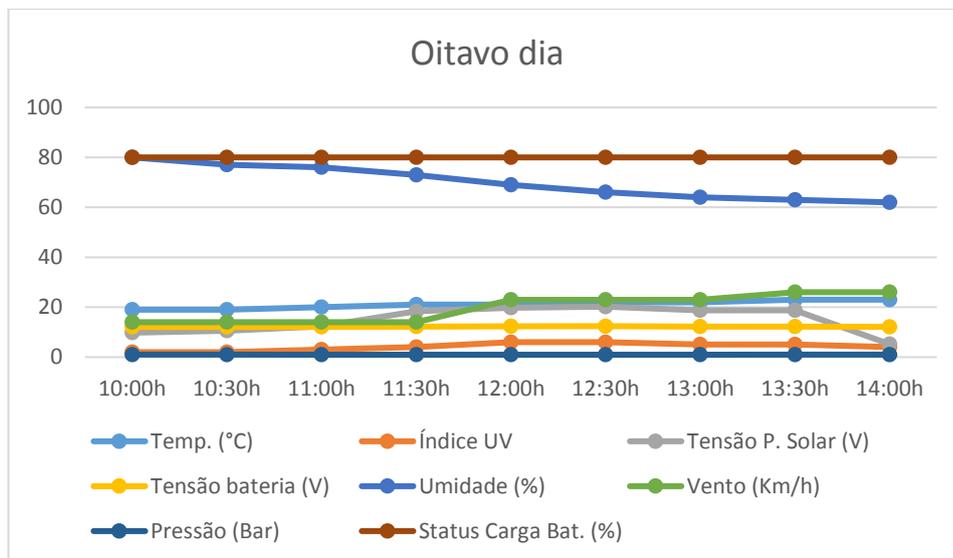
No oitavo dia de coleta de dados, referente ao quadro 12, as medições iniciaram com a temperatura e o índice de radiação ultravioleta baixos, e com uma umidade relativamente alta, fazendo com que o valor da tensão gerada pelo painel solar nesse período fosse baixo. A partir das 11:30h, a temperatura começou a aumentar, juntamente com o índice de radiação ultravioleta e a velocidade do vento, fazendo com que a umidade diminuísse gradativamente, e os valores de tensão gerados pelo painel solar aumentassem. No gráfico 8, podemos ver as variações que ocorreram no clima durante o período de medição.

Quadro 12 – Coleta de dados do protótipo no oitavo dia

Data	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
15/05/2022	10:00h	19	2	9,8	12,1	80	14	1,018	80
	10:30h	19	2	10,5	12,1	77	14	1,018	80
	11:00h	20	3	12,3	12,1	76	14	1,017	80
	11:30h	21	4	18,3	12,2	73	14	1,017	80
	12:00h	21	6	19,8	12,3	69	23	1,016	80
	12:30h	22	6	20,2	12,4	66	23	1,016	80
	13:00h	22	5	18,8	12,2	64	23	1,016	80
	13:30h	23	5	18,7	12,2	63	26	1,014	80
	14:00h	23	4	5,2	12,1	62	26	1,014	80

Fonte: autor

Gráfico 8 – Dados coletados no oitavo dia de teste



Fonte: autor

Do quadro 13 ao quadro 21, contêm as médias dos dados coletados por horário, nos nove períodos de coleta, no intervalo de tempo entre 10:00h e 14:00h, onde os testes foram realizados.

Quadro 13 – Média dos dados coletados às 10:00h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
10:00h	Primeiro dia	24	3	10,5	11,8	51	23	1,012	40
	Segundo dia	22	4	18,1	12	65	8	1,023	60
	Terceiro dia	18	1	2,8	12	93	18	1,024	60
	Quarto dia	23	3	19,2	12	69	10	1,020	60
	Quinto dia	16	1	11,5	12,1	79	18	1,026	80
	Sexto dia	17	1	3,1	12,1	77	13	1,026	80
	Sétimo dia	20	3	20,1	12	70	14	1,022	80
	Oitavo dia	19	2	9,8	12,1	80	14	1,018	80
	MÉDIA	19,875	2,25	11,888	12,013	73	14,75	1,021	67,5

Fonte: autor

Quadro 14 – Média dos dados coletados às 10:30h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
10:30h	Primeiro dia	23	3	3,1	11,7	49	26	1,014	40
	Segundo dia	23	5	18,3	12,1	61	10	1,023	60
	Terceiro dia	23	5	18,3	12,1	61	10	1,023	60
	Quarto dia	24	4	20,6	12,2	60	21	1,020	60
	Quinto dia	16	1	3,2	12,1	79	16	1,026	80
	Sexto dia	17	1	4,2	12,1	77	13	1,026	80
	Sétimo dia	21	3	18,6	12	66	13	1,022	80
	Oitavo dia	19	2	10,5	12,1	77	14	1,018	80
	MÉDIA	20,75	3	12,100	12,050	66,25	15,375	1,022	67,5

