



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**JOÃO VICTOR VIANA BATISTA TOSCANO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE ESTAÇÃO DE BICICLETAS ELÉTRICAS  
COMPARTILHADAS RECARREGADAS VIA TAPETE GERADOR COMO  
ALTERNATIVA AO TRANSPORTE URBANO DE FORTALEZA**

**FORTALEZA**

**2022**

JOÃO VICTOR VIANA BATISTA TOSCANO

ESTUDO DE VIABILIDADE DE ESTAÇÃO DE BICICLETAS ELÉTRICAS  
COMPARTILHADAS RECARREGADAS VIA TAPETE GERADOR COMO  
ALTERNATIVA AO TRANSPORTE URBANO DE FORTALEZA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título Engenheiro de Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

T654e Toscano, João Victor Viana Batista.

Estudo de viabilidade de estação de bicicletas elétricas compartilhadas recarregadas via tapete gerador como alternativa ao transporte urbano de Fortaleza / João Victor Viana Batista Toscano. – 2022.  
80 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire.

1. Tapete Gerador. 2. Hidrogeração. 3. Estação de Bicicletas Elétricas. I. Título.

CDD 621.042

---

JOÃO VICTOR VIANA BATISTA TOSCANO

ESTUDO DE VIABILIDADE DE ESTAÇÃO DE BICICLETAS ELÉTRICAS  
COMPARTILHADAS RECARREGADAS VIA TAPETE GERADOR COMO  
ALTERNATIVA AO TRANSPORTE URBANO DE FORTALEZA-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia de Energias  
Renováveis do Centro de Tecnologia da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do título Engenheiro de  
Energias Renováveis.

Aprovada em:    /    /    .

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Fabíola Leite Almeida  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Natalia Maria Cordeiro Barroso  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, João e Nazaré.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, João Toscano e Nazaré Viana, pelos ensinamentos de vida e pelo imensurável esforço dedicado durante vários anos para permitir chegar aonde cheguei. Agora é minha hora de retribuir tudo. Isto é só o começo.

Ao meu tio Bruno Caetano, que é o melhor tio que eu poderia ter. Meu muito obrigado por sempre me ajudar nos momentos em que mais precisei e por ser essa pessoa que posso considerar como um grande irmão.

À minha avó, Elizabeth, pelas orações matinais e pelo “vá com Deus”, que até hoje me trouxeram são e salvo de volta para casa.

Ao meu avô, Paulo Brito, que também sempre me ajudou e nunca me deu não.

Às minhas tias, Nara Viana e Nayara Viana, pelo apoio.

À Thays Mayara, por me ajudar com meu material de estudo e me dar de presente a minha simbólica calculadora que me acompanhou a graduação quase toda e que guardo com tanto zelo.

À minha amiga Catarina Gomes, em especial, pelos diversos conselhos, ajudas e motivações durante a graduação, sempre me provando que, no fim das contas, sou capaz de fazer aquilo que achava impossível.

À minha amiga, Pamela Silva, pelas disciplinas que fizemos juntos, sempre prestativa, companheira e disponível a me ajudar no que fosse preciso.

Ao meu amigo Giovani pelas boas conversas e pela sugestão de tema que deu um norte ao meu TCC.

Aos meus amigos, Luis Helder e Klismamm, pelos almoços no RU e estudos na biblioteca, que ajudaram a deixar minha rotina mais descontraída.

Aos meus demais amigos que fiz durante essa jornada na UFC: Krisna, Karim, Paulo Vitor, Zildivan, Vanessa, Lara, Pedro Felipe, Tales, Beatriz e Cecília. Meu muito obrigado por tudo e saibam que podem contar sempre comigo.

À Maria Cristina, pela imensurável ajuda, disponibilidade e atenção durante minhas quebras de pré-requisitos, informações e dúvidas que tive ao longo do curso.

À professora Fabíola, pelas aulas, pela disponibilidade em ser minha orientadora dos meus estágios, por toda a atenção prestada a mim e por fazer parte da banca.

À professora Natália Barroso, pelas aulas e por participar da banca.

Ao professor Nivaldo, pelas aulas, orientação e disponibilidade para a consolidação deste trabalho.

“Não é como você cai, mas como se levanta que diz quem realmente você é.”

(Joshua Homme).

## RESUMO

Em deslocamentos de até 5 quilômetros a bicicleta é o tipo de transporte que leva menor tempo gasto para locomoção, sendo uma forte alternativa frente aos grandes congestionamentos dos centros urbanos. Apesar da economia de tempo, a utilização da bicicleta comum pode se tornar um exercício físico mais forte, causando fadiga e suor. Em contrapartida, a bicicleta elétrica surge para trazer maior conforto e leveza ao pedalar, permitindo que pessoas de qualquer idade e condicionamento físico possam utilizá-la sem maiores problemas. Percebendo que a cidade de Fortaleza ainda não explorou as vantagens da bicicleta elétrica nas estações compartilhadas, este trabalho realizou um estudo de viabilidade técnica de implementação de uma estação de bicicletas elétricas compartilhadas que funciona com modelo híbrido de geração de energia, onde sua parte *off-grid* utiliza um novo conceito de fonte renovável de energia por meio de tapete gerador, com o intuito de melhorar a qualidade deste serviço de transporte aos cidadãos fortalezenses e garantir sua sustentabilidade. A metodologia consistiu em quantificar a demanda diária de energia a ser atendida, em kWh por estação, propor equipamentos, sugerir circuito para a geração *off-grid* que utilize banco de baterias, calcular o tamanho do tapete gerador para uma condição de movimentação diária de pessoas, estipular os custos de aquisição dos equipamentos constituintes à estação e das bicicletas, e estipular os custos de manutenção preventiva ao longo dos anos de utilização. A produção de energia diária por estação totalizou 7 kWh, necessitando de 320 blocos do tapete gerador e movimentação diária de 7500 pessoas sob o tapete para atender à demanda. Os resultados revelaram um custo total de implementação de R\$ 310.776,78 por estação, com 15 bicicletas de 350 W de potência cada. O retorno do investimento é esperado em cerca de 2 anos e 8 meses após a estação entrar em funcionamento. Foi feita uma comparação do custo de implementação da estação utilizando tapete gerador frente à utilização da energia solar e energia da concessionária, onde foi constatado que a tecnologia de tapete gerador é a mais cara dentre as três. Por fim, foi notado que o grande obstáculo deste conceito é a baixa geração de energia por pisada no tapete, destacando a importância de maiores pesquisas da comunidade acadêmica diante deste conceito pouco explorado e que pode ser promissor no futuro.

**Palavras-chave:** Tapete Gerador; Hidrogeração; Estação de Bicicletas Elétricas.



## ABSTRACT

For trips up to 5 kilometers, bicycles are the type of transport that takes the least amount of time taken to move, being a strong alternative in the face of traffic congestion in urban centers. Despite saving time, the use of a common bicycle can become a stronger physical exercise, causing fatigue and sweating. On the other hand, the electric bicycle appears to bring greater comfort and less effort when pedaling, allowing people of any age and physical condition to use it without major problems. Noticing that the city of Fortaleza has not explored the advantages of electric bicycles in shared stations, this work carried out a technical feasibility study for the implementation of a shared electric bicycle station that works with a hybrid model of energy generation, where its *off-grid* part uses a new concept of renewable energy source through an energy harvesting floor, with the aim of improving the quality of this transport service to the citizens of Fortaleza and guaranteeing its sustainability. The methodology consisted of quantifying the daily energy demand to be met, in kWh per station, proposing equipment, suggesting a circuit for *off-grid* generation that uses a battery bank, calculating the size of the harvesting floor for a condition of daily movement of people, stipulate the acquisition costs of the station's equipment and bicycles, and stipulate the costs of preventive maintenance over the years of use. The daily energy production per station totaled 7 kWh, requiring 320 blocks of the harvesting floor and daily movement of 7500 people to meet the demand. The results revealed a total implementation cost of R\$ 310,776.78 per station, with 15 bicycles of 350 W of power each. The return on investment is expected in about 2 years and 8 months after the station starts operating. A comparison was made of the cost of implementing the station using a harvesting floor against the use of solar energy and energy from the grid, where it was found that the first option technology is the most expensive among the three. Finally, it was noted that the major obstacle of this concept is the low generation of energy per step on the floor, showing the importance of further research by the academic community on this little explored concept that can be promising in the future.

**Keywords:** Harvesting Floor Energy; Hydrogeneration; Electric Bicycle Station.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Comparação de tempo versus distância para diferentes possibilidades de locomoção.<br>.....          | 15 |
| Figura 2 - Contator eletromagnético.....   | 19 |
| Figura 3 - Reação global da bateria de chumbo-ácido. ....  | 23 |
| Figura 4 - Reação global da bateria de íons de lítio. ....   | 23 |
| Figura 5 - Relação entre profundidade de descarga e ciclos de uma bateria. ....                                | 25 |
| Figura 6 - Comparação entre motores DC com escovas e sem. ....   | 28 |
| Figura 7 - Utilização dos modos de potência versus autonomia. ....   | 29 |
| Figura 8 - Motor elétrico alojado diretamente no cubo da roda. ....  | 30 |
| Figura 9 - Motor alojado diretamente no movimento central.....   | 30 |
| Figura 10 - Baterias alojadas no rack traseiro. ....   | 31 |
| Figura 11 - Baterias alojadas no quadro. ....  | 32 |
| Figura 12 - Bateria alojada dentro do tubo inferior. ....  | 32 |
| Figura 13 - Ilustração de um tapete gerador sendo utilizado para produção de energia elétrica<br>.....         | 34 |
| Figura 14 - Princípio de funcionamento do bloco movido a hidrogenação. ....                                    | 36 |
| Figura 15 - Bilete Sonny.....  | 39 |
| Figura 16 - Vista explodida dos blocos do tapete gerador escolhido. ....                                       | 40 |
| Figura 17 - Possibilidades de dimensionamento do tapete gerador.....   | 43 |
| Figura 18 - Gráfico de vida útil de uma bateria Moura em função de sua profundidade de<br>descarga. ....       | 45 |
| Figura 19 - Total de baterias para cada possibilidade de tensão do banco de baterias.....                      | 46 |
| Figura 20 - Ligações das baterias do banco de baterias. ....   | 47 |
| Figura 21 - Super capacitor de 16V e 500F.....   | 48 |
| Figura 22 - Placa de automação sugerida para o circuito do tapete gerador. ....                                | 49 |
| Figura 23 - Contator sugerido para comando elétrico entre o banco de capacitores e o banco de<br>baterias..... | 49 |
| Figura 24 - Regulador de tensão para o circuito do tapete gerador. ....  | 50 |
| Figura 25 - Inversor do circuito do tapete gerador. ....   | 52 |
| Figura 26 - Relé digital a ser instalado na saída CA do inversor. ....   | 52 |
| Figura 27 - Switch integrador do circuito on-grid e off-grid.....  | 53 |
| Figura 28 - Categorias de instalação de cabos elétricos .....  | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 29 - Seções nominais dos cabos elétricos com base na corrente máxima suportada. ... | 55 |
| Figura 30 - Sugestão de circuito off-grid da estação.....                                  | 56 |
| Figura 31 - Layout padrão para a estação.....  | 63 |
| Figura 32 - Localização das tomadas para recarga das bicicletas. ....                      | 64 |
| Figura 33 - Diferentes cenários de ganhos anuais com a estação.....                        | 65 |
| Figura 34 - Ciclo de reutilização de baterias de chumbo ácido Moura. ....                  | 69 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 – Previsão de ganhos com a estação movida a tapete gerador .....                         | 65 |
| Gráfico 2 – Comparação financeira entre tapete gerador, energia solar e concessionária local ..... | 67 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Dados comparativos entre baterias tradicionais. ....   | 24 |
| Tabela 2 - Tipos de blocos de tapetes geradores mais promissores. ....  | 34 |
| Tabela 3 - Sumário das potências médias de saída para diferentes atividades.....                                      | 36 |
| Tabela 4 - Especificações técnicas da Bikelete Sonny 350 W. ....  | 38 |
| Tabela 5 - Parâmetros do hidrogerador CC utilizado nos blocos do tapete escolhido. ....                               | 40 |
| Tabela 6 - Comparação entre o conceito de hidrogenação com as duas tecnologias de tapete mais viáveis no mercado..... | 41 |
| Tabela 7 - Levantamento de custo dos equipamentos que compõem a estação.....  | 57 |
| Tabela 8 - Levantamento de custo dos itens de reposição programada das bicicletas. ....                               | 59 |
| Tabela 9 - Matriz de impactos ambientais da reciclagem de pilhas e baterias.....                                      | 68 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|           |   |
|-----------|---|
| A         | Ampere  |
| ACC       | Autorização para Conduzir Ciclomotor  |
| Ah        | Ampere-hora   |
| $A_m$     | Autonomia média da bicicleta [km]   |
| ATS       | Interruptor de Transferência Automática ( <i>Automatic Transfer Switch</i> )              |
| BRL       | Real Brasileiro   |
| C         | Coulomb   |
| CA        | Corrente Alternada  |
| $C_{ahb}$ | Capacidade do banco de baterias [Ah]  |
| $C_b$     | Capacidade da bateria [Ah]  |
| $C_{bb}$  | Capacidade do banco de baterias [kWh]   |
| CC        | Corrente Contínua   |
| $D_d$     | Demanda diária da estação [kWh]   |
| $D_m$     | Distância média percorrida diariamente pela bicicleta [km]                                |
| $E_{gd}$  | Energia a ser gerada diariamente [kWh]  |
| F         | Farad   |
| $F_b$     | Fileiras de baterias  |
| Hz        | Hertz   |
| IEC       | Comissão Eletrotécnica Internacional ( <i>International Electrotechnical Commission</i> ) |
| km        | Quilômetro  |
| $n$       | Número de blocos do tapete  |
| NA        | Normalmente Aberto  |
| NF        | Normalmente Fechado   |
| $N_p$     | Número de passos no tapete  |
| PEVs      | Pontos de Entrega Voluntária  |
| $Q_{be}$  | Quantidade de bicicletas elétricas da estação   |
| $t$       | Tempo no qual a potência é gerada [h]   |
| $U_b$     | Tensão do banco de baterias [V]   |
| V         | Volt  |
| W         | Watt  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