Fonte: autor

Quadro 15 – Média dos dados coletados às 11:00h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
11:00h	Primeiro dia	24	4	16,5	11,8	47	26	1,014	40
	Segundo dia	23	5	17,5	12,1	58	10	1,023	60
	Terceiro dia	18	1	9,4	12	90	18	1,024	60
	Quarto dia	25	6	19,2	12,3	58	21	1,020	60
	Quinto dia	17	2	19,1	12,1	78	18	1,026	80
	Sexto dia	18	1	3,4	12,1	75	13	1,026	80
	Sétimo dia	21	3	21,4	12,2	66	13	1,022	80
	Oitavo dia	20	3	12,3	12,1	76	14	1,017	80
	MÉDIA	20,75	3,125	14,850	12,088	68,5	16,625	1,022	67,5

Fonte: autor

Quadro 16 – Média dos dados coletados às 11:30h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
11:30h	Primeiro dia	25	4	18,6	11,9	52	29	1,016	40
	Segundo dia	23	6	19,2	12,2	59	10	1,023	60
	Terceiro dia	19	1	3,2	12	90	14	1,024	60
	Quarto dia	26	7	19,2	12,3	52	21	1,019	60
	Quinto dia	17	2	3,4	12,1	79	18	1,026	80
	Sexto dia	18	2	9,5	12,1	76	14	1,025	80
	Sétimo dia	21	4	19,8	12,2	64	13	1,021	80
	Oitavo dia	21	4	18,3	12,2	73	14	1,017	80
	MÉDIA	21,25	3,75	13,900	12,125	68,125	16,625	1,021	67,5

Fonte: autor

Quadro 17 – Média dos dados coletados às 12:00h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
12:00h	Primeiro dia	25	5	19,1	12	49	29	1,016	40
	Segundo dia	24	7	19,2	12,2	55	10	1,023	60
	Terceiro dia	19	1	4,2	12	88	14	1,024	60
	Quarto dia	26	7	19,3	12,4	51	21	1,019	80
	Quinto dia	17	2	11,8	12,1	77	18	1,026	80
	Sexto dia	18	2	11,6	12,1	75	14	1,025	80
	Sétimo dia	22	6	18,8	12,3	63	13	1,021	80
	Oitavo dia	21	6	19,8	12,3	69	23	1,016	80
	MÉDIA	21,5	4,5	15,475	12,175	65,875	17,75	1,021	70

Fonte: autor

Quadro 18 – Média dos dados coletados às 12:30h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
12:30h	Primeiro dia	25	5	19,1	12,1	47	34	1,014	40
	Segundo dia	24	7	20,1	12,2	55	8	1,022	60
	Terceiro dia	19	1	10,8	12	87	13	1,023	60
	Quarto dia	27	7	19,1	12,4	52	21	1,018	80
	Quinto dia	16	1	10,2	12,1	80	18	1,025	80
	Sexto dia	19	4	12,5	12,1	70	13	1,024	80
	Sétimo dia	22	6	19,6	12,3	60	10	1,020	80
	Oitavo dia	22	6	20,2	12,4	66	23	1,016	80
	MÉDIA	21,75	4,625	16,450	12,200	64,625	17,5	1,020	70

Fonte: autor

Quadro 19 – Média dos dados coletados às 13:00h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
13:00h	Primeiro dia	25	5	19,5	12,1	47	34	1,014	60
	Segundo dia	24	7	20	12,2	55	8	1,022	60
	Terceiro dia	19	2	5,7	11,9	85	14	1,022	60
	Quarto dia	27	7	19,2	12,4	50	21	1,018	80
	Quinto dia	16	1	9,8	12	80	18	1,024	80
	Sexto dia	19	3	3,7	12	70	13	1,024	80
	Sétimo dia	23	5	17,9	12,2	61	8	1,019	80
	Oitavo dia	22	5	18,8	12,2	64	23	1,016	80
	MÉDIA	21,875	4,375	14,325	12,125	64	17,375	1,020	72,5

Fonte: autor

Quadro 20 – Média dos dados coletados às 13:30h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
13:30h	Primeiro dia	26	7	20,1	12,1	44	39	1,012	60
	Segundo dia	24	6	20,1	12,2	58	10	1,021	60
	Terceiro dia	19	2	11,8	11,9	84	14	1,022	60
	Quarto dia	27	6	19,1	12,4	47	23	1,018	80
	Quinto dia	16	1	5,6	12	79	18	1,024	80
	Sexto dia	18	1	4,1	12	72	14	1,023	80
	Sétimo dia	23	5	19,7	12,4	64	8	1,019	80
	Oitavo dia	23	5	18,7	12,2	63	26	1,014	80
	MÉDIA	22	4,125	14,900	12,150	63,875	19	1,019	72,5