R\$ Real

US\$ Dólar americano

## SUMÁRIO

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                 | 15 |
| <b>1.1</b>     | <b>Objetivo Geral</b> .....                             | 16 |
| <b>1.2</b>     | <b>Objetivos Específicos</b> .....                      | 16 |
| <b>2</b>       | <b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....                        | 16 |
| <b>2.1</b>     | <b>Potência e energia</b> .....                         | 17 |
| <b>2.2</b>     | <b>Capacitores</b> .....                                | 18 |
| <b>2.2.1</b>   | <i>Associação de capacitores</i> .....                  | 18 |
| <b>2.3</b>     | <b>Contator</b> .....                                   | 19 |
| <b>2.4</b>     | <b>Relé Digital</b> .....                               | 20 |
| <b>2.5</b>     | <b>Inversor</b> .....                                   | 20 |
| <b>2.6</b>     | <b>Sistemas de ligação de fontes renováveis</b> .....   | 21 |
| <b>2.6.1</b>   | <i>Sistema on-grid</i> .....                            | 21 |
| <b>2.6.2</b>   | <i>Sistema off-grid</i> .....                           | 21 |
| <b>2.6.3</b>   | <i>Sistema híbrido</i> .....                            | 22 |
| <b>2.7</b>     | <b>Bateria</b> .....                                    | 22 |
| <b>2.7.1</b>   | <i>Bateria de chumbo-ácido</i> .....                    | 22 |
| <b>2.7.2</b>   | <i>Bateria de íons lítio</i> .....                      | 23 |
| <b>2.7.3</b>   | <i>Profundidade de descarga</i> .....                   | 24 |
| <b>2.7.4</b>   | <i>Associação de baterias</i> .....                     | 25 |
| <b>2.8</b>     | <b>Bicicleta Elétrica: Elementos Fundamentais</b> ..... | 26 |
| <b>2.8.1</b>   | <i>Motor elétrico</i> .....                             | 26 |
| <b>2.8.1.1</b> | <i>Motor CC com escovas</i> .....                       | 27 |
| <b>2.8.1.2</b> | <i>Motor CC sem escovas</i> .....                       | 27 |
| <b>2.8.2</b>   | <i>Módulo de potência</i> .....                         | 28 |
| <b>2.8.3</b>   | <i>Alojamentos</i> .....                                | 29 |
| <b>2.8.3.1</b> | <i>Motor elétrico</i> .....                             | 30 |



|   |           |
|---|-----------|
| 2.8.3.2 Bateria .....                         | 31        |
| 2.8.4 Legislação .....                        | 33        |
| <b>2.9 Tapete Gerador de Energia .....</b>    | <b>33</b> |
| 2.9.1 Tapete movido a hidrogenação .....      | 35        |
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>                    | <b>36</b> |
| <b>3.1 Caracterização da Proposta .....</b>   | <b>36</b> |
| 3.1.1 Demanda da estação .....                | 37        |
| 3.1.2 O modelo do tapete gerador .....        | 39        |
| 3.1.3 Dimensionamento do tapete gerador ..... | 42        |
| 3.1.4 Banco de baterias .....                 | 44        |
| 3.1.5 Controle de carga .....                 | 47        |
| 3.1.5.1 Banco de capacitores .....            | 48        |
| 3.1.5.2 Placa de automação .....              | 48        |
| 3.1.5.3 Contator .....                        | 49        |
| 3.1.5.4 Regulador de tensão .....             | 50        |
| 3.1.5.5 Inversor .....                        | 51        |
| 3.1.5.6 Relé temporizador .....               | 52        |
| 3.1.5.7 ATS .....                             | 53        |
| 3.1.6 Cabeamento .....                        | 54        |
| <b>3.2 Análise Econômica .....</b>            | <b>57</b> |
| 3.2.1 Custos de aquisição .....               | 57        |
| 3.2.2 Custos de manutenção .....              | 59        |
| 3.2.3 Modelo de Retorno Financeiro .....      | 61        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>         | <b>61</b> |
| 4.1 A Bicicleta .....                         | 61        |
| 4.2 Circuito Off-grid .....                   | 62        |
| 4.3 Visão Geral da Estação .....              | 63        |

|              |                                      |    |
|--------------|--------------------------------------|----|
| <b>4.4</b>   | <b>Retorno do Investimento</b> ..... | 64 |
| <b>4.5</b>   | <b>Impactos Ambientais</b> .....     | 67 |
| <i>4.5.1</i> | <i>Tapete</i> .....                  | 67 |
| <i>4.5.2</i> | <i>Baterias</i> .....                | 68 |
| <i>4.5.3</i> | <i>Ações Práticas</i> .....          | 69 |
| <b>4.6</b>   | <b>Percepções do Conjunto</b> .....  | 70 |
| <i>4.6.1</i> | <i>Pontos Positivos</i> .....        | 70 |
| <i>4.6.2</i> | <i>Pontos Negativos</i> .....        | 70 |
| <b>5</b>     | <b>CONCLUSÃO</b> .....               | 71 |
| <b>6</b>     | <b>TRABALHOS FUTUROS</b> .....       | 72 |
|              | <b>REFERÊNCIAS</b> .....             | 73 |

## 1 INTRODUÇÃO

Os grandes centros urbanos, cada vez mais populosos, provocam a necessidade de implementar melhores condições de mobilidade aos cidadãos. A bicicleta, nos últimos anos, tornou-se fundamental para os deslocamentos de curta distância e durante a pandemia (2020 – 2021) ela foi crucial para evitar maior propagação da doença ao ser mais uma alternativa aos ônibus e metrô, permitindo redução da quantidade de aglomerações.

A cidade de Fortaleza desenvolveu sua malha viária para o transporte por bicicleta através da criação de diversas ciclofaixas e ciclovias, trazendo oportunidade para a implementação de estações de bicicletas compartilhadas tendo em vista a condição segura e adequada para a prática desta modalidade de transporte. Além disso, segundo a Comissão Europeia (2000), a bicicleta, na cidade, gasta menos tempo de locomoção em distâncias iguais ou inferiores a 5 km, conforme observado na Figura 1. Desse modo, fica destacada a importância das estações de bicicletas compartilhadas como alternativa viável para a melhoria da rapidez dos deslocamentos diários da população fortalezense.

Figura 1 - Comparação de tempo versus distância para diferentes possibilidades de locomoção.



Fonte: Comissão Europeia, 2000 (adaptado).

Porém, mesmo que ela seja a opção mais rápida para distâncias curtas, ela carrega algumas desvantagens quando olhado do ponto de vista do esforço físico necessário para se

locomover: suor e fadiga. Isto, de certa forma, pode ser um dos fatores que dificulte uma maior adesão a este meio de transporte.

A bicicleta elétrica surge para sanar estes dois problemas e trazer maior conforto durante as pedaladas, pois a força necessária para girar a roda da bicicleta e aguentar subidas íngremes virá do motor elétrico, e não mais do ciclista. Contudo, diferentemente das bicicletas comuns, as elétricas podem contribuir para o aumento da poluição se carregadas através de uma fonte não renovável ou poluidora, como termelétrica, por exemplo.

Diante deste cenário, este trabalho propôs fazer uma análise de viabilidade de estação de bicicletas elétricas movida por outro tipo de fonte renovável, que é o tapete gerador de energia que utiliza hidrogeração. Foi verificada a possibilidade de oferecer um serviço de maior qualidade e conforto aos usuários de bicicletas compartilhadas e que ao mesmo tempo traga baixo impacto ambiental, com o intuito de atrair mais adeptos a este tipo de locomoção na cidade de Fortaleza.

### **1.1 Objetivo Geral**

- Analisar a viabilidade técnica e realizar análise de custo de uma estação de bicicletas elétricas movidas a um novo conceito de tapete gerador de energia.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Levantamento a respeito dos equipamentos necessários para o circuito de geração *off-grid* cuja fonte geradora seja um tapete.
- Comparar os custos de investimento entre estação movida a tapete gerador, movida a energia solar e ligada diretamente à rede elétrica.
- Análise a respeito das vantagens e desvantagens da utilização do tapete gerador.

## **2 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

Anterior à metodologia de pesquisa e aos resultados obtidos neste trabalho, o presente capítulo abordará sobre os conceitos e definições essenciais para a devida compreensão do estudo de viabilidade realizado, a fim de facilitar o entendimento.

## 2.1 Potência e energia

Para realizar o cálculo de demanda de energia da estação e potência das cargas conectadas, será necessário recorrer aos conceitos de potência e energia elétrica. A potência usada em qualquer parte de um circuito é igual à corrente, nessa parte, multiplicada pela tensão nesta mesma parte do circuito (Gussow, 2009). Dessa forma, a fórmula da potência é descrita pela equação 1.

$$P = U I \quad (1)$$

Onde:

$P$  = potência, em watts [W]

$U$  = tensão, em volts [V]

$I$  = corrente, em ampere [A]

A unidade de potência é o watt. Um watt usado em um segundo é igual ao trabalho de um joule [J], ou um watt é um joule por segundo (Gussow, 2009). Portanto, ao multiplicar a potência por uma unidade de tempo, obtém-se energia. Em cálculos de consumo de energia residencial ou comercial, onde grandes quantidades de energia elétrica ou trabalho são realizadas, normalmente é usada a unidade quilowatt-hora [kWh]. Esta grandeza é representada conforme equação 2.

$$\text{kWh} = \text{kW} \times \text{h} \quad (2)$$

Onde:

kW = potência elétrica, em quilowatts

h = tempo, em horas, no qual a potência é utilizada

Com estas duas equações, será possível estimar a demanda energética e demanda de potência da estação, com base nos dados técnicos da bicicleta elétrica, por meio de sua bateria e carregador.

## 2.2 Capacitores

Segundo Gussow (2009), capacitor é um dispositivo elétrico que consiste em duas placas condutoras de metal separadas por um material isolante denominado dielétrico, cujo este último consegue armazenar carga. A função mais básica do capacitor é armazenar carga para fornecê-la em grandes quantidades quando solicitada por um circuito. Os capacitores podem ser associados para formar um banco de capacitores e aumentar sua capacitância ou tensão.

A capacitância é a capacidade de armazenamento que um capacitor possui em armazenar carga elétrica. A equação 3 descreve esse fenômeno.

$$C = Q/U \quad (3)$$

Onde:

$C$  = capacitância, em farad [F]

$Q$  = quantidade de carga, em coulomb [C]

$U$  = tensão [V]

A unidade de capacitância é dada em farad (F). Esta unidade significa a capacitância que armazena um coulomb de carga no dielétrico quando a tensão aplicada aos terminais do capacitor é de um volt (Gussow, 2009).

### 2.2.1 Associação de capacitores

Associar capacitores em série, do ponto de vista da tensão, segue o mesmo raciocínio para associação em série de baterias: A tensão total do banco de capacitores é igual à soma das tensões dos capacitores. Porém para este mesmo tipo de associação, a capacitância total é dada pela equação 4.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (4)$$

Onde:

$C_T$  = capacitância do banco de capacitores [F]

$C_1, C_2, \dots, C_n$  = Capacitância de cada capacitor [F]

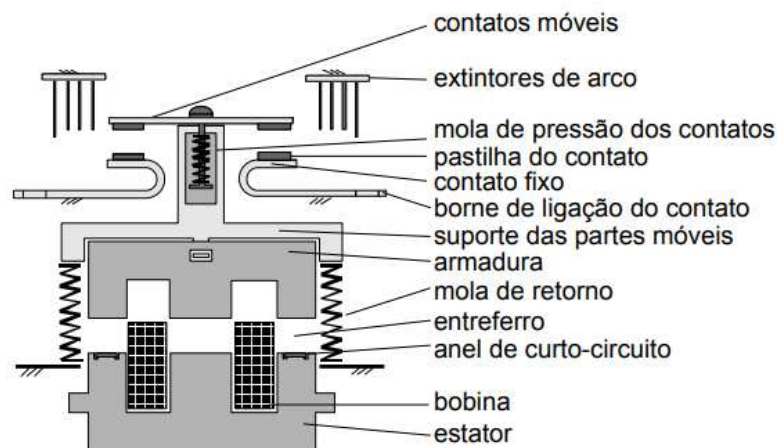
### 2.3 Contator

A definição de contator, segundo a norma IEC 60947-1, caracteriza-o como sendo um dispositivo de comutação mecânica com somente um estado de repouso. Dessa forma, ele se torna muito utilizável em situações de comandos elétricos ou manobras de dispositivos e máquinas elétricas, pois elas podem ser realizadas de forma automática, interrompendo ou não a passagem de corrente por um circuito.

Os contadores podem ser eletromecânicos, pneumáticos, hidráulicos ou eletromagnéticos. Eles também são fabricados para funcionar em CC ou CA. Neste trabalho o contator fará a função de manobra automática para fechar o circuito entre a fonte renovável de geração (tapete) e o banco de baterias, de modo que este último seja carregado sob as corretas condições.

A Figura 2 representa de maneira resumida as principais partes de um contator eletromagnético, no qual será este conceito de contator a ser utilizado neste trabalho.

Figura 2 - Contator eletromagnético



Fonte: Moraes, 2004.

Cabos elétricos são conectados nas entradas normalmente abertas, NA, entradas normalmente fechadas, NF, e na bobina. Dessa forma, quando a bobina é energizada, a armadura é atraída, fazendo com que o contato móvel encoste no contato fixo, fechando o circuito NA e permitindo a passagem de corrente, ou abrindo o circuito NF e impedindo a passagem de corrente. Com essas duas opções de utilização pode ser construído um circuito de comando elétrico automatizado.

## 2.4 Relé Digital

A função primordial de um relé em um circuito elétrico é a de proteção ao sistema no qual ele está inserido. Com base em valores pré-ajustados o relé compara seus parâmetros com os do circuito, de modo que, se ultrapassado um valor limite, ele se acionará para proteger as cargas conectadas.

Atualmente, com a evolução da elétrica e eletrônica, existem os relés digitais, que podem simular vários tipos de relés ao mesmo tempo num só equipamento. Eles são gerenciados por microprocessadores e um software faz a gestão da lógica de proteção através da leitura dos sinais de entrada no qual ele está conectado ao circuito.

Para este trabalho, o relé digital será de fundamental importância para proteger as bicicletas conectadas às tomadas da estação quando o inversor estiver sendo ligado, pois, nesta etapa, o inversor levará alguns décimos de segundos para alcançar a tensão de 220 V AC. Portanto, antes de chegar neste valor, o relé, por meio de seu temporizador, atuará como proteção ao circuito, só permitindo o fluxo de corrente passados alguns segundos após a chegada de sinal elétrico na sua entrada.

## 2.5 Inversor

De fundamental importância em circuitos movidos a fontes renováveis que estejam ligados a aparelhos eletroeletrônicos, que comumente são fabricados para as especificações da rede elétrica da concessionária, como tensão CA 220 V ou 110 V, o inversor, como o nome sugere, é o equipamento responsável por inverter a corrente contínua recebida e fornecê-la na forma de corrente alternada, com tensão e frequência determinados.

Dois tipos de inversores são bem comuns atualmente, são os do tipo de onda senoidal modificada e os do tipo de onda senoidal pura. O primeiro tipo é mais barato, porém a energia fornecida não é de boa qualidade, sendo ele recomendado para sistemas mais básicos, como lâmpadas. O segundo tipo custa bem mais caro, porém vale a pena, pois entrega energia de boa qualidade e pode alimentar equipamentos mais robustos, como eletrônicos e motores elétricos.

Existem inversores das mais variadas especificações. Portanto, deve-se tomar atenção quanto à tensão CC de entrada, que pode ser de 12 V, 24 V, 36 V, 48 V etc., e quanto à tensão e frequência de saída, que pode ser 110 V, 220 V e 50 Hz ou 60 Hz.

Além disso, segundo Halmeman (2014), para o dimensionamento do inversor será preciso levar em consideração a potência elétrica para consumo contínuo e deverá ser



considerada a potência elétrica de pico, quando cargas como partida de motores forem solicitadas.

## **2.6 Sistemas de ligação de fontes renováveis**

À medida que as tecnologias das energias alternativas passam por constantes evoluções, tendo como objetivo atender às demandas existentes, novas maneiras de consumo de energia são empregadas. Atualmente, existem três categorias de sistemas de ligação de fontes renováveis para consumo: sistemas isolados ou *off-grid*, sistemas conectados à rede ou *on-grid*, e sistemas híbridos.

### **2.6.1 Sistema on-grid**

Neste tipo de sistema, há uma dependência com a rede elétrica convencional. A fonte de energia renovável será conectada diretamente à concessionária, de tal forma que sua energia gerada passará por um wattímetro bidirecional para lançar a energia excedente nas linhas de transmissão, promovendo, dessa forma, redução na conta de energia. Porém, se houver uma pane ou outro distúrbio que cause uma queda no fornecimento de energia elétrica, o consumidor ficará sem eletricidade, mesmo que a fonte renovável continue produzindo energia.

### **2.6.2 Sistema off-grid**

Este sistema dependerá unicamente da fonte de energia renovável para produção energética. Para isso, ele precisará de um sistema de armazenamento de energia por meio de bateria ou banco de baterias. Consequentemente, dependendo da aplicação, para a correta entrega de tensão e corrente às cargas solicitadas, este sistema necessita de controladores de tensão e inversores CC/CA. Portanto, sua grande característica é a independência da rede elétrica. Contudo, o sistema só enviará energia às cargas conectadas enquanto as baterias estiverem devidamente carregadas. Caso a fonte alternativa pare de recarregar as baterias, o fornecimento de energia será interrompido quando estas se esgotarem.

### **2.6.3 Sistema híbrido**

Nesta modalidade de instalação, o funcionamento pode ocorrer no modo *on-grid* ou no modo *off-grid*, a depender da necessidade. A utilização pode ser feita para prioritariamente consumir a energia da concessionária e, em caso de interrupção na rede, o sistema migrará para o banco de baterias, permitindo a continuidade do fornecimento de energia. Ou, em contrapartida, o sistema pode funcionar utilizando a energia diretamente do banco de baterias e, caso elas se esgotem, o sistema migrará para a utilização de energia pela concessionária, ficando a melhor opção de utilização a critério do usuário.

## **2.7 Bateria**

É um dispositivo que armazena ou fornece energia elétrica através de reações eletroquímicas que ocorrem no seu interior. Existem duas maneiras de classificar uma bateria: primária ou secundária.

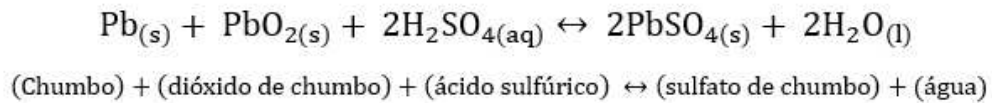
A bateria primária é do tipo que fornece energia elétrica apenas uma única vez, já que sua reação química só pode ocorrer em um único sentido, não permitindo seu recarregamento. A bateria secundária tem uma concepção mais complexa que a primária e sua reação eletroquímica pode ser revertida, permitindo o seu recarregamento.

Existem diversos tipos de baterias presentes no mercado. Porém, aqui serão apresentadas apenas duas opções de baterias que serão abordadas neste trabalho. Abaixo segue melhor explanação do tipo de bateria que fará parte da estação e da bicicleta escolhida, respectivamente:

### **2.7.1 Bateria de chumbo-ácido**

Bem consolidada mundialmente, ela é uma bateria secundária muito utilizada em automóveis. Foi inventado pelo francês Gaston Planté em 1859 e sua concepção tem como base uma associação de pilhas ligadas em série. A representação da reação global deste tipo de bateria é dada pela Figura 3.

Figura 3 - Reação global da bateria de chumbo-ácido.



Fonte: Silva, 2019.

Quando esta bateria é descarregada, o ácido sulfúrico é consumido e a água é produzida. No processo de recarga, o sulfato de chumbo é reconvertido a chumbo no anodo e a dióxido de chumbo no catodo (SILVA, 2019).

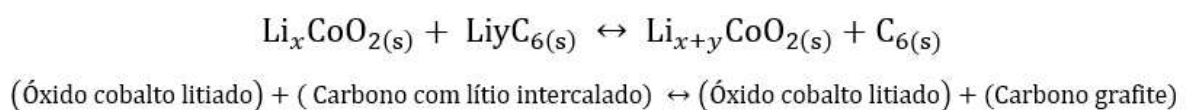
As vantagens desta bateria são: Baixo custo de fabricação por watt-hora gerado; sua autodescarga é extremamente baixa; a quantidade de manutenções é mínima; não possui efeito memória e é capaz de fornecer taxas elevadas de descarga. Portanto, quando se trata de uma grande quantidade de energia a ser consumida continuamente, esta bateria é uma boa escolha pois é bastante confiável e acessível.

Por outro lado, sua densidade de energia é baixa, acarretando baterias de grande porte e mais peso, a quantidade de ciclos de descarga é um tanto limitada em comparação com outros tipos de baterias e elas são hostis ao meio ambiente devido à presença de ácido sulfúrico e chumbo.

### 2.7.2 Bateria de íons lítio

Em pesquisa desde o começo do século 20, estas baterias eram malvistas devido o problema de confiabilidade e segurança no manuseio, já que o metal de lítio é altamente instável. Porém, após anos de pesquisas, foi desenvolvido o conceito da utilização de íons de lítio no lugar do lítio metálico, resolvendo o problema. A representação da reação global deste tipo de bateria é dada pela Figura 4.

Figura 4 - Reação global da bateria de íons de lítio.



Fonte: Silva, 2019.

Quando a bateria é descarregada, a reação que ocorre no anodo é a oxidação do carbono, liberando íons lítio para manter a eletro-neutralidade do material. Já no catodo, o cobalto se reduz na estrutura de óxido, provocando a entrada de íons lítio na sua estrutura (SILVA, 2019).

As baterias de lítio possuem alta densidade de energia, suportam centenas de ciclos de carga/descarga e estão livres do efeito memória, porém elas preferencialmente devem ser utilizadas com descarga parcial à descarga total (ATAIDE, 2010).

Nas bicicletas elétricas mais modernas esta bateria está sendo amplamente utilizada, pois, devido à sua alta densidade energética, ela permite que a bicicleta perca uma quantidade considerável de peso, em comparação com uma bateria de chumbo-ácido, e melhore sua ciclística. Além disso, elas são baterias de baixa manutenção e com vida útil entre dois e três anos (SILVA, 2019). Em Termos financeiros, ela é mais cara que a bateria de chumbo-ácido, porém ao considerar a melhora na quantidade de ciclos de carga, ciclística e autonomia, ela torna-se uma opção melhor de ser aplicada para bicicletas elétricas. Um comparativo entre as duas baterias mencionadas pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 - Dados comparativos entre baterias tradicionais.

| <b>Tipo de bateria</b> | <b>Densidade de energia (Wh/kg)</b> | <b>Densidade de energia (Wh/l)</b> | <b>Densidade de potência (W/l)</b> | <b>Eficiência energética (%)</b> | <b>Vida útil (anos)</b> | <b>Número de ciclos</b> |
|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Chumbo-ácido           | 30-45                               | 50-80                              | 90-700                             | 75-90                            | 3-15                    | 250-1500                |
| Íons lítio             | 60-200                              | 200-400                            | 1300-10000                         | 85-98                            | 5-15                    | 500-10000               |

Fonte: IEC, 2011.

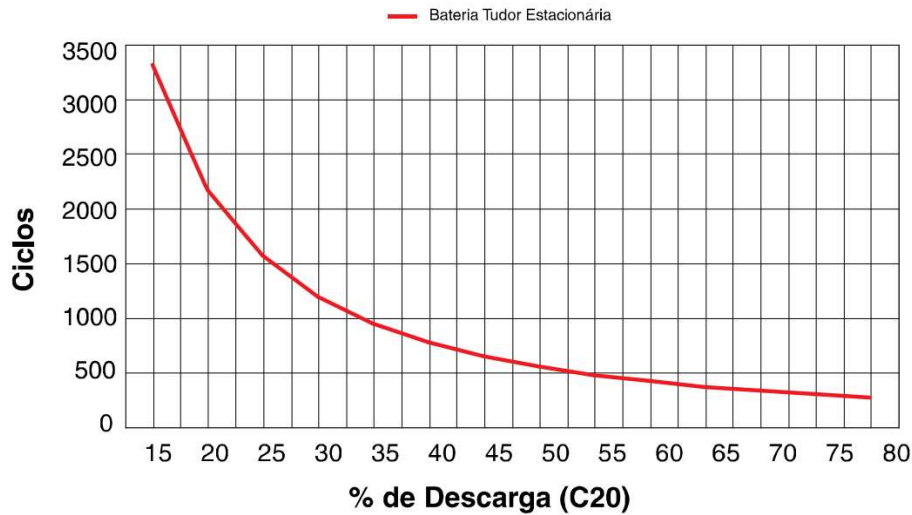
### **2.7.3 Profundidade de descarga**

A profundidade de descarga é a quantidade de carga retirada da bateria em um ciclo de funcionamento. Expressa-se a profundidade por meio da porcentagem da capacidade da bateria utilizada. Por exemplo, se em uma bateria com capacidade nominal de 100 Ah foi realizada uma utilização de tal forma que no fim do uso ela ficou com apenas 70 Ah, significa que sua profundidade de descarga foi de 30%.

Quanto maior a profundidade de descarga da bateria, menor sua vida útil, ou seja, menor sua quantidade de ciclos que ela conseguirá suportar. Segundo Karansinski e Dias (2003) a

relação entre a profundidade de descarga e o ciclo de vida da bateria é inversa e exponencial, conforme observado na Figura 5.

Figura 5 - Relação entre profundidade de descarga e ciclos de uma bateria.



Fonte: Tudor, 2018.

#### 2.7.4 Associação de baterias

As baterias são comercializadas, geralmente, com tensão nominal de 12 volts. Esta característica exige a necessidade de fazer associações de baterias, caso seja necessário montar um banco que precise alcançar quantidades específicas de tensão de operação do circuito ou para aumentar a capacidade de tempo de fornecimento de energia.

A disposição do banco pode ser em série ou em paralelo. Quando várias baterias são ligadas em série, a tensão total no banco de células é igual à soma da tensão em cada uma das baterias individualmente (GUSSOW, 2009). A corrente do banco não se altera. Neste tipo de ligação, o terminal negativo de uma bateria, se conectará ao positivo de outra, e assim sucessivamente.

A equação 5 representa a tensão do banco de baterias ao realizar associação em série.

$$U_{banco} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (5)$$

Onde:

$U_{banco}$  = tensão do banco de baterias [V]

$U_1, U_2, \dots, U_n$  = tensão de cada bateria [V]

Ao associar baterias em paralelo, todos os terminais positivos da bateria são conectados juntos e todos os terminais negativos também (GUSSOW, 2009). Quando esta associação é feita, aumenta-se a corrente do banco de baterias. A tensão do banco não se altera.

A equação 6 representa a capacidade de corrente do banco ao realizar associação em paralelo.

$$I_{banco} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (6)$$

Onde:

$I_{banco}$  = Capacidade de corrente do banco de baterias, em ampere-hora [Ah]

$I_1, I_2, \dots, I_n$  = capacidade de corrente de cada bateria [Ah]

## 2.8 Bicicleta Elétrica: Elementos Fundamentais

Visto que a grande maioria dos componentes encontrados em bicicletas comum também compõem as bicicletas elétricas, esta seção irá tratar somente dos componentes que a bicicleta elétrica tem a mais em relação à bicicleta tradicional.

### 2.8.1 Motor elétrico

É um dos elementos chave que tornam a bicicleta elétrica mais atrativa em comparação com a bicicleta convencional. Ele é o grande responsável por consumir a energia das baterias de modo a transformá-la em energia mecânica, fornecendo a potência necessária para provocar o giro da roda da bicicleta; assumindo, em grande parte, a função que antes dependia totalmente do esforço humano durante a pedalada. Segundo Araújo (2012), os motores elétricos podem ser classificados em dois grupos principais: Motores com escovas e motores sem escovas.

### *2.8.1.1 Motor CC com escovas*

Muito comum em motores de partida de carros, motos e outros tipos de veículos, este motor é constituído por eixo, comutador, escovas, bobina e ímãs permanentes com polaridades invertidas. Seu funcionamento se dá quando as escovas alimentam eletricamente a bobina, que fica conectada ao eixo e está no meio dos ímãs. Quando a corrente flui pelos enrolamentos da bobina, uma força eletromagnética induzida surge e reage com o campo magnético dos ímãs, gerando uma força capaz de girar o eixo.

Este sistema funciona em corrente contínua, e para modificar sua velocidade de funcionamento, ou rpm, basta mudar a tensão de entrada que irá para as escovas, de tal forma que a tensão está diretamente proporcional ao rpm.

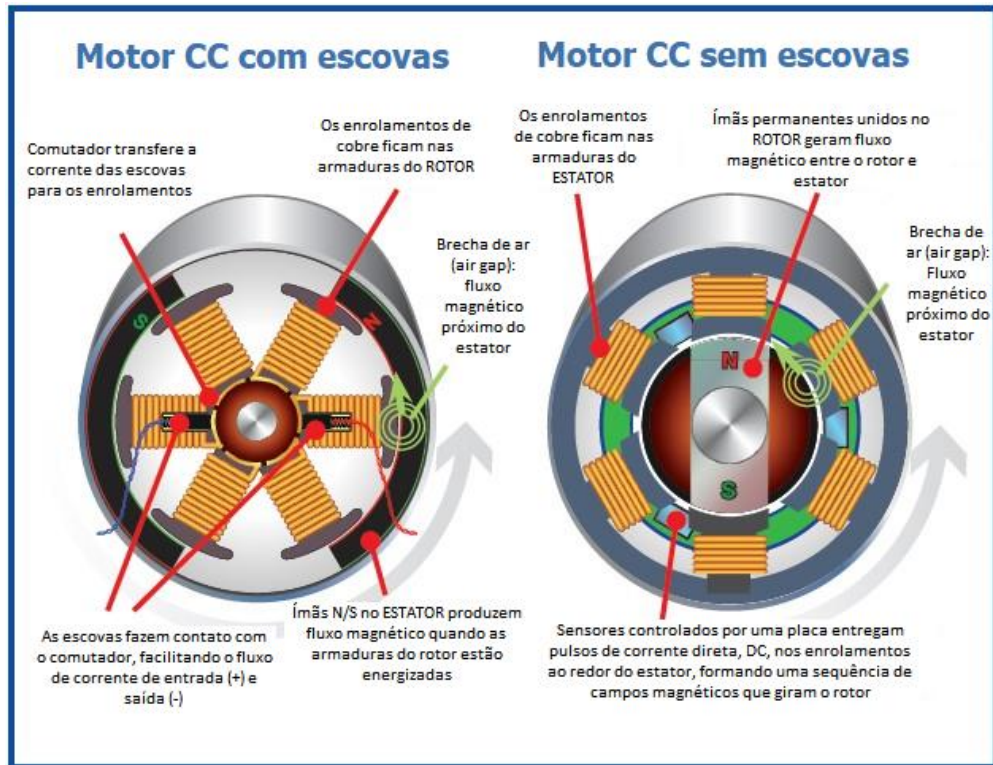
A característica mais perceptível deste tipo de motor é que a bobina fica no rotor e os ímãs assumem o papel do estator. Segundo Araújo (2012) motores CC possuem baixa confiabilidade e eficiência, conseqüentemente precisam de maior manutenção por conta das escovas que se desgastam à medida em que o motor é utilizado; além disso, o atrito entre os anéis comutadores, escovas e os enrolamentos geram um limite de velocidade máximo de operação.

### *2.8.1.2 Motor CC sem escovas*

Com concepção mais complexa, este motor é constituído por eixo, bobina, sensores e ímãs permanentes com polaridades invertidas. O grande coração deste motor está no conjunto de enrolamentos que podem ser energizados de maneira combinada, de modo a gerar a força necessária para acionar o rotor. Diferentemente dos motores com escovas, aqui encontram-se as bobinas no estator e os ímãs no rotor.

Seu funcionamento se dá quando a bobina, que possui enrolamentos que podem ser energizados de maneira combinada via sensores, vai se energizando parcialmente de modo que, dependendo do conjunto de enrolamentos energizados, cria-se um campo eletromagnético induzido que reage com o campo dos ímãs do rotor, que estão acoplados ao eixo, dando início ao movimento de rotação. À medida que o rotor vai girando, outras combinações de enrolamentos vão se energizando para continuar mantendo esse fenômeno eletromagnético e permitir que o rotor permaneça girando continuamente. A Figura 6 traz uma comparação entre os motores DC com escovas e sem escovas, a fim de facilitar o entendimento.

Figura 6 - Comparação entre motores CC com escovas e sem.



Fonte: Haydonkerk, 2022 (adaptado).

Este tipo de motor, apesar de ter um princípio de funcionamento mais complexo que os com escovas, ele é o tipo mais utilizado nas bicicletas elétricas, já que não precisam de intervenção periódica para troca de escovas devido ao desgaste, pois não as possui, e não há limite de velocidade máxima do motor, como acontece no motor com escovas. Além disso, o nível de ruído no motor sem escovas é menor, pois não há contato direto entre as partes estáticas e móveis, e isso também promove sua maior durabilidade.