Fonte: autor

Quadro 21 – Média dos dados coletados às 14:00h

Horário		Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
14:00h	Primeiro dia	27	7	20,2	12,1	44	39	1,012	60
	Segundo dia	24	6	20,1	12,2	60	10	1,021	60
	Terceiro dia	19	2	13,7	12	83	14	1,022	60
	Quarto dia	27	5	20	12,5	47	21	1,017	80
	Quinto dia	16	1	8,3	12	79	18	1,024	80
	Sexto dia	18	1	3,5	12	74	16	1,023	80
	Sétimo dia	23	4	18,6	12,3	61	8	1,018	80
	Oitavo dia	23	4	5,2	12,1	62	26	1,014	80
	MÉDIA	22,125	3,75	13,700	12,150	63,75	19	1,019	72,5

Fonte: autor

O quadro 22, abrange a junção das médias dos dados coletados em todo o período de teste, com uma média final.

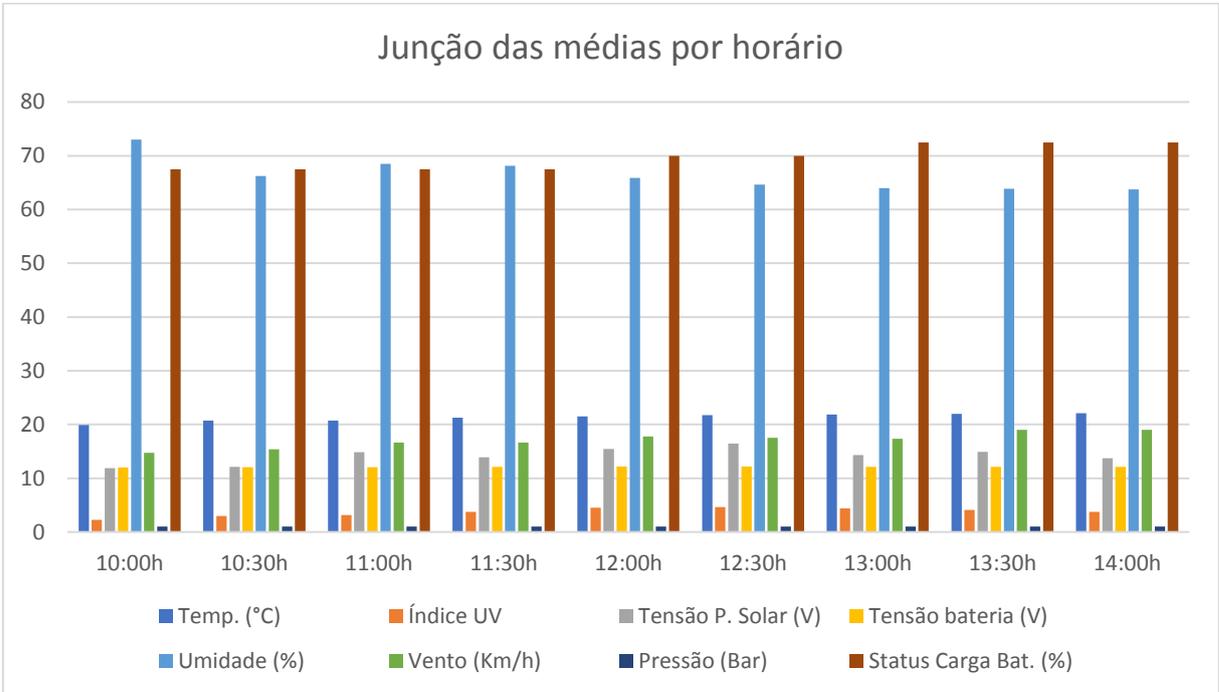
Quadro 22 – Junção das médias e média final

	horário	Temp. (°C)	Índice UV	Tensão P. Solar (V)	Tensão bateria (V)	Umidade (%)	Vento (Km/h)	Pressão (Bar)	Status Carga Bat. (%)
MÉDIA GERAL	10:00h	19,875	2,25	11,888	12,013	73	14,75	1,021	67,5
	10:30h	20,75	3	12,1	12,05	66,25	15,375	1,022	67,5
	11:00h	20,75	3,125	14,85	12,088	68,5	16,625	1,022	67,5
	11:30h	21,25	3,75	13,9	12,125	68,125	16,625	1,021	67,5
	12:00h	21,5	4,5	15,475	12,175	65,875	17,75	1,021	70
	12:30h	21,75	4,625	16,45	12,2	64,625	17,5	1,020	70
	13:00h	21,875	4,375	14,325	12,125	64	17,375	1,020	72,5
	13:30h	22	4,125	14,9	12,15	63,875	19	1,019	72,5
	14:00h	22,125	3,75	13,7	12,15	63,75	19	1,019	72,5
		MÉDIA	21,319	3,722	14,176	12,119	66,444	17,111	1,021