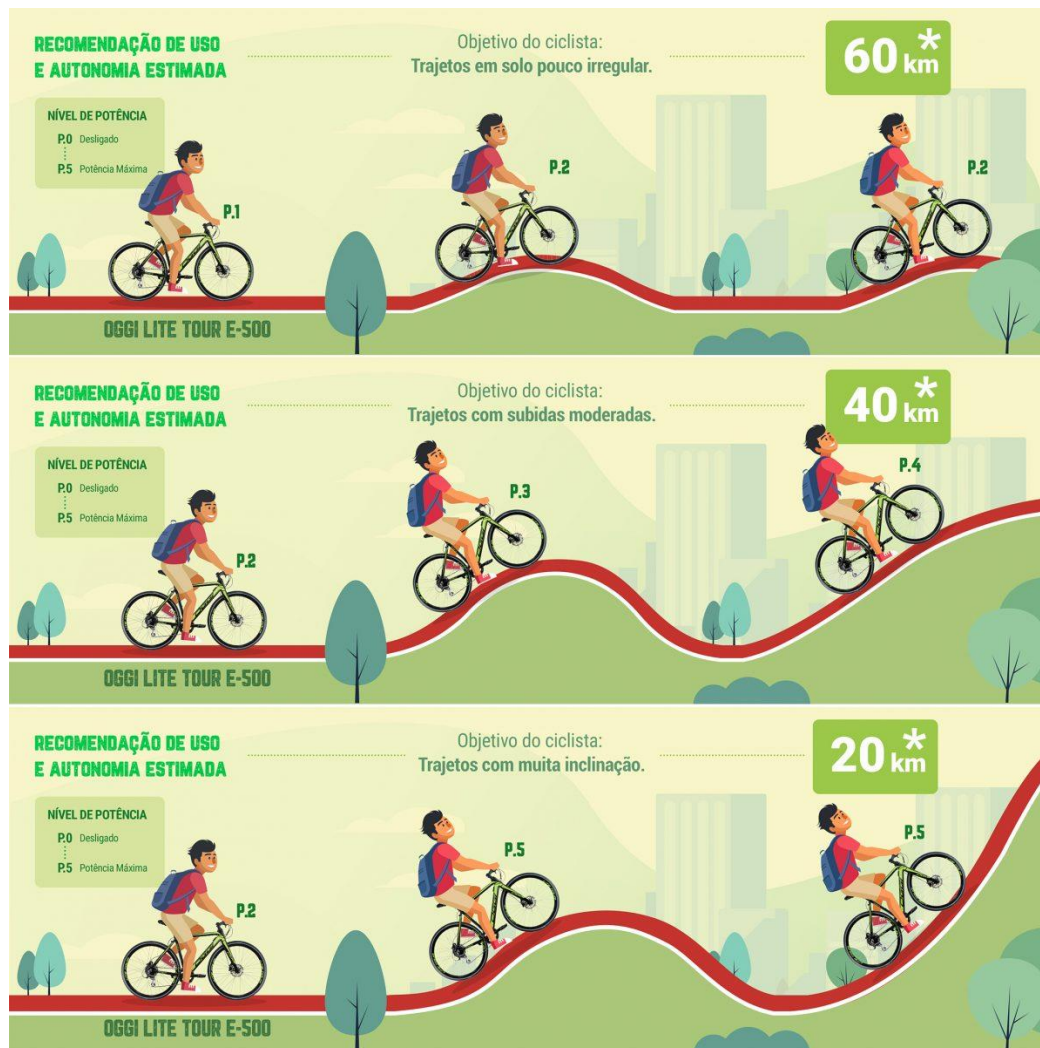
### 2.8.2 Módulo de potência

Nas bicicletas elétricas é de fundamental importância possuir o controlador do motor, conhecido como módulo de potência, pois nem sempre será útil extrair toda a força do motor, já que em certos trajetos haverá condições de subidas, mas também descidas e trechos planos. Portanto, o módulo de potência é o responsável por ajustar o perfil de torque de acordo com as configurações escolhidas pelo ciclista, de tal forma a evitar desperdícios energéticos e aumentar a autonomia da bicicleta.



Geralmente os módulos conseguem fornecer até 5 níveis de potência do motor, onde cada modo liberará uma quantidade de potência maior. Porém quanto maior a potência utilizada, menor a autonomia. A Figura 7 ilustra os diferentes cenários de utilização do módulo de potência.

Figura 7 - Utilização dos modos de potência versus autonomia.



Fonte: OGGI, 2022.

### 2.8.3 Alojamentos

Nas bicicletas elétricas são encontrados diferentes tipos de layouts para a disposição do motor elétrico e bateria. Cada layout toma como base uma proposta de transmissão mecânica e, conseqüentemente, a ciclística da bicicleta.

### 2.8.3.1 Motor elétrico

Foram encontradas duas formas bastante utilizadas para alojar o motor elétrico:

Figura 8 - Motor elétrico alojado diretamente no cubo da roda.



Fonte: General Wings.

Figura 9 - Motor alojado diretamente no movimento central.



Fonte: General Wings.

Quando o motor é acoplado diretamente no cubo da roda, conforme Figura 8, o sistema propulsor é independente do sistema de transmissão da bicicleta. Ou seja, as marchas da bicicleta só afetarão a experiência de pedalada do ciclista, porém não terão interferência na entrega de torque e potência às rodas. Já quando o motor é acoplado conforme Figura 9, ele depende do sistema de transmissão da bicicleta para entregar sua potência às rodas. Logo, neste caso as marchas da bicicleta mudarão a entrega de torque e potência de acordo com as mudanças que o ciclista fará.

Portanto, a primeira opção de alojamento do motor é mais simples e mais barata, visto que não será preciso de um sistema de transmissão para fazer a roda girar. Porém ela entregará menos opções de torque e velocidade por não ter um sistema de transmissão. A segunda opção

é mais cara devido à robustez necessária à transmissão para aguentar a potência do motor elétrico. Motores acoplados no movimento central conseguem entregar uma gama maior de torque e geralmente fazem com que a bicicleta alcance maior velocidade final por conta de seu sistema de transmissão.

### 2.8.3.2 Bateria

A bateria da bicicleta é outro item que pode ser disposto de diversas maneiras, e cada uma irá fornecer dinâmicas de condução diferentes, visto que as baterias têm peso considerável em relação ao peso do quadro e sua disposição na bicicleta mudará o centro de massa.

Figura 10 - Baterias alojadas no rack traseiro.



Fonte: General Wings.

Baterias dispostas conforme Figura 10 tem considerável espaço para comportar baterias grandes, elevando consequentemente sua autonomia. Porém, a ciclística fica prejudicada devido ao grande peso em uma localização alta na bicicleta, tornando seus movimentos mais lentos, como se estivesse levando uma pessoa na garupa.

Figura 11 - Baterias alojadas no quadro.



Fonte: General Wings.

A disposição da bateria de acordo com a Figura 11 proporciona melhor condução, devido ao seu centro de gravidade mais baixo por conta da bateria estar perto dos eixos das rodas. Porém o espaço disponível nesta localidade é pouco, acarretando uma bicicleta de baixa autonomia devido poder comportar somente baterias pequenas.

Figura 12 - Bateria alojada dentro do tubo inferior.



Fonte: General Wings.

Já a disposição conforme Figura 12 é a melhor dentre as três. A bateria fica disposta em uma região de modo que seu peso esteja mais bem distribuído ao longo da bicicleta, como se fosse parte do quadro, não prejudicando sua ciclística. O espaço disponível é grande, permitindo comportar baterias maiores, que conseqüentemente trarão maior autonomia. Além disso, a bateria por estar dentro do tubo inferior ficará protegida de intempéries e furtos. Porém, sua desvantagem está no elevado preço em comparação com as demais.

Algumas bicicletas utilizam esta última disposição apresentada, porém com a bateria acima do tubo inferior. Desta forma é possível obter uma bicicleta com dinâmica de condução boa, quase igual à da Figura 12 e com preço mais acessível.

#### **2.8.4 Legislação**

No Brasil, quem rege as leis a respeito das bicicletas elétricas é o Conselho Nacional de Trânsito, CONTRAN. Em 28 de março de 2022, foi sancionada a resolução N° 947, que dispõe sobre condições de caracterização de ciclomotores, equipamento de mobilidade individual autopropelido e bicicleta com motor auxiliar. Nesta resolução, encontram-se definições que ajudam a caracterizar uma bicicleta elétrica perante a lei.

Dessa forma, a bicicleta elétrica deverá ter a potência nominal máxima de 350 W, velocidade máxima via motor elétrico de 25 km/h, o funcionamento do motor só pode ocorrer quando o condutor pedalar (pedal assistido), ela não deve dispor de acelerador ou qualquer dispositivo de variação manual de potência e a bicicleta precisa estar dotada dos equipamentos conforme item cinco do terceiro artigo. Estas condições servirão durante a escolha da bicicleta elétrica para compor a estação.

### **2.9 Tapete Gerador de Energia**

O cenário de busca por outras fontes de energias renováveis permitiu novas demandas para estudo, desenvolvimento e criação de diferentes tipos de tecnologias de captura de energia para geração de eletricidade. Partindo do princípio que se existir um equipamento capaz de produzir energia por meio de uma pressão incidente, seja ela gerada através do peso de uma pessoa ou peso de um meio de transporte, é viável colocar esse tal equipamento em lugares de grande movimentação para obter energia relevante para um certo tipo de utilização. Deste modo, surge o conceito de tapete gerador de energia, ilustrado conforme Figura 13.



Figura 13 - Ilustração de um tapete gerador sendo utilizado para produção de energia elétrica






Fonte: Lombardo, 2013.

Esta tecnologia vem amadurecendo nos últimos anos, ao ponto de atualmente existirem empresas capazes de venderem projetos. Porém, mesmo com esses avanços, o mercado de tapetes geradores de energia ainda está embrionário devido à barreira do alto investimento financeiro necessário em troca de uma geração de energia muito baixa em comparação com outras fontes de energias renováveis, como a fotovoltaica por exemplo. Portanto, ainda existe muita pesquisa nesta área, como a de Chand, et.al, (2020), em prol de melhorar a potência gerada por pisada ou de baixar os custos para confecção dos blocos do tapete. A Tabela 2 mostra as companhias ou tecnologias que foram desenvolvidas para tapetes geradores que obtiveram os melhores resultados em potência, com potencial real para implementação.

Tabela 2 - Tipos de blocos de tapetes geradores mais promissores.

| <b>Companhia<br/>ou<br/>Tecnologia</b> | <b>Dimensão<br/>do Produto<br/>(1 módulo<br/>do tapete)</b> | <b>Potência Gerada</b>   | <b>Preço em<br/>dólar<br/>americano<br/>(2017)</b> | <b>Garantia<br/>(anos)</b> | <b>Ilustração</b>   |
|--|---|--|--|----------------------------|---|
| Waynergy<br>Floor                      | 40 x 40 cm  | 10 W por passo<br>(utiliza<br>piezeletricidade)                      | 444,5  | 20                         |  |
| Sustainable<br>Energy<br>Floor (SEF)   | 75 x 75 cm<br>ou 50 x 50<br>cm                              | Capaz de gerar até 30<br>W. Porém a potência<br>típica capturada por | 1.666,66   | 15                         |  |

|                           |   |  |                        |    |   |
|---------------------------|---|--|------------------------|----|---|
|                           |   | passos normais fica entre 1 e 10 W por módulo.<br>(utiliza piezeletricidade)   |                        |    |   |
| Pavengen<br>(V3 Tiles)    | Triângulo<br>Equilátero<br>50 cm cada<br>lado | Até 5 W<br><br>(utiliza sistema mecânico para captura de energia cinética)   | 3.888,88               | 20 |    |
| Sound<br>Power            | 50 x 50 cm                                    | 0.1 W em cada 2 passos<br>(utiliza polímeros eletroativos)   | Desconhecido           | 20 |    |
| Hybrid<br>Energy<br>Floor | (1): 75 x 75<br>cm<br>ou<br>(2): 1 x 2 m      | (1): Até 60kWh por ano, por módulo<br><br>(2): Até 250kwh por ano, por módulo<br>(utiliza energia solar e sistema mecânico para captura de energia cinética) | Estimado em<br>1666,66 | 20 |  |

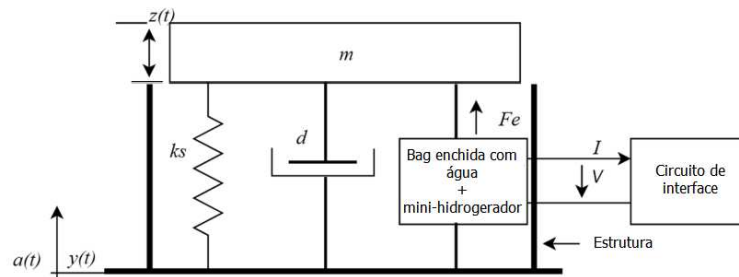
Fonte: Moussa, 2019 (adaptado).

### 2.9.1 Tapete movido a hidrogeração

Mesmo listando as melhores tecnologias existentes para tapete gerador na Tabela 2, observa-se que a entrega de energia é muito pequena e a faixa de preço ainda gira em patamares extremamente elevados, principalmente se convertermos os custos para a nossa moeda, o Real.

Chand, et al., (2020) desenvolveram o conceito de tapete gerador movido a hidrogeração. O modelo funciona por meio de um piso conectado a molas, que, quando pressionadas, farão com que o piso comprima uma *bag* que está cheia de água. Por meio desta compressão, a *bag* expulsa a água para outro compartimento conectado, onde encontra-se uma miniturbina do tipo pelton. À medida que a água passa de uma câmara para outra, a miniturbina é acionada e produz eletricidade. A Figura 14 ilustra este conceito.

Figura 14 - Princípio de funcionamento do bloco movido a hidrogeração.



Fonte: Chand, et al., 2020 (adaptado).

O protótipo de bloco construído utilizando este conceito obteve os seguintes resultados de geração de potência:

Tabela 3 - Sumário das potências médias de saída para diferentes atividades

| Atividade | Tempo (s) | Potência de saída média |          |          |          |          |          |          |         |
|-----------|-----------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
|           |           | 50-55 kg                | 55-60 kg | 60-65 kg | 65-70 kg | 70-75 kg | 75-80 kg | 80-85 kg | 85 + kg |
| Caminhada | 0,5       | 0,89 W                  | 1,19 W   | 1,36 W   | 1,41 W   | 1,54 W   | 1,63 W   | 1,76 W   | 1,89 W  |
| Corrida   | 0,2       | 0,91 W                  | 1,09 W   | 1,19 W   | 1,28 W   | 1,37 W   | 1,42 W   | 1,55 W   | 1,70 W  |

Fonte: Chand, et al., 2020 (adaptado).

O autor considerou o valor de 1,4 W como a potência média por pisada. Além disso, o capital de investimento total para produzir uma unidade do bloco custou 125 dólares, o que é um preço bem abaixo da média das outras tecnologias vistas neste mesmo ramo de tapete gerador. Portanto, este modelo possui grande potencial para superar as outras tecnologias existentes no mercado.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da Proposta

Assume-se neste trabalho que a estação comportará 15 bicicletas e ela virá na forma de pack (estação + tapete + banco de baterias), de modo que ela possa ser instalada também



independente da concessionária de energia, em modelo híbrido. O critério de viabilidade mais crítico deste estudo de implementação é a escolha de um local adequado, que tenha um fluxo de pessoas que permita produzir a energia necessária diariamente, tendo em vista que a produção do tapete é diretamente dependente do número de pisadas que ele receberá.

O dimensionamento do tapete e do banco de baterias será feito a partir de dados do consumo total de energia das bicicletas, em kWh, e da quantidade de pisadas recebidas por dia. Estes dois fatores acima citados são variáveis na prática. Porém, para fins de simplificação, serão assumidos valores fixos para cada fator que se fizer necessário, para tornarem os cálculos realizáveis.

De posse dos valores de produção estimada de energia, quantidade de baterias do banco e quantidade de blocos do tapete gerador para atender à demanda, serão escolhidos os equipamentos apropriados para a gestão da energia *off-grid* da estação, visando trazer maior realidade ao estudo.

Ademais, será feita uma estimativa a respeito do custo associado para implementação e manutenção do projeto ao longo dos anos.

### ***3.1.1 Demanda da estação***

Como visto na seção 2.8.4, a potência nominal máxima, para não ser descaracterizado como bicicleta elétrica, é de 350 W. Portanto, esta será a potência adotada para a procura da bicicleta elétrica, levando em consideração que uma bicicleta com o motor mais potente possível dentro da lei, dará maior conforto ao ciclista.

A bicicleta elétrica escolhida para as estações é pertencente à fabricante Bikelete, modelo Sonny, com quadro semelhante às bicicletas encontradas nas estações já existentes, como pode ser visto na Figura 15. Ela possui preço de mercado mais acessível, sua ergonomia facilita a ciclística em uso urbano e atende às pessoas com diferentes estaturas, possui amortecedor dianteiro para maior conforto, tem bagageiro e cesta, e sua potência está dentro do critério adotado acima. Além disso, seu motor é fixo no cubo de roda e a relação de transmissão é única, permitindo menor custo com manutenção e maior durabilidade do sistema de transmissão. Abaixo encontra-se a ficha técnica da bicicleta escolhida:

Tabela 4 - Especificações técnicas da Bikelete Sonny 350 W.

|                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| Pedal Assistido            | SIM                          |
| Peso                       | 36 kg                        |
| Capacidade de carga máxima | 100 kg                       |
| Rodas                      | Aro 24                       |
| Velocímetro                | SIM                          |
| Buzina                     | SIM                          |
| Farol                      | SIM                          |
| Bluetooth                  | SIM                          |
| Suspensão                  | Dianteira                    |
| Display                    | SIM                          |
| Freios                     | A Disco                      |
| Potência Motor Elétrico    | 350 W                        |
| Bateria                    | Lítio Removível - 36 V/ 12Ah |
| Carregador                 | Bivolt – saída 42 V/ 2A      |
| Autonomia                  | 30 – 45 km / carga           |
| Tempo de Recarga           | 4 – 6 horas                  |

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados de mercadolivree.

Como declarado pelo fabricante, sua bateria é de lítio removível de 36 V e 12 Ah. Esses serão os valores de  $U$  e  $I$ , respectivamente, para o cálculo do consumo de energia em cada utilização completa da bateria da bicicleta.

A autonomia da bicicleta está em uma faixa entre 30 e 45 km. Este intervalo existe por conta dos diferentes modos de intensidade de potência que a bicicleta possui e os diferentes pesos de cada usuário, já que quanto maior o peso, maior o consumo de bateria. Para efeito de cálculo, será adotado que a autonomia média  $A_m$  será igual a 38 km/carga.

Seguindo as recomendações do Guia de Sistema de Bicicletas Compartilhadas (2018), o objetivo de cada bicicleta compartilhada é ter em média de 4 a 8 viagens diárias. Considerando também um indicador alternativo citado neste mesmo guia, é considerado viagem curta aquela viagem que percorre uma distância de até 5 km. Com essas duas informações acima, será estabelecido neste trabalho que a distância percorrida por cada bicicleta elétrica seja equivalente à 8 viagens diárias de 5 km de distância. Dessa forma, a distância média diária  $D_m$  considerada será de 40 km por bicicleta.

Figura 15 - Bilelete Sonny



Fonte: Magazine Luiza, 2022.

A demanda diária  $D_d$  da estação, em kWh/dia, é dada pela equação 7, em que  $U$ , em volts, é a tensão de alimentação da bateria da bicicleta,  $I$  é a corrente da bateria, em ampere-hora, e  $D_m$  é a distância média diária percorrida por cada bicicleta,  $Q_{be}$  é a quantidade de bicicletas elétricas da estação e  $A_m$  é a autonomia média da bicicleta, em km.

$$D_d = \frac{U \times I \times D_m \times Q_{be}}{A_m \times 1000} \quad (7)$$

Reunindo todos os valores e calculando pela equação 7:

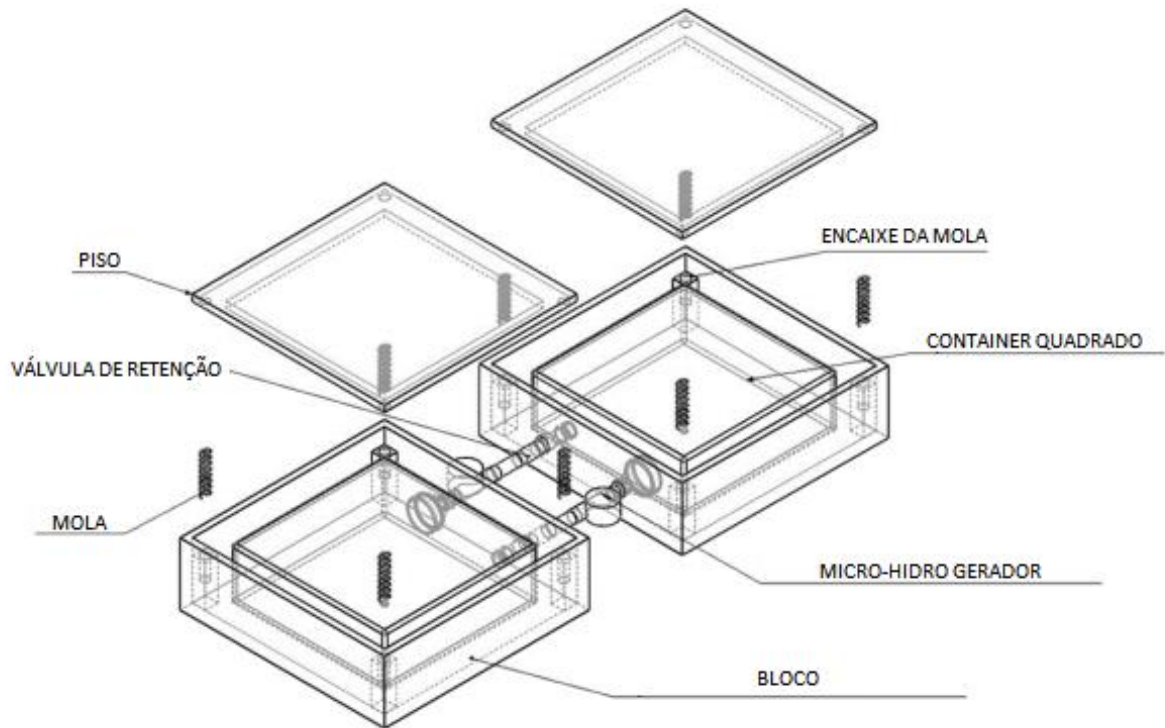
$$D_d = \frac{36V \times 12Ah \times 40km \times 15}{38km \times 1000} = 6,82 kWh$$

Portanto, a demanda diária da estação será de aproximadamente 7 kWh.

### 3.1.2 O modelo do tapete gerador

O tapete adotado para este estudo é o conceito criado por Chand, et al. (2020), visto que ele possui o menor custo associado dentre as opções discutidas na seção 2.9 e sua geração média de 1,4 W por pisada é um valor que está também na média de potência dentre as outras tecnologias disponíveis. A Figura 16 traz uma ilustração do bloco desenvolvido.

Figura 16 - Vista explodida dos blocos do tapete gerador escolhido.



Fonte: Chand, et al., 2020 (adaptado).

Tabela 5 - Parâmetros do hidrogerador CC utilizado nos blocos do tapete escolhido.

| <b>Parâmetros</b>                        | <b>Faixa</b> |
|--|--------------|
| Tensão de saída                          | 12 V         |
| Corrente de saída                        | 0,13 A       |
| Pressão máxima<br>com a saída<br>fechada | 0,6 MPa      |
| Pressão máxima<br>com a saída<br>aberta  | 1,2 MPa      |
| Pressão de<br>ativação                   | 0,05 MPa     |
| Folga axial                              | 0,2 – 1,0 mm |
| Ruído mecânico                           | $\leq 55$ dB |
| Peso                                     | 90 g         |

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| Vida útil do gerador | $\geq 3000$ h |
|----------------------|---------------|

Fonte: Chand, et al., 2020 (adaptado).

Considerando que essa mesma potência média se manteve pelos 0,5 segundos declarados, cada pisada gerará 0,7 Watt-segundo, ou 0,194 miliwatt-hora. A tensão máxima atingida foi de 12 Volts e corrente de 0,13 Ampere.

Chand, et al. (2020) compararam esta tecnologia desenvolvida diante de outros dois tipos comuns de tapetes geradores: Movidos a piezeletricidade e movidos a sistemas mecânicos com engrenagens e enrolamentos. A Tabela 6 sumariza esta comparação.

Tabela 6 - Comparação entre o conceito de hidrogenação com as duas tecnologias de tapete mais viáveis no mercado.

| <b>Tecnologia de Tapete Gerador</b> | <b>Vantagem</b>   | <b>Desvantagem</b>   | <b>Valor econômico</b>  |
|-------------------------------------|---|--|---|
| PaveGen                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Energia limpa</li> <li>Utiliza material reciclado</li> <li>Comercialmente disponível</li> <li>Aplicável em ambiente externo e interno</li> <li>Boa potência de saída (5 W em pisadas contínuas)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Não recomendável em áreas de baixo movimento humano</li> <li>Caro</li> <li>A energia total produzida durante sua vida útil não cobre as emissões de carbono de sua manufatura e importação</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>O período de payback é maior que sua vida útil</li> </ul>  |
| Piso Piezoelétrico                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Energia limpa</li> <li>Transdutores piezoelétricos são pequenos e fáceis de se adequar aos requerimentos dimensionais</li> <li>Baixa manutenção</li> <li>Fácil substituição</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Não recomendável em áreas de baixo movimento humano</li> <li>É altamente sensível à temperatura</li> <li>Pode ser danificado facilmente</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fatores como a customização do tamanho do piso, saída de potência e custo de produção estimados dão fortes atributos ao valor econômico</li> </ul> |
| Método de circulação de água        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Energia Limpa</li> <li>Construção barata e com materiais disponíveis localmente</li> <li>Mais barato que outras tecnologias</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Não recomendável em áreas de baixo movimento humano</li> <li>Requer manutenção por conta das partes móveis</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Boa potência de saída gerada para o baixo custo de fabricação associado</li> </ul>   |

- 
- Potência gerada é suficiente
  - Pode ser danificado se usado inadequadamente
- 

Fonte: Chand, et al., 2020 (adaptado).

Levando em consideração que a cidade de fortaleza é de clima quente, a tecnologia de piezeletricidade não seria recomendável por conta dos cristais que são sensíveis à temperatura, principalmente em ambientes externos; e a tecnologia da PaveGen, empresa com respaldo no mercado de tapete gerador, mesmo tendo durabilidade e potência maior, traria um custo agregado muito alto devido ao seu valor naturalmente mais caro e à fatores de importação, como taxas e dólar alto.

### 3.1.3 Dimensionamento do tapete gerador

Conforme visto acima, além da influência do peso para a geração de energia, a quantidade média de pessoas que pisarão no bloco durante o dia também será crucial para sua capacidade de geração elétrica. Portanto, o tapete deve ser instalado em locais que tenham grande movimentação de pedestres diariamente.

Como a demanda diária da estação resultou em 7 kWh, logo deve-se gerar uma quantidade de energia de mesmo valor para realizar o recarregamento das baterias das bicicletas. O primeiro passo para alcançar objetivo de geração é realizar o dimensionamento da quantidade de blocos que irão compor o tapete gerador. Para estimar a quantidade necessária de blocos, será utilizada a equação 8:

$$E_{gd} = \frac{N_p \times Pot \times t \times n}{1000} \quad (8)$$

Onde  $E_{gd}$  é a energia a ser gerada diariamente, em kWh;  $N_p$  é o número de passos, por dia;  $Pot$  é a potência gerada por cada pisada;  $t$  é o tempo no qual a potência permanece;  $n$  é o número de blocos do tapete.

A energia a ser gerada é 7 kWh, e a energia média gerada em cada pisada é de 0,194 mW. Com esses dados e através da equação 8, foi gerada uma planilha para ver as diferentes possibilidades de dimensionamento do tapete, variando a quantidade de pessoas por dia e o número de passos que cada pessoa pode dar no tapete:

Figura 17 - Possibilidades de dimensionamento do tapete gerador

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| Energia a ser gerada diariamente [Wh] | 7000       |
| Energia gerada por pisada [Wh]        | 0,00019444 |
| Área de cada bloco [m2]               | 0,16       |

| Quantidade diária de pessoas     |                           |                      |                   |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|
| 5000                             |                           |                      |                   |
| Quantidade de pisadas por pessoa | Número de pisadas diárias | Quantidade de blocos | área ocupada [m2] |
| 5                                | 25000                     | 1440                 | 230,4             |
| 10                               | 50000                     | 720                  | 115,2             |
| 15                               | 75000                     | 480                  | 76,8              |
| 20                               | 100000                    | 360                  | 57,6              |
| 25                               | 125000                    | 288                  | 46,08             |
| 30                               | 150000                    | 240                  | 38,4              |

| Quantidade diária de pessoas     |                           |                      |                   |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|
| 7500                             |                           |                      |                   |
| Quantidade de pisadas por pessoa | Número de pisadas diárias | Quantidade de blocos | área ocupada [m2] |
| 5                                | 37500                     | 960                  | 153,6             |
| 10                               | 75000                     | 480                  | 76,8              |
| 15                               | 112500                    | 320                  | 51,2              |
| 20                               | 150000                    | 240                  | 38,4              |
| 25                               | 187500                    | 192                  | 30,72             |
| 30                               | 225000                    | 160                  | 25,6              |

| Quantidade diária de pessoas     |                           |                      |                   |
|----------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|
| 10000                            |                           |                      |                   |
| Quantidade de pisadas por pessoa | Número de pisadas diárias | Quantidade de blocos | área ocupada [m2] |
| 5                                | 50000                     | 720                  | 115,2             |
| 10                               | 100000                    | 360                  | 57,6              |
| 15                               | 150000                    | 240                  | 38,4              |
| 20                               | 200000                    | 180                  | 28,8              |
| 25                               | 250000                    | 144                  | 23,04             |
| 30                               | 300000                    | 120                  | 19,2              |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores marcados em azul na imagem acima serão os utilizados para o dimensionamento do tapete. A justificativa para a escolha segue abaixo.

Quanto maior a quantidade de pisadas por pessoa, maior será a energia produzida, porém maior deverá ser o comprimento do tapete, visto que geralmente as pessoas caminham em linha reta. Ao fixar uma quantidade de blocos, conseqüentemente fixa-se uma área ocupada pelo tapete. Ao aumentar o seu comprimento para permitir que uma pessoa consiga pisar várias vezes no tapete, sua largura reduzirá. Portanto, a quantidade de pisadas por pessoa não deverá ser alta para não se obter um tapete longo e estreito, onde corre o risco de poucas pessoas ou nenhuma pessoa conseguir caminhar lado a lado ao mesmo tempo. Dessa forma, este trabalho considerou que 15 pisadas por pessoa será um número suficiente para conseguir gerar a energia necessária e obter um tapete de bom comprimento e largura, onde várias pessoas possam caminhar nele ao mesmo tempo.

Do mesmo modo, quanto maior a quantidade diária de pessoas pisando no tapete, maior a energia produzida, ou, por outro lado, menor a quantidade de blocos necessários, o que traria menor gasto. Porém, na prática, dimensionar o tapete contando com lugares extremamente movimentados limitaria a quantidade de locais viáveis para a instalação das estações. Dessa forma, foi escolhido o número diário de 7.500 pessoas, visto que este valor é possível de ser alcançado em certos locais de Fortaleza.

Portanto, cada estação com 15 bicicletas Bikelete Sonny precisará de um tapete gerador constituído de 320 blocos, considerando que serão recebidos 112500 pisadas por dia no tapete, ou aproximadamente 352 pisadas em cada bloco. Considerando que a distância entre passos é

de 1 metro e que serão dados 15 pisadas em linha reta por pessoa, o comprimento do tapete deverá ser de, no mínimo, 15 metros.

### 3.1.4 Banco de baterias

A estação estará disponível a qualquer hora do dia para o usuário. Porém, ao pensar na geração de energia, o fluxo de pessoas pisando no tapete é intermitente. Logo, haverá um intervalo de tempo em que não será gerado energia, ou, se gerado, será uma quantidade de energia muito baixa. Esse intervalo de tempo acontecerá majoritariamente nas madrugadas, onde grande parte da população estará reservada em seus lares. Torna-se essencial dimensionar um banco de baterias de modo a suprir a energia demandada pelas bicicletas nos horários em que a produção de energia do tapete estiver nula ou muito baixa.

O cálculo da capacidade do banco de baterias é demonstrado na equação 9.

$$C_{bb} = \frac{E_{gd} \times Autonomia}{Profundidade\ de\ descarga} \quad (9)$$

Onde a autonomia, em dias, refere-se ao período no qual as baterias deverão suprir energia quando o tapete não estiver em funcionamento; a profundidade de descarga será o valor limite da percentagem de carga retirada da bateria quando ela estiver sendo utilizada.