Fonte: autor

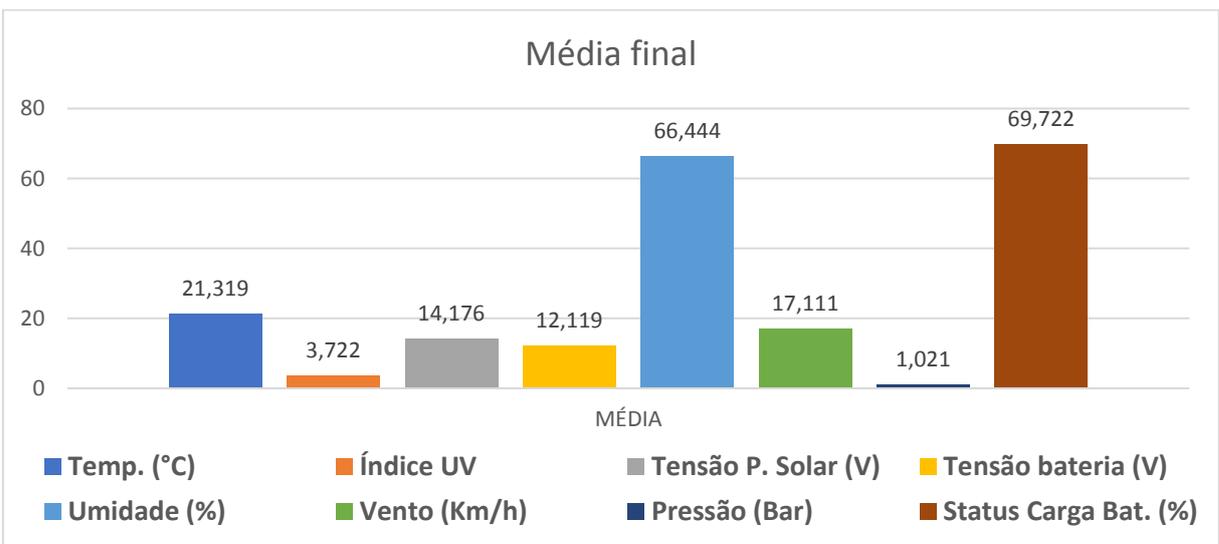
O gráfico 9, contém a junção das médias dos dados coletados em todo o período de teste. O gráfico 10, apresenta uma média final dos testes.

Gráfico 9 – Junção das médias dos testes por horário de coleta



Fonte: autor

Gráfico 10 – Média final dos testes



Fonte: autor

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos em oito dias de testes, o protótipo leva aproximadamente sete horas para recarregar 20% da sua bateria de 1,3Ah, utilizando para isso, apenas um painel solar de silício policristalino de 2,5W, como única fonte de recarga da bateria. Para atingir esse resultado, nesse espaço de tempo, é necessário que o tempo esteja predominantemente ensolarado, fazendo com que o nível de tensão gerado pelo painel solar se mantenha constante, próximo ao seu valor nominal de tensão.

Nos dias em que o nível de umidade se manteve acima de 70%, em virtude de um tempo predominantemente nublado, a geração de energia elétrica pelo painel solar, se manteve com valores baixos. Fazendo com que, nesses períodos de tempo, não houvesse nenhuma recarga na bateria do protótipo, apenas um consumo mínimo da bateria, para que o controlador de carga continuasse funcionando.

Em função de, as condições meteorológicas, serem variáveis nas quais não sejam possíveis de controlar, assim como aconteceu nos testes, nem todos os dias serão ensolarados, para que a bateria do protótipo seja recarregada. Porém, com apenas sete horas em um dia de sol, o protótipo poderá aumentar em 20% a carga de sua bateria, o que corresponde a um quinto da sua autonomia adquirida de forma limpa, renovável e sustentável.

Com base na teoria abordada no estudo, e nos resultados obtidos através dos testes realizados, utilizando o protótipo, foi possível verificar que o projeto é tecnicamente viável, dentro da proposta de ser uma fonte auxiliar de recarga emergencial de um veículo elétrico ou híbrido, podendo, futuramente, ser implementado em veículos elétricos ou híbridos em escala real, para que os próprios tenham uma segunda opção de recarga auxiliar, que possa ser feita em qualquer lugar, bastando apenas que haja luz solar incidindo sobre o veículo.