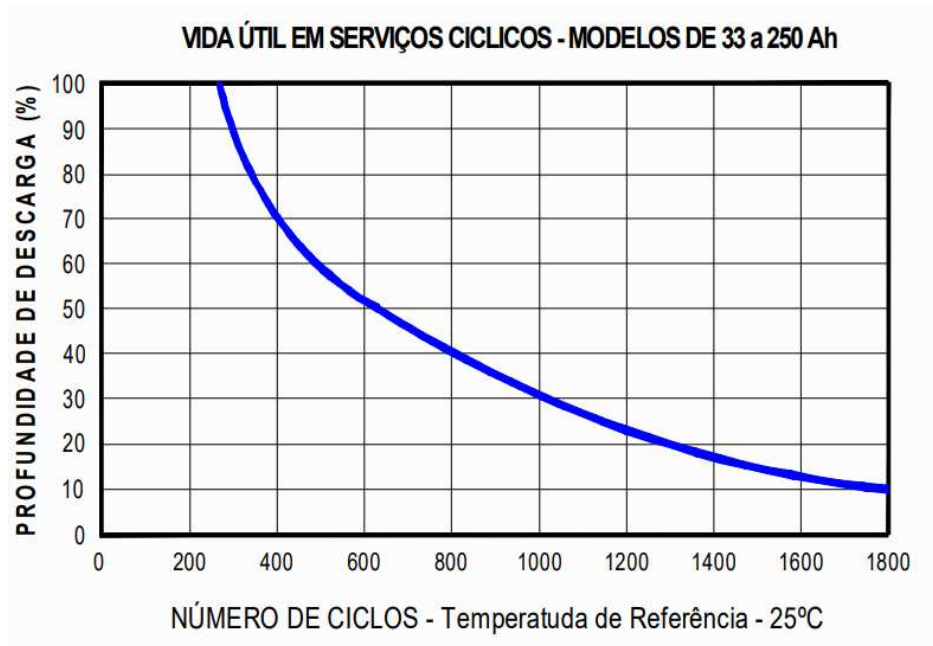
O valor adotado para a autonomia das baterias será de 0,5 dia (12 horas), que é uma estimativa do tempo no qual o tapete não será pisado.

A profundidade de descarga será de 20%, levando em consideração que quanto maior a profundidade, menor a vida útil da bateria. Logo, com a bateria 100 % carregada, após consumo direto durante as 12 horas pré-estabelecidas, ela deve ficar com 80 % de sua capacidade.

A bateria escolhida para compor o banco de baterias é da marca Moura, modelo estacionário 12MS234, com especificação de 220 ampere-hora e tensão nominal de 12 volts. Sua tensão de carga é  $14,4 \pm 0,1$  Volts, e sua tensão de flutuação é  $13,2 \pm 0,1$  Volts. Conforme Figura 18, esta bateria quando utilizada a uma profundidade de descarga de 20% terá uma vida útil estimada em aproximadamente 1300 ciclos, o que daria cerca de dois anos de uso com performance constante, visto que cada ciclo terá 0,5 dia.



Figura 18 - Gráfico de vida útil de uma bateria Moura em função de sua profundidade de descarga.



Fonte: Pegoretti, 2020.

Desse modo, por meio da equação 9 e com os valores adotados, obtemos o seguinte cálculo:

$$C_{bb} = \frac{\frac{7kWh}{dia} \times 0,5dia}{0,2} = 17,5 kWh$$

Portanto, a capacidade do banco de baterias capaz de suprir às condições acima deverá ser de 18 kWh.

O próximo passo é determinar a quantidade de baterias estacionárias que a estação precisará. Como a bateria utiliza a unidade ampere-hora como referência, será necessário descobrir a capacidade em ampere-hora do banco, como descrito conforme equação 10.

$$C_{ahb} = \frac{C_{bb}}{U_b} \quad (10)$$

Onde  $C_{ahb}$  é a capacidade em ampere-hora do banco de baterias e  $U_b$  é a tensão deste banco.

O banco pode ser disposto de forma que as baterias sejam ligadas em série e em paralelo. De acordo com a equação 5, ao ligar baterias em série, a corrente permanece inalterada, porém as tensões se somam. E de acordo com a equação 6, ao ligar baterias em paralelo, a tensão permanece inalterada, porém as correntes se somam.

Como a bateria escolhida é de 12 volts, a tensão do banco pode ser de 12 V, 24 V, 36 V e 48 V. Cada escolha de tensão acarretará diferentes quantidades de baterias, por conta das ligações em série-paralelo necessárias, além de diferentes escolhas de equipamentos para controle de carga do circuito. Devido esse cenário, foi construída uma planilha de modo a determinar a melhor opção de escolha visando o menor gasto, conforme disposta na Figura 19.

Figura 19 - Total de baterias para cada possibilidade de tensão do banco de baterias.

| Capacidade banco [Wh]    | 18000    |       |          |       |          |       |          |       |
|--------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| Tensão [V]               | 12       |       | 24       |       | 36       |       | 48       |       |
| Capacidade [Ah]          | 1500     |       | 750      |       | 500      |       | 375      |       |
| Bateria escolhida [Ah]   | 220      |       | 220      |       | 220      |       | 220      |       |
| Disposição das baterias  | Paralelo | Série | Paralelo | Série | Paralelo | Série | Paralelo | Série |
|                          | 7*       | 0     | 4*       | 2     | 3*       | 3     | 2*       | 4     |
| <b>Total de baterias</b> | 7        |       | 8        |       | 9        |       | 8        |       |

\* Valor inteiro superior mais próximo, para não ficar com capacidade Ah menor que a calculada

Fonte: Elaborado pelo autor.

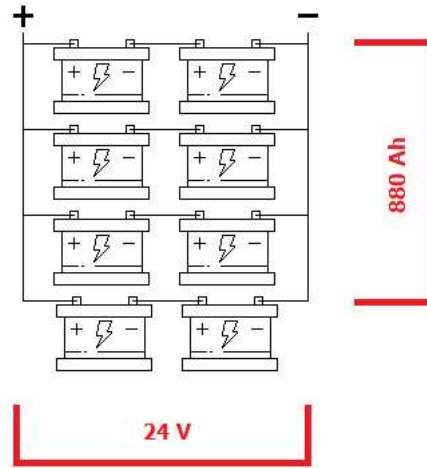
A tensão de 24 volts foi escolhida para o banco, devido ela apresentar menor quantidade de baterias necessárias, em comparação com a tensão de 36 V, e menor corrente quando solicitada uma potência, em comparação com a de 12 V. Além disso, inversores de 24 Volts são amplamente comercializados para a gestão de energia CC/CA, em comparação com os inversores de 48 V.

A quantidade de fileiras de baterias,  $F_b$ , foi calculada dividindo a capacidade do banco de baterias,  $C_{ahb}$ , pela capacidade em apere-hora de cada bateria,  $C_b$ .

$$F_b = \frac{C_{ahb}}{C_b} \quad (11)$$

Desse modo, ao dividir os 750 Ah do banco de 24 volts por 220 Ah em cada bateria,  $F_b$  resultou em 3,41. Considerando o número inteiro superior mais próximo a esse resultado, chegamos à conclusão de que serão necessárias 4 fileiras de baterias, onde cada fileira terá 2 baterias em série para fornecer os 24 volts de alimentação. Desse modo, o banco terá um total de 8 baterias de 220 Ah /12 V, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Ligações das baterias do banco de baterias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.5 Controle de carga

A tecnologia de tapete gerador requer uma gestão de energia diferente de outras tecnologias mais conhecidas no mercado. Diferente da tecnologia fotovoltaica, onde os painéis quando devidamente expostos pelo sol conseguem produzir potências de pico de centenas de Watts continuamente, os tapetes geradores possuem um cenário de produção energética bem diferente.

Como visto, cada pisada de uma pessoa de aproximadamente 70 kg gerará apenas 1,4 W durante 0,5 segundos e, além disso, o banco de baterias precisa ser recarregado dentro das especificações de tensão recomendada pelo fabricante, pois uma recarga fora das especificações diminuirá drasticamente a vida útil das baterias, trazendo um grande prejuízo financeiro.

Considerando estes fatores, será necessário ter um circuito de automação e controle de tensão para suprir energia de maneira correta para o banco de baterias. Desse modo, o circuito precisará ser composto por banco de capacitores, placas de automação, regulador de tensão, contator, inversor, relé, ATS.

### 3.1.5.1 Banco de capacitores

O super capacitor escolhido, ilustrado na Figura 21, é um pack de capacitores que totalizam 16 volts e 500 farad. Ao ligar 3 packs em séries, teremos um banco de capacitores de 48V. Este banco de capacitores será responsável por coletar a energia das pisadas e ir acumulando tensão para posterior descarga.

Figura 21 - Super capacitor de 16V e 500F.



Fonte: aliexpress, 2022.

### 3.1.5.2 Placa de automação

Ela controlará os momentos em que a corrente sairá dos capacitores para as baterias. A placa é ajustada de forma que seja definida uma tensão de acionamento e tensão de desligamento.

Quando atingida a tensão de acionamento, a placa ligará um relé. Este relé pode ser ligado a qualquer circuito, tendo diferentes funções para cada situação. No caso da proposta deste trabalho, o relé será ligado ao circuito de alimentação da bobina de um contator que será explanado mais à frente. Quando a tensão de desligamento for alcançada, ocorrerá o desligamento do relé, abrindo consequentemente o circuito conectado a ele.

A placa escolhida, ilustrada na Figura 22, permite tensão de alimentação CC entre 6 e 40 Volts. Este é o intervalo de tensão apenas para manter a placa ligada. A tensão de leitura para processamento varia entre 0 e 60 Volts CC. Com base nas configurações setadas pelo usuário e através da tensão de leitura, serão estabelecidos parâmetros para o acionamento do relé, no qual pode ser ligado a um outro circuito.

Tendo em vista que o banco de baterias deve ser carregado em 28,8 Volts, pois são duas baterias em série por fileira e cada bateria deve ser carregada em 14,4 Volts, a tensão de desativação do relé será de 28 Volts. Como os capacitores acumulam tensão de no máximo 48V, a tensão de ativação do relé será de 47 Volts, apenas para evitar que o capacitor seja carregado ao máximo e para evitar erros de descalibração da placa.

Figura 22 - Placa de automação sugerida para o circuito do tapete gerador.



Fonte: aliexpress, 2022.

### 3.1.5.3 Contator

Será o responsável por conectar o circuito vindo dos capacitores com o circuito que irá para o banco de baterias. O contator escolhido é o modelo CJX2 – 1810, com tensão de acionamento da bobina entre 24 e 220 Volts CC, a Figura 23 ilustra seu modelo.

Figura 23 - Contator sugerido para comando elétrico entre o banco de capacitores e o banco de baterias.



Fonte: aliexpress, 2022.

As entradas A1 e A2 são respectivos à alimentação da bobina; entradas 1 e 13 e saídas 2 e 14 são NA; entradas 3 e 5 e saídas 4 e 6 são NF. O positivo e negativo vindo dos capacitores serão ligados às entradas 1 e 13 do contator, respectivamente.

A bobina será alimentada através da tensão de saída da placa de automação. Portanto, o positivo e negativo vindos do relé da placa de automação serão ligados às entradas A1 e A2, respectivamente. Finalmente, o positivo e negativo que irão para o banco de baterias serão ligados nas saídas 2 e 14, respectivamente.

Dessa forma, quando o relé da placa de automação for acionado, sua tensão irá acionar a bobina do contator, que por sua vez fechará os contatos NA onde estão conectados os circuitos do banco de capacitores e do banco de baterias, permitindo que a corrente flua e conseqüentemente carregue as baterias.

#### 3.1.5.4 Regulador de tensão

Necessário para garantir que o banco de baterias não seja recarregado com tensão superior à recomendada pelo fabricante. O regulador escolhido trabalha com tensão de entrada entre 10 e 110 Volts/ CC, tensão de saída entre 0 e 100 Volts/ CC, sua corrente de saída é de até 20 Amperes e possui tela com voltímetro e amperímetro, para auxiliar o ajuste de tensão de saída e corrente. A Figura 24 traz uma ilustração do modelo escolhido.

Figura 24 - Regulador de tensão para o circuito do tapete gerador.



Fonte: aliexpress, 2022.

Ele será ajustado para tensão de saída de 28,8 Volts. Desse modo, quando o capacitor estiver descarregando com tensão a partir de 39 Volts, este regulador irá mandar para o circuito do banco de baterias somente os 28,8 Volts configurados. Quando a tensão do capacitor baixar de 28,8 V e continuar decrescendo, a tensão do regulador irá acompanhar a tensão do capacitor. Porém, quando este último chegar em 28 V, a placa do circuito de automação irá ocasionar o desligamento da bobina do contator, reabrindo os contatos NA e permitindo a recarga do capacitor.

#### *3.1.5.5 Inversor*

As baterias das bicicletas funcionam através de uma fonte de alimentação que originalmente converte corrente alternada em corrente contínua. Para não alterar a originalidade do carregamento na qual as bicicletas foram projetadas e não correr riscos de perda de garantia de suas respectivas baterias, será feita a utilização de um inversor, para transformar a corrente contínua, 24 V, vinda do banco de baterias, em corrente alternada, 220 V, para alimentar as tomadas de carregamento das bicicletas.

A escolha do inversor é feita com base na estimativa de potência solicitada pelas cargas. Tendo em vista que o carregador da bicicleta transforma 220V CA para 42V CC com corrente de 2A, sua potência será a multiplicação de 42 Volts por 2 Amperes, resultando em 84 Watt de potência solicitada em cada carregador. Multiplicando os 84 W por 15 bicicletas, temos 1260 Watts de consumo total, considerando que as 15 bicicletas serão carregadas ao mesmo tempo, algo que será muito provável de acontecer, principalmente durante às madrugadas.

Dessa forma, o inversor adotado é da marca Yueqing Reliable Electric, modelo de onda senoidal pura com potência de 1500W e pico de 3000W. Sua tensão de entrada é de 24V CC e tensão de saída de 220V CA – 60Hz. A Figura 25 traz uma ilustração do modelo adotado.

Figura 25 - Inversor do circuito do tapete gerador.



Fonte: aliexpress, 2022.

### 3.1.5.6 Relé temporizador

Quando o inversor é ligado, levam-se alguns segundos para que ele transforme a corrente contínua em corrente alternada e alcance a tensão de 220 V a 60 Hz. Para evitar danos às cargas ligadas na tomada, será preciso utilizar um relé temporizador digital.

Este relé irá segurar a tensão, até que ele alcance os valores estabelecidos pelo inversor e se estabilize, e após o temporizador finalizar sua contagem ele irá chavear o circuito para permitir a entrega de energia elétrica para as tomadas da estação.

O relé escolhido é da marca TOMZN, modelo DDS238-VAP, com capacidade nominal para suportar até 63 amperes. A Figura 26 ilustra o relé adotado.

Figura 26 - Relé digital a ser instalado na saída CA do inversor.



Fonte: aliexpress, 2022.



Seu temporizador será ajustado para 5 segundos, tempo suficiente para o inversor alcançar os valores necessários de tensão para fornecer energia com segurança.

### 3.1.5.7 ATS

Como declarado no começo da seção 3.1, o modelo de utilização de energia da estação será híbrido, isso quer dizer que a energia fornecida para alimentar as tomadas poderão vir tanto do banco de baterias quanto da concessionária.

O *Switch*, mais conhecido como ATS, serve para trocar automaticamente a utilização da energia vinda da concessionária para a utilização do banco de baterias, ou vice-versa, sendo possível alternar entre eles de acordo com parâmetros definidos pelo usuário.

O modelo de ATS escolhido é da marca ROhS, no qual funciona também com tensão alternada de 220V, 60Hz e suporta uma tensão CC de até 48V. portanto este modelo atende às características dos carregadores das bicicletas da estação. Sua ilustração está presente na Figura 27.

Figura 27 - Switch integrador do circuito *on-grid* e *off-grid*.



Fonte: aliexpress, 2022 (adaptado).

No caso deste estudo, a estação irá utilizar a energia promovida pelos tapetes geradores enquanto a tensão do banco de baterias for maior ou igual a 22 Volts, que é a tensão mínima, pré-definida no ATS para que ele utilize a energia vinda do inversor. Caso a tensão do banco fique abaixo dos 22Volts, o *switch* irá alternar para a energia da concessionária.


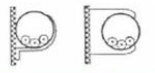
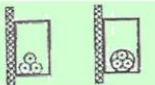

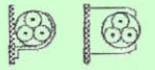
Com a utilização deste equipamento, a estação ficará garantida de não correr o risco de interrupções de energia na tomada, considerando que a concessionária esteja sem anomalias. Isto permitirá que as bicicletas sejam sempre carregadas em caso de paradas para manutenção no sistema *off-grid*.

### 3.1.6 Cabeamento

O dimensionamento da parte *off-grid* até o momento não necessita de homologação, porém, por motivos de segurança, este trabalho irá adotar os critérios da norma NBR 5410 para escolher o tamanho das bitolas dos cabos elétricos a serem ligados nos equipamentos discutidos acima.

A norma define modelos de instalação dos cabos e condutores, categorizando-os em 5 tipos, conforme Figura 28:

Figura 28 - Categorias de instalação de cabos elétricos

| Nº  | Ilustração  | Descrição  | Condutor Isolado | Cabo Unipolar | Cabo Multipolar |
|-----|---|--|------------------|---------------|-----------------|
| 1,2 |  | Condutores/cabos em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante                                    | A1               | A1            | A2              |
| 3,4 |  | Condutores/cabos em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto | B1               | B1            | B2              |
| 5,6 |  | Condutores/cabos em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede   | B1               | B1            | B2              |
| 7,8 |  | Condutores/cabos em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria   | B1               | B1            | B2              |
| 11  |  | Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo                       | -                | C             | C               |

Fonte: NBR 5410, 2004.

O modelo adotado para este caso será o número 4, com cabo unipolar, se enquadrando na categoria B1, uma vez que este circuito *off-grid* será instalado em uma caixa de aço que ficará ao lado da estação de bicicletas, onde os conduítes serão parafusados nesta caixa, pelo lado interno, para a fixação dos componentes elétricos discutidos anteriormente.

No próximo passo da norma, é fornecida uma tabela que sumariza as diferentes categorias de instalação para os tipos de correntes máximas que cada tipo de seção de bitola

suporta, conforme Figura 29. A seção de referência utilizada será a B1 com 2 condutores carregados (positivo e negativo).

Figura 29 - Seções nominais dos cabos elétricos com base na corrente máxima suportada.

| Condutores: cobre e alumínio<br>Isolação: PVC<br>Temperatura no condutor: 70°C<br>Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo) |  |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |
|--|--|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| Seções nominais mm <sup>2</sup>  | Métodos de referência indicados na tabela 33 |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |
|  | A1   |      | A2   |      | B1   |      | B2   |     | C    |      | D    |      |
|  | 2  | 3    | 2    | 3    | 2    | 3    | 2    | 3   | 2    | 3    | 2    | 3    |
| (1)  | (2)  | (3)  | (4)  | (5)  | (6)  | (7)  | (8)  | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) |
| Cobre  |  |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |
| 0,5  | 7  | 7    | 7    | 7    | 9    | 8    | 9    | 8   | 10   | 9    | 12   | 10   |
| 0,75   | 9  | 9    | 9    | 9    | 11   | 10   | 11   | 10  | 13   | 11   | 15   | 12   |
| 1  | 11   | 10   | 11   | 10   | 14   | 12   | 13   | 12  | 15   | 14   | 18   | 15   |
| 1,5  | 14,5   | 13,5 | 14   | 13   | 17,5 | 15,5 | 16,5 | 15  | 19,5 | 17,5 | 22   | 18   |
| 2,5  | 19,5   | 18   | 18,5 | 17,5 | 24   | 21   | 23   | 20  | 27   | 24   | 29   | 24   |
| 4  | 26   | 24   | 25   | 23   | 32   | 28   | 30   | 27  | 36   | 32   | 38   | 31   |
| 6  | 34   | 31   | 32   | 29   | 41   | 36   | 38   | 34  | 46   | 41   | 47   | 39   |
| 10   | 46   | 42   | 43   | 39   | 57   | 50   | 52   | 46  | 63   | 57   | 63   | 52   |
| 16   | 61   | 56   | 57   | 52   | 76   | 68   | 69   | 62  | 85   | 76   | 81   | 67   |
| 25   | 80   | 73   | 75   | 68   | 101  | 89   | 90   | 80  | 112  | 96   | 104  | 86   |
| 35   | 99   | 89   | 92   | 83   | 125  | 110  | 111  | 99  | 138  | 119  | 125  | 103  |
| 50   | 119  | 108  | 110  | 99   | 151  | 134  | 133  | 118 | 168  | 144  | 148  | 122  |
| 70   | 151  | 136  | 139  | 125  | 192  | 171  | 168  | 149 | 213  | 184  | 183  | 151  |

Fonte: NBR 5410, 2004.

Antes de utilizar esta tabela, vale ressaltar que a norma recomenda que para circuitos de força o tamanho mínimo da bitola seja de 2,5 mm<sup>2</sup>, e para circuitos de controle e iluminação, bitola mínima de 0,5 mm<sup>2</sup>. Logo, mesmo que certos valores de corrente indiquem que seja possível usar cabos de tamanhos menores, será obedecida a recomendação da norma.

Os cabos que sairão do tapete até o banco de capacitores deverão suportar a corrente gerada recebida pelas pisadas. Supondo que metade dos blocos do tapete sejam pisados ao mesmo tempo, seria enviada uma corrente de 160 blocos vezes 0,13 Amperes por bloco, totalizando 20,8 Amperes. A bitola que atende esta corrente calculada é a de seção 2,5 mm<sup>2</sup>, que já é a seção mínima segundo recomendação.

Como visto anteriormente, o regulador de tensão é quem determinará qual a corrente que será consumida dos capacitores até o banco de baterias. O banco pode ser recarregado em carga lenta, do tipo C100 (resultado da divisão da capacidade da bateria em Amperes-hora por 100) ou carga mais rápida, como a C20 (resultado da divisão da capacidade em Amperes-hora da bateria por 20). Se carregada em C100, a corrente será 220A/100, totalizando 2,2 Amperes saindo dos capacitores até chegarem na bateria; caso carregada em C20, a corrente será de 11 amperes. Porém, apesar da modalidade de carregamento, o regulador de tensão suporta até 20 Amperes, portanto é ideal que a bitola tenha capacidade para aguentar esta quantidade de

corrente. Olhando na Figura 29, vemos que a bitola ideal para conectar do banco de capacitores ao banco de baterias é a de seção 2,5 mm<sup>2</sup>, que também atende ao critério mínimo.

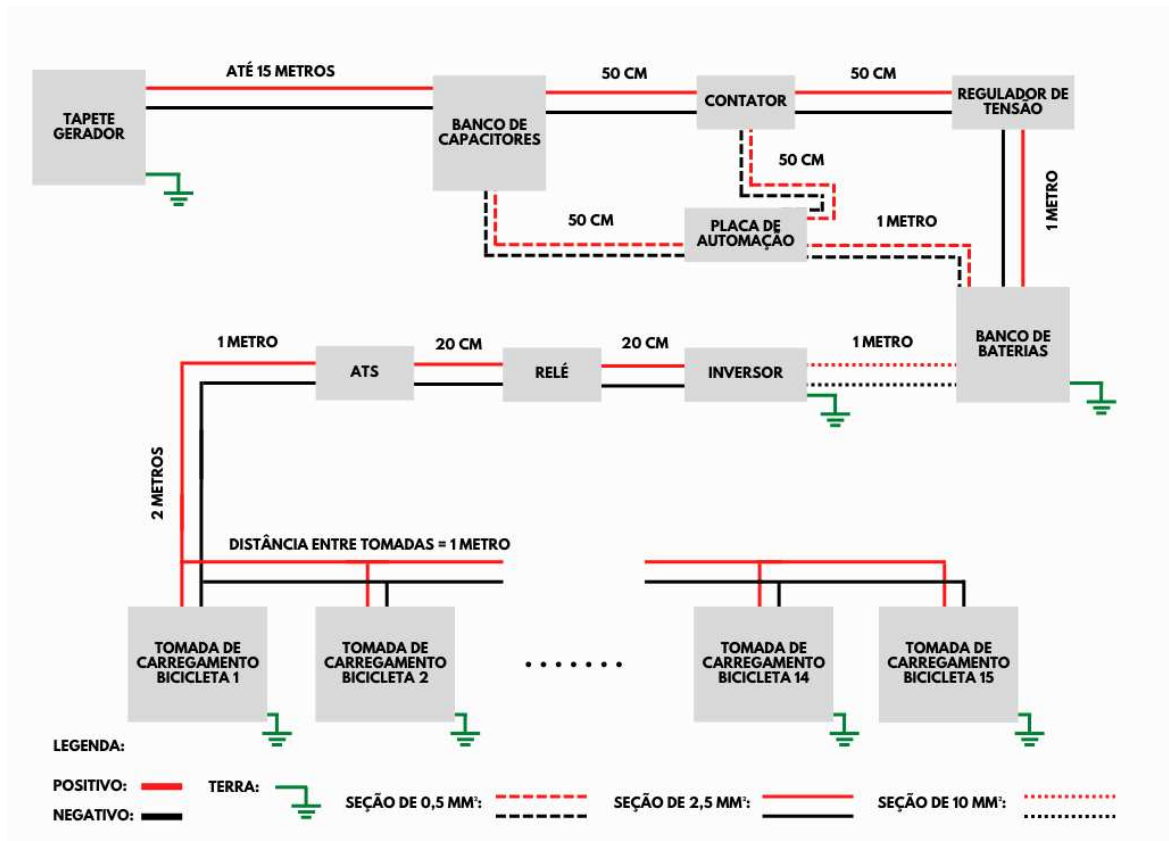
Do banco de baterias ao inversor, foi calculado que pode ser solicitado 1260 Watts caso as 15 bicicletas estejam sendo recarregadas na estação. Ao dividir 1260 Watts por 24 Volts, temos uma corrente de 52,5 Amperes, sendo necessário o cabo de seção 10 mm<sup>2</sup>. Porém do inversor em diante, a corrente mudará para alternada e a tensão subirá para 220 Volts. Portanto, os mesmos 1260 Watts solicitados pelas cargas resultarão em apenas 5,7 Amperes após o inversor, o que em tese o cabo de 0,5 mm<sup>2</sup> atenderia, porém novamente será utilizada a seção mínima de 2,5 mm<sup>2</sup> do inversor até as tomadas de recarregamento.

O circuito da placa de automação funciona com baixa corrente. Como ele é caracterizado por circuito de controle, então sua seção será a mínima definida pela norma, de 0,5 mm<sup>2</sup>.

Os eletrodutos terão valor de meia polegada para as seções de 2,5 mm<sup>2</sup> e 0,5 mm<sup>2</sup>; já para a seção de 10 mm<sup>2</sup> o eletroduto será de 1 polegada.

Como forma de facilitar e resumir o raciocínio acima, foi realizada uma sugestão de circuito de força *off-grid* para a estação, conforme Figura 30.

Figura 30 - Sugestão de circuito *off-grid* da estação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Análise Econômica

Para maior realidade a respeito da viabilidade desta proposta, a análise econômica torna-se substancial. Neste sentido, serão pesquisados custos de aquisição, operação, manutenção e vida útil dos equipamentos considerados na seção 3.1. Os dados foram obtidos por meio de pesquisa disponibilizadas na literatura e varejo na internet, e estão dispostos na Tabela 7. Todos os valores estão convertidos com a taxa de câmbio de 16 novembro de 2022 [1,00 USD – 5,33 BRL].

#### 3.2.1 Custos de aquisição

Tabela 7 - Levantamento de custo dos equipamentos que compõem a estação.

| Equipamento  | Preço                                      | Quantidade | Custo de Aquisição | Fonte                          |
|--|--|------------|--------------------|--------------------------------|
| Bicicleta<br>Bikelete Sonny<br>350 W   | R\$ 5.400,00<br>+<br>R\$ 500,00<br>(frete) | 15         | R\$ 88.500,00      | Magazine Luiza<br>(16/11/2022) |
| Fita Anti-furo<br>aro 24 – Tectire   | R\$ 20,90 +<br>R\$ 33,90<br>(frete)        | 30         | R\$ 1.644          | Mercado Livre<br>(16/11/2022)  |
| Bateria Moura<br>12MS234   | R\$ 1.672,14                               | 8          | R\$ 13.377,12      | Energia total (16/11/2022)     |
| 1 bloco do<br>tapete gerador   | US\$ 120,00                                | 320        | R\$ 204.672,00     | Chand, et al., 2020            |
| Pack de<br>capacitores 2V,<br>500f   | R\$ 81,07 +<br>R\$ 82,18<br>(frete)        | 3          | R\$ 325,39         | Aliexpress (16/11/2022)        |
| Placa de<br>automação –<br>DC 6-40V auto<br>cut-off<br>disconnect<br>controlador | R\$ 15,47 +<br>R\$ 35,43<br>(frete)        | 1          | R\$ 50,90          | Aliexpress (16/11/2022)        |

|  |                                      |    |              |                            |
|--|--------------------------------------|----|--------------|----------------------------|
| Contator elétrico 18A CJX2-1810Z                                       | R\$ 51,30 +<br>R\$ 95,93             | 1  | R\$ 147,23   | Aliexpress (16/11/2022)    |
| Regulador de tensão – DC 0-100V 50A 1000W step down                    | R\$ 192,02                           | 1  | R\$ 192,02   | Aliexpress (16/11/2022)    |
| Inversor solar de onda senoidal pura, 1500W                            | R\$ 775,48 +<br>R\$ 687,34           | 1  | R\$ 1.462,82 | Aliexpress (16/11/2022)    |
| Relé TOMNZ 63A Top Input   | R\$ 82,86 +<br>R\$ 10,26<br>(frete)  | 1  | R\$ 93,12    | Aliexpress (16/11/2022)    |
| ATS – duplo interruptor de transferência de energia                    | R\$ 573,76 +<br>R\$ 70,14<br>(frete) | 1  | R\$ 643,9    | Aliexpress (16/11/2022)    |
| Tomada 2P+T 10A/250 V  | R\$ 11,34 +<br>R\$ 18,27<br>(frete)  | 15 | R\$ 444,15   | Mectronic (17/11/2022)     |
| 1 rolo 25 metros de cabo de cobre 0,5 mm <sup>2</sup>                  | R\$ 25,45 +<br>R\$ 46,30<br>(frete)  | 1  | R\$ 71,75    | Mercado livre (17/11/2022) |
| 1 rolo 50 metros de cabo de cobre 2,5 mm <sup>2</sup> - preto - SIL    | R\$ 99,90                            | 1  | R\$ 99,90    | Carajás (17/11/2022)       |
| 1 rolo 50 metros de cabo de cobre 2,5 mm <sup>2</sup> - vermelho - SIL | R\$ 99,90                            | 1  | R\$ 99,90    | Carajás (17/11/2022)       |
| 1 rolo 50 metros de cabo de  | R\$ 109,90                           | 1  | R\$ 109,90   | Leroy Merlin (22/11/2022)  |

|   |                                    |    |            |                                     |
|---|------------------------------------|----|------------|-------------------------------------|
| cobre 2,5 mm <sup>2</sup> -<br>verde - SIL        |                                    |    |            |                                     |
| 1 metro Cabo de<br>cobre 10 mm <sup>2</sup>       | R\$ 7,80 +<br>R\$ 11,55<br>(frete) | 2  | R\$ 27,15  | Casa do Eletricista<br>(17/11/2022) |
| 3 metros<br>Eletroduto PVC<br>tigre ½<br>polegada | R\$ 14,49                          | 24 | R\$ 347,76 | Leroy Merlin (17/11/2022)           |
| 3 metros<br>Eletroduto PVC<br>tigre 1 polegada    | R\$ 28,90                          | 1  | R\$ 28,90  | Leroy Merlin (17/11/2022)           |
| Cotovelo meia<br>polegada PVC<br>tigre            | R\$ 2,59                           | 32 | R\$ 82,88  | Carajás<br>(17/11/2022)             |

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.2 Custos de manutenção

Além dos custos de aquisição, será necessário calcular os custos de manutenções preventivas a serem realizadas durante o uso das bicicletas e estação. Como essas bicicletas serão compartilhadas e passarão por diferentes usuários, torna-se complexo prever com exatidão a vida útil de cada peça. Considerando esse cenário, serão estimados valores de durabilidade, para efeitos de cálculo. A Tabela 8, mostra as peças previstas de troca periódica e os seus respectivos custos associados. Estes valores serão levados em consideração para o cálculo do retorno do investimento.