6 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

- Utilização do protótipo para estudo do consumo da carga da bateria por motores elétricos.
- Implementar este estudo em um veículo elétrico ou híbrido em escala real
- Estudo de viabilidade econômica da implementação de células fotovoltaicas flexíveis para o recarregamento de bateria de veículos elétricos e híbridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, Danilo da Silva. Et al. Veículos elétricos e híbridos: Estudo da eficiência energética perspectiva no cenário nacional. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 10, Vol. 10, pp. 91-120. Outubro de 2020. ISSN: 2448-0959.

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/veiculos-eletricos> - acesso em outubro de 2021.

BOSCH, Manual de Baterias Bosch, 2007

<https://docplayer.com.br/2082284-Manual-de-baterias-bosch.html> - acesso em novembro de 2021.

FALCÃO, Vivienne Denise, Fabricação de Células Solares de CdS/CdTe – Instituto Militar de Engenharia, Mestrado, Rio de Janeiro, 2005.

http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/dissertacaofinal_viviennedenise.pdf - acesso em novembro de 2021.

FERNANDES, Camila Barreto, Inversores para veículos elétricos: aplicação do controle vetorial sem sensor para um motor de indução - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

<http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014368.pdf> - acesso em novembro de 2021.

MARQUES, Francisco das Chagas, Minicurso de Fabricação de Células Solares e Módulos Fotovoltaicos - Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW/Unicamp, março/2014.

<https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursosfrancisco.pdf> - acesso em agosto de 2021.

MEIRELLES, Bernardo Radefeld, Fabricação de Células Solares - Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, 2002.

https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2002/991446-relatoriofianal.pdf - acesso em agosto de 2021.

MOURA, Guia completo sobre bateria estacionária: entenda o equipamento.
https://www.moura.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Guia-completo-sobre-bateria-estacion%C3%A1ria_-entenda-o-equipamento.pdf – acesso em junho de 2022.

NOCE, Toshizaemom, Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, mestrado, Belo Horizonte, 2009.

http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf - acesso em outubro de 2021.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés, Curso de Física Básica – Vol. 4 / Ótica, Relatividade, Física Quântica – 1ª edição – São Paulo: Editora Blucher, 1998.

<https://www.linux.ime.usp.br/~dfrevert/programs/www/programs/Desktop/fisica2/Curso%20de%20F%C3%ADsica%20B%C3%A1sica-%20H.Moys%C3%A9s%20Nussenzveig%20Vol%204.pdf> – acesso em fevereiro de 2022.

PEREIRA, Enio Bueno. Et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – 2ª edição - São José dos Campos, 2017.

https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf - acesso em junho de 2022.

SANTOS, Célia Aparecida Lino dos, Baterias de íons lítio para veículos elétricos - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - Revista IPT - Tecnologia e Inovação v.2, n.9, dez., 2018.

<http://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/download/71/81> - acesso em outubro de 2021.

SOBRINHO, Louise Cristine de Oliveira, Desenvolvimentos e Pesquisas na Terceira Geração de Células Fotovoltaicas - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10018694.pdf> - acesso em 11/2021

THEOTONIO, Sergio Barcelos, Veículos Elétricos e Híbridos Panorama Patentário no Brasil, Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, Rio de Janeiro.

https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/arquivos-dirpa/VeculosEletricoseHbridos_FINAL_Jan2019.pdf

- acesso em outubro de 2021

The Weather Channel – Condições e previsões climáticas para Santo André, São Paulo. 2022.

[https://weather.com/pt-](https://weather.com/pt-BR/clima/hoje/l/ed61c57932ea113ae7217e935367a8ab6dc5cd3e80e6c43b7988a569dd90662b)

[BR/clima/hoje/l/ed61c57932ea113ae7217e935367a8ab6dc5cd3e80e6c43b7988a569dd90662b](https://weather.com/pt-BR/clima/hoje/l/ed61c57932ea113ae7217e935367a8ab6dc5cd3e80e6c43b7988a569dd90662b) - Acessos em abril e maio de 2022.

UNIPOWER, Manual Técnico Unipower.

<https://www.robocore.net/upload/ManualTecnicoBateriaUnipower.pdf> - acesso em junho de 2022.

VASCONCELLOS, Fernando, Afinal, como funciona o motor de um carro elétrico? - 2022.

<https://www.mobiauto.com.br/revista/afinal-como-funciona-o-motor-de-um-carro-eletrico/1605> - acesso em junho de 2022.

APÊNDICE – Programação do microcontrolador da placa Fatec

```

/*****
* Nome do arquivo: Projeto TCC - Estudo de viabilidade do uso de células
fotovoltaicas para carregamento de bateria veicular
* Dependências: Veja a seção de includes
* Processado: PIC18F4550
* Compilador: MPLAB X v3.65 + XC8 1.40
* Responsáveis: SANTOS, Adriano e AUGUSTO, Vinicius.
* Versão/Data: v01 10/04/2022
*****/

/*****
* HEADER-FILES (Somente arquivos necessários nesse arquivo)
*****/

// Includes do compilador

#include <xc.h>
#include <stdio.h>
#include <p18f4550.h>

//Includes do projeto

#include "Config.h"
#include "displayLCD.h"
#include "adc.h"

*****/

```

```

/*****
* Variáveis Globais
*****/

// Define os apelidos das variáveis do PIC para as portas B

#define Frente      PORTBbits.RB0
#define Direita     PORTBbits.RB1
#define Esquerda   PORTBbits.RB2
#define Reset       PORTBbits.RB3
#define Banda1     PORTBbits.RB7
#define Banda2     PORTBbits.RB6

/*****
/*****
* Prototipos das funções
*****/

void delay_ms(unsigned int tempoAtraso);

/*****

/*****
* Função: Executar os comandos após receber os sinais vindos das portas B
*que são portas de entrada
* Entrada: RB0, RB1, RB2 e RB3
* Saída: RB7 e RB6
* Descrição: Receber sinais e ligar ou desativar as saídas
*****/

/*****

```

```
*****/
```

```
void main(void)
{
    ADCON1 = 0x0F; // Define somente as entradas digitais
    TRISB = 0x0F; // Configura a porta B como entrada e saída

// Grava frases na memoria

    const unsigned char Texto_0[] = "FATEC S.A. 2022 ";
    const unsigned char Texto_1[] = "TCC Vinicius e A";
    const unsigned char Texto_2[] = "Vinicius e Adria";
    const unsigned char Texto_3[] = "nicius e Adriano";

// Configura o LCD

    ConfiguraLCD();
    delay_ms(100);

while(Reset == 0) // Laço que necessita da entrada reset
{
    // Faz a tela de saudação
    PosicaoCursorLCD(1, 1);
    EscreveFraseRamLCD(Texto_0);
    PosicaoCursorLCD(2, 1);
    EscreveFraseRamLCD(Texto_1);
    delay_ms(700);
    PosicaoCursorLCD(2, 1);
    EscreveFraseRamLCD(Texto_2);
    delay_ms(700);
    PosicaoCursorLCD(2, 1);
    EscreveFraseRamLCD(Texto_3);
    delay_ms(700);
}
```

```

    PosicaoCursorLCD(2, 1);
    EscreveFraseRamLCD(Texto_1);
    DesligaCursor();
    delay_ms(700);
}
delay_ms(3000);

/*****
Início do laço infinito
*****/

while(1) // Laço infinito
{
    while(Frente == 1)
    {
        Banda1 = 0;
        Banda2 = 0;
    }
    while(Direita == 1)
    {
        Banda2 = 0;
    }
    while(Esquerda == 1)
    {
        Banda1 = 0;
    }
    Banda1 = 1;
    Banda2 = 1;
}
}

/*****/

/*****/

```

* Função: Esta função é usada para gerar um delay programável.

* Entrada: delay_ms (valor do delay em ms)

* Saída: não tem

* Descrição: Gera delay para o novo compilador

*****/

```
void delay_ms(unsigned int tempodeAtraso)
```

```
{
```

```
    while (--tempodeAtraso)
```

```
    {
```

```
        __delay_ms(1);
```

```
    }
```

```
}
```

```
/*Final do Arquivo.c*****/
```

ANEXO – Bibliotecas utilizadas na programação

```
// Biblioteca config.h
```

```
#ifndef    __CONFIG_H
```

```
#define    __CONFIG_H
```

```
#include <xc.h>
```

```
#define _XTAL_FREQ 48000000
```

```
#ifdef __cplusplus
```

```
extern "C" {
```

```
#endif
```

```
#ifdef __cplusplus
```

```
}
```

```
#endif
```

```
#endif
```

```
/*-----*/
```

```
// Biblioteca displayLCD.h

#ifndef __DISPLAYLCD_H
#define __DISPLAYLCD_H

/** includes *****/
#include "Config.h"

/** defines *****/

// Define dos pinos de dados
#define D4  PORTDbits.RD4
#define D5  PORTDbits.RD5
#define D6  PORTDbits.RD6
#define D7  PORTDbits.RD7

// Define do TRIS dos pinos de dados
#define TRIS_D4  TRISDbits.RD4
#define TRIS_D5  TRISDbits.RD5
#define TRIS_D6  TRISDbits.RD6
#define TRIS_D7  TRISDbits.RD7

// Define dos pinos de controle
#define RS_PIN  PORTDbits.RD1
#define E_PIN   PORTDbits.RD0
#define RW_PIN  PORTDbits.RD2

// Define os TRIS dos pinos de controle
#define TRIS_RS  TRISDbits.RD1
#define TRIS_E   TRISDbits.RD0
```

```
#define TRIS_RW TRISDbits.RD2
```

```
/** defines de configuração *****/
```

```
#define LimpaDisplay()      EscreveComandoLCD(0b00000001)
#define CursorHome()       EscreveComandoLCD(0b00000010)
#define LigaDisplay()      EscreveComandoLCD(0b00001100)
#define DesligaDisplay()   EscreveComandoLCD(0b00001000)
#define LigaCursor()       EscreveComandoLCD(0b00001110)
#define DesligaCursor()   EscreveComandoLCD(0b00001100)
#define PiscaCursor()     EscreveComandoLCD(0b00001111)
#define DeslocaCursorDir() EscreveComandoLCD(0b00010100)
#define DeslocaCursorEsq() EscreveComandoLCD(0b00010000)
#define DeslocaDisplayDir() EscreveComandoLCD(0b00011100)
#define DeslocaDisplayEsq() EscreveComandoLCD(0b00011000)
```

```
/** Protótipo de funções *****/
```

```
extern void ConfiguraLCD(void);
extern void EscreveComandoLCD(unsigned char cmd);
extern void EnderecoCursor(unsigned char endereco);
extern void PosicaoCursorLCD(unsigned char linha, unsigned char coluna);
extern void EscreveCaractereLCD(char data);
extern void EscreveInteiroLCD(int valor);
extern void EscreveFloatLCD(float valor, char formatacao);
extern void EscreveFraseRamLCD(char *buffer);
extern void EscreveFraseLCD(const char *buffer);
extern void CriaCaractereLCD(unsigned char endereco, const char *buffer);

#endif
```

```
// Biblioteca displayLCD.c

/** includes *****/
#include "Config.h"
#include "displayLCD.h"
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

/** funções *****/

void Delay(void)
{
    unsigned char Cnt1, Cnt2;
    for(Cnt1 = 0; Cnt1<30; Cnt1++)
    {
        NOP();
        for(Cnt2 = 0; Cnt2<30; Cnt2++)
        {
            NOP();
        }
    }
}

void ConfiguraLCD(void)
{
    TRIS_RW = 0;
    TRIS_RS = 0;
    TRIS_E = 0;
    TRIS_D4=0;
    TRIS_D5=0;
    TRIS_D6=0;
```

```
TRIS_D7=0;
```

```
RW_PIN = 0;
```

```
RS_PIN = 0;
```

```
E_PIN = 0;
```

```
D7=0;
```

```
D6=0;
```

```
D5=1;
```

```
D4=1;
```

```
__delay_ms(15);
```

```
E_PIN = 1;
```

```
Delay();
```

```
E_PIN = 0;
```

```
Delay();
```

```
__delay_ms(5);
```

```
E_PIN = 1;
```

```
Delay();
```

```
E_PIN = 0;
```

```
Delay();
```

```
__delay_ms(5);
```

```
E_PIN = 1;
```

```
Delay();
```

```
E_PIN = 0;
```

```
Delay();

D7=0;
D6=0;
D5=1;
D4=0;

E_PIN = 1;
Delay();
E_PIN = 0;
Delay();

EscreveComandoLCD(0b00101000);
EscreveComandoLCD(0b00000110);
EscreveComandoLCD(0b00001110);
EscreveComandoLCD(0b00000001);
}
void EscreveComandoLCD(unsigned char cmd)
{
    RW_PIN = 0;
    RS_PIN = 0;
    E_PIN = 0;

    if(cmd&0b00010000){D4=1;}
    else {D4=0;}
    if(cmd&0b00100000){D5=1;}
    else {D5=0;}
    if(cmd&0b01000000){D6=1;}
    else {D6=0;}
    if(cmd&0b10000000){D7=1;}
    else {D7=0;}
```

```

E_PIN = 1;
Delay();
E_PIN = 0;
Delay();

if(cmd&0b00000001){D4=1;}
else {D4=0;}
if(cmd&0b00000010){D5=1;}
else {D5=0;}
if(cmd&0b00000100){D6=1;}
else {D6=0;}
if(cmd&0b00001000){D7=1;}
else {D7=0;}

E_PIN = 1;
Delay();
E_PIN = 0;
Delay();

if (cmd==0x01 || cmd==0x02 || cmd==0x03)
{ Delay(); }
}

void EnderecoCursor(unsigned char endereco)
{
RW_PIN = 0;
RS_PIN = 0;
E_PIN = 0;

D7 = 1;
if(endereco&0b00010000){D4=1;}

```

```
else {D4=0;}
if(endereco&0b00100000){D5=1;}
else {D5=0;}
if(endereco&0b01000000){D6=1;}
else {D6=0;}

E_PIN = 1;
Delay();
E_PIN = 0;
Delay();

if(endereco&0b00000001){D4=1;}
else {D4=0;}
if(endereco&0b00000010){D5=1;}
else {D5=0;}
if(endereco&0b00000100){D6=1;}
else {D6=0;}
if(endereco&0b00001000){D7=1;}
else {D7=0;}

E_PIN = 1;
Delay();
E_PIN = 0;
Delay();
}
void PosicaoCursorLCD(unsigned char linha, unsigned char coluna)
{
#define linha1      0x00
#define linha2      0x40
#define linha3      0x14
```

```
#define linha4      0x54

unsigned char EnderecoLCD = 0x00;

coluna--;

if (coluna >= 0)
{
    switch (linha)
    {
        case 1:
            EnderecoLCD = linha1 + coluna;
            EnderecoCursor(EnderecoLCD);
            break;

        case 2:
            EnderecoLCD = linha2 + coluna;
            EnderecoCursor(EnderecoLCD);
            break;

        case 3:
            EnderecoLCD = linha3 + coluna;
            EnderecoCursor(EnderecoLCD);
            break;
        case 4:
            EnderecoLCD = linha4 + coluna;
            EnderecoCursor(EnderecoLCD);
            break;
        default:
            EnderecoLCD = linha1;
```

```
                break;
            }
        }
    else
    {
        EnderecoLCD = linha1;
    }
}

void EscreveCaractereLCD(char data)
{
    RW_PIN = 0;
    RS_PIN = 1;
    E_PIN = 0;

    if(data&0b00010000){D4=1;}
    else {D4=0;}
    if(data&0b00100000){D5=1;}
    else {D5=0;}
    if(data&0b01000000){D6=1;}
    else {D6=0;}
    if(data&0b10000000){D7=1;}
    else {D7=0;}

    E_PIN = 1;
    Delay();
    E_PIN = 0;
    Delay();

    if(data&0b00000001){D4=1;}
    else {D4=0;}
```

```

        if(data&0b00000010){D5=1;}
        else {D5=0;}
        if(data&0b00000100){D6=1;}
        else {D6=0;}
        if(data&0b00001000){D7=1;}
        else {D7=0;}

        E_PIN = 1;
        Delay();
        E_PIN = 0;
        Delay();
    }
void EscreveInteiroLCD(int valor)
{
    char texto[7] = "000000";
    itoa(valor, texto, 10);
    EscreveFraseRamLCD(texto);
}
void EscreveFloatLCD(float valor, char formatacao)
{
    int status;
    char *texto;
    char i = 0;

    texto = ftoa(valor,&status); // Converte float para texto

    while(i<=formatacao)
    {
        EscreveCaractereLCD(texto[i]);
        i++;
    }
}

```

```
    }  
}  
void EscreveFraseRamLCD(char *buffer)  
{  
    while(*buffer)  
    {  
        EscreveCaractereLCD(*buffer);  
        buffer++;  
    }  
}  
void EscreveFraseLCD(const char *buffer)  
{  
    while(*buffer)  
    {  
        EscreveCaractereLCD(*buffer);  
        buffer++;  
    }  
}  
void CriaCaractereLCD(unsigned char endereco, const char *buffer)  
{  
    unsigned char cmd;  
    unsigned char n = 0;  
  
    endereco = endereco & 0b00000111;  
  
    switch (endereco)  
    {  
        case 0: cmd = 0b01000000;    break;  
        case 1: cmd = 0b01001000;    break;  
        case 2: cmd = 0b01010000;    break;  
        case 3: cmd = 0b01011000;    break;
```

```

        case 4: cmd = 0b01100000;    break;
        case 5: cmd = 0b01101000;    break;
        case 6: cmd = 0b01110000;    break;
        case 7: cmd = 0b01111000;    break;
        default:cmd = 0b01000000;    break;
    }
    EscreveComandoLCD(cmd);
    for(n=0; n<8; n++)
    {
        EscreveCaractereLCD(*buffer);
        buffer++;
    }
    EnderecoCursor(0x00);
}

/*****/
// Biblioteca adc.h

#ifndef __ADC_H
#define __ADC_H

#include "Config.h"
/** Protótipo de funções *****/

extern void configuraADC(char numEntradas);

extern lerADC(char ANx);

#endif

```