Tabela 8 - Levantamento de custo dos itens de reposição programada das bicicletas.

| Peça                         | Preço unitário                               | Vida útil<br>estabelecida | Quantidade<br>por bicicleta<br>por ano | Quantidade<br>e total por<br>ano | Custo por ano |
|------------------------------|--|---------------------------|--|----------------------------------|---------------|
| Corrente Comum<br>Tec Grossa | R\$ 29,90<br>(Mercado Livre<br>– 18/11/2022) | 2.000 km                  | 7,33                                   | ≈ 110                            | R\$ 3.289,00  |

|                       |                |             |      |             |               |
|-----------------------|----------------|-------------|------|-------------|---------------|
| Catraca Bicicleta     | R\$ 19,90      |             |      |             |               |
| Roda Livre Bike 16    | (Mercado Livre | 2.000 km    | 7,33 | $\cong$ 110 | R\$ 2.189,00  |
| Dentes Esfera         | - 18/11/2022)  |             |      |             |               |
| Dourada               |                |             |      |             |               |
| Coroa Engrenagem      | R\$ 20,49      |             |      |             |               |
| Bicicleta 40 Dentes   | (Shopee -      | 10.000 km   | 1,44 | $\cong$ 22  | R\$ 450,78    |
| Aço Preto             | 18/11/2022)    |             |      |             |               |
| Lubrificante para     | R\$ 12,00      |             |      |             |               |
| corrente - algo lube  | (Ciclo peças   | 5 ml por    | 4,33 | $\cong$ 65  | R\$ 780,00    |
| 60 ml                 | Timbó -        | semana      |      |             |               |
|                       | 18/11/2022)    |             |      |             |               |
| Lubrificação geral    | R\$ 60,00      |             |      |             |               |
|                       | (Oficina Ponto | A cada 6    | 2    | 30          | R\$ 1.800,00  |
|                       | do Ciclista -  | meses       |      |             |               |
|                       | Fortaleza-CE)  |             |      |             |               |
| Par Pneu Bicicleta    | R\$ 120,90     |             |      |             |               |
| Praieiro Levorin Aro  | (Mercado Livre | 15.000 km   | 1    | 15          | R\$ 1813,5    |
| 24x1.95 Urbano        | - 18/11/2022)  |             |      |             |               |
| Balão                 |                |             |      |             |               |
| 2 Pares Pastilha      | R\$ 19,99      |             |      |             |               |
| Freio Disco           | (Mercado Livre | A cada dois | 0,5  | 7,5         | R\$ 149,92    |
|                       | - 18/11/2022)  | anos        |      |             |               |
| Bateria De Lítio Para | R\$ 2.050,00   |             |      |             |               |
| Bicicleta Elétrica    | (Mercado Livre | A cada três | 0,33 | $\cong$ 5   | R\$ 10.250,00 |
| 350w 36v              | - 18/11/2022)  | anos        |      |             |               |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A vida útil das peças, na prática, pode variar. Os valores da coluna 3 acima foram estabelecidos para efeitos de cálculo. Lembrando que a estimativa de rodagem diária de cada bicicleta é de 40 km.

Além dos gastos de manutenção com as bicicletas, as baterias possuem vida útil de acordo com a quantidade de ciclos. Como discutido na seção 3.1.4, as baterias terão uma estimativa de fornecer 1300 ciclos de descarga sem perder a performance original. Como cada ciclo durará 0,5 dia, ela terá boa performance por 650 dias, ou 1,78 ano. Após essa quantidade de ciclos, a bateria começará a perder aos poucos sua capacidade de carga. Portanto, este trabalho considerará que o banco deverá ser trocado por novas baterias de dois em dois anos.



Vale ressaltar que este trabalho não contemplará os custos associados à compra ou desenvolvimento de aplicativo mobile para gestão das bicicletas e usuários, além de custos associados à mão de obra necessária para instalação, devido falta de dados precisos para estipular valores médios. Portanto o cálculo do retorno do investimento estará limitado aos custos com os itens acima.

### **3.2.3 Modelo de Retorno Financeiro**

O modelo proposto para retorno financeiro do investimento tomará como base os preços das passagens das frotas de ônibus de Fortaleza. Atualmente a passagem custa R\$ 3,90 a inteira e R\$ 1,80 a meia. Dessa forma este trabalho sugere que cada utilização de 30 minutos da bicicleta elétrica custe R\$ 3,90 a inteira e R\$ 1,80 a meia, nos dias úteis. Nos finais de semana e feriados o tempo por cada utilização da bicicleta subirá para 40 minutos e custará R\$ 5,00 a inteira e R\$ 2,50 a meia. A consideração de 8 viagens diárias por bicicleta, feita na seção 3.1.1, será utilizada também aqui. Por último, será considerado que cada mês terá 4 semanas e 5 dias úteis, de tal maneira que o ano terá 240 dias úteis e 125 dias não úteis.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após levantamento de informações acerca dos itens necessários para compor uma estação de bicicletas elétricas de modelo híbrido que utiliza tapete gerador de energia, é necessária uma análise criteriosa a respeito do conteúdo abordado. Este capítulo detalha os resultados obtidos pela utilização da metodologia da seção 3.

### **4.1 A Bicicleta**

O mercado de bicicletas elétricas está em crescente expansão, porém, para a realidade brasileira, esta nova onda ainda custa caro. A Bikelete Sonny é uma boa escolha devido seu preço de mercado abaixo da média e devido seus componentes, mais básicos, serem fáceis de achar com preços acessíveis no mercado de reposição, algo essencial quando se trata de bicicletas compartilhadas, já que requerem constantes revisões devido ao seu uso severo.

É válido salientar que muitas bicicletas elétricas são vendidas com acelerador, como é o caso deste modelo escolhido. Segundo a resolução nº 947 do CONTRAN, as bicicletas

elétricas devem “não dispor de acelerador ou de qualquer outro dispositivo de variação manual de potência”, pois, caso contrário, serão classificadas como ciclomotores, precisando que o condutor tenha ACC para conduzi-las. Ou seja, muitas lojas vendem bicicletas que, sob o olhar da legislação vigente, na verdade são ciclomotores. Devido esse cenário, antes das bicicletas ficarem disponíveis para os usuários pela primeira vez, elas deverão ter seus aceleradores desligados para ficarem regulares perante a legislação. Portanto, seus motores elétricos só funcionarão via pedal assistido, assim como exige a resolução.

Cada estação precisará de um investimento de R\$ 88.500,00 na compra de 15 bicicletas Bikelete Sonny para compor a estação proposta. O fabricante fornece 6 meses de garantia da bateria, porém sua vida útil gira em uma média de 3 anos utilizando diariamente, sendo necessário uma possível reposição de baterias após atingido esse período. Esta reposição custará R\$ 30.750,00 na compra de 15 baterias novas após 3 anos da compra das bicicletas, ou R\$ 10.250,00 por ano.

O módulo e motor elétrico não são levados em consideração nas manutenções preventivas pois sua durabilidade perpassa a vida útil de todos os outros componentes. Ademais, suas outras peças são iguais às encontradas em bicicletas tradicionais, sendo sua manutenção necessária apenas para garantir a segurança do usuário, assim como já acontece nas estações de bicicletas comuns. A previsão anual de manutenção preventiva das 15 bicicletas totalizou R\$ 10.472,20 de acordo com os itens previstos na seção 3.2.2.

Desse modo, o custo anual previsto para manter as bicicletas pertencentes a uma estação, apenas, é de aproximadamente R\$ 20.722,20, considerando que cada bicicleta percorrerá 40 quilômetros diariamente durante os 365 dias do ano.

## **4.2 Circuito Off-grid**

Para atender à demanda diária de 7 kWh, vimos que serão necessários 320 blocos do tapete gerador, considerando que a estação deverá ser colocada em um local onde passem 7500 pessoas diariamente e que elas pisem 15 vezes no tapete durante sua caminhada, totalizando 112.500 pisadas diárias no tapete ou, aproximadamente, 352 pisadas em cada bloco.

Seguindo as precificações propostas por Chand, et al. (2020), o montante para implementar o tapete constituído de 320 blocos resultou em R\$ 204.672,00.

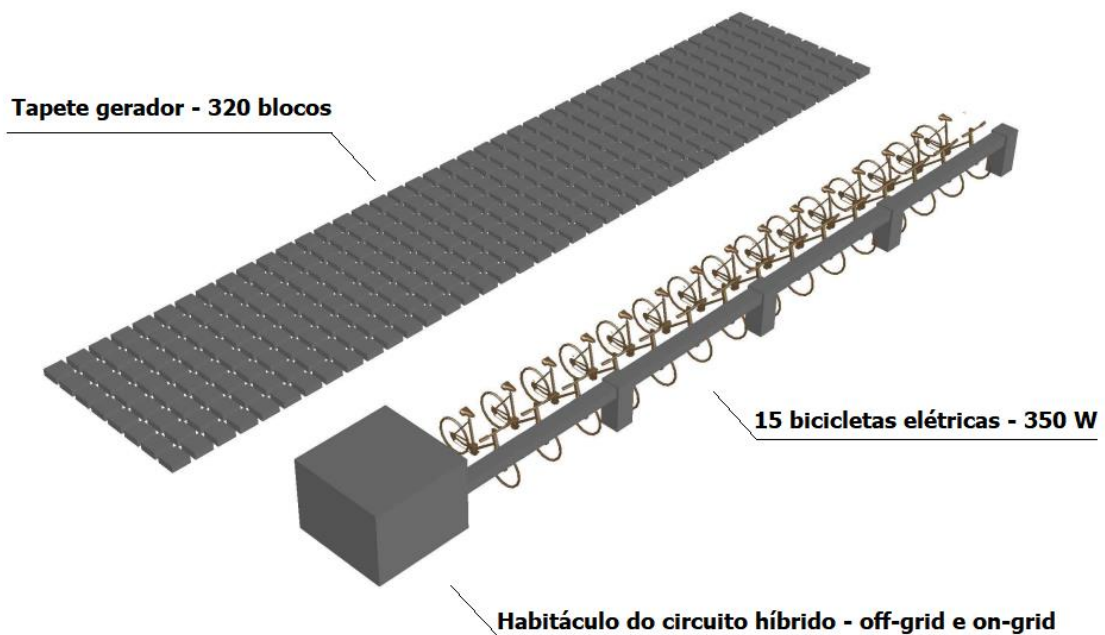
O circuito de geração de energia e o banco de baterias totalizaram R\$ 17.604,88, no qual o único item que precisará de substituição posterior será o banco de baterias após o fim da

quantidade de ciclos previsto, sendo necessária uma quantia R\$ 13.377,12 a cada dois anos, ou R\$ 6.688,56 por ano.

### 4.3 Visão Geral da Estação

Como visto na seção 3.1.3, o comprimento mínimo do tapete deverá ser de 15 metros. Ao dividir 320 blocos por 40, teremos 8 fileiras de 40 blocos cada. Dessa forma, cada tapete terá 16 metros de comprimento e 3,2 metros de largura, totalizando os 51,2 metros quadrados de área prevista a ser pisada e atendendo ao comprimento necessário. Na Figura 31 pode-se ver um exemplo de layout padrão para a estação.

Figura 31 - Layout padrão para a estação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

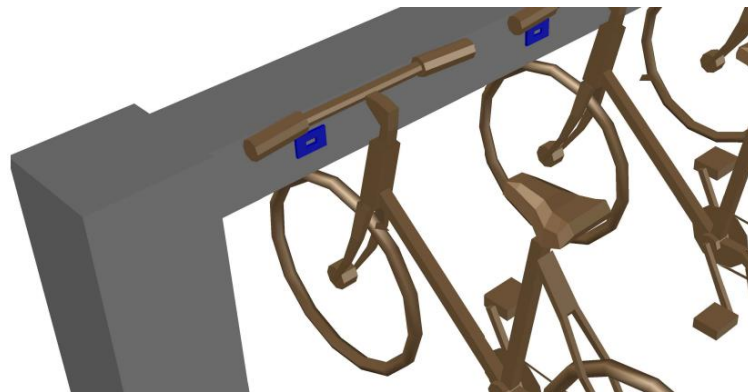
Este layout padrão é apenas uma sugestão. Os blocos do tapete podem ficar a uma distância maior da estação e serem dispostos de outras maneiras (escadarias ou trajetos que tenham curvas). A única disposição que não será modificada é o conjunto habitáculo + estrutura das tomadas. Isso garantirá um custo fixo com cabeamento deste conjunto.

Cada bicicleta terá uma tomada disponível para recarga, de modo que quando o usuário desligar a bicicleta da tomada será iniciada a contagem do seu tempo de utilização. Ao chegar

em outra estação ou retornar à mesma, será necessário conectar a tomada para que a contagem do tempo de utilização pare.

Para melhorar a experiência de uso, o aplicativo mobile deverá ser desenvolvido de tal forma que ele disponibilize para o usuário a bicicleta com maior nível de bateria no momento da retirada da estação.

Figura 32 - Localização das tomadas para recarga das bicicletas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4 Retorno do Investimento

Utilizando-se de dois cenários hipotéticos, clientes que só pagarão inteira durante o ano e clientes que só pagarão meia durante o ano, e utilizando o que foi considerado na seção 3.2 para os preços em dias úteis e não úteis, obteve-se uma situação de cenário de ganho máximo e de ganho mínimo. A partir destes dois valores, foi realizada uma média entre eles, resultando em um ganho anual estimado de R\$ 138.330,00. Na Figura 27 consta a sumarização do raciocínio adotado.

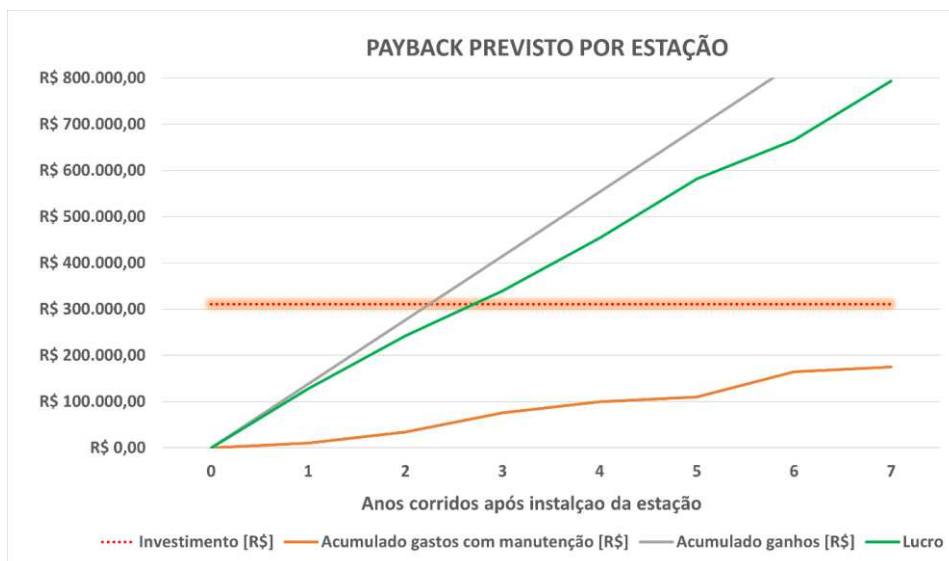
Figura 33 - Diferentes cenários de ganhos anuais com a estação.

|                                      |     |                                 |        |                                     |       |   |
|--------------------------------------|-----|---------------------------------|--------|-------------------------------------|-------|---|
| Viagens diárias por bicicleta        | 8   | Total de viagens nos dias úteis | 28800  | Total de viagens nos dias não úteis | 15000 |   |
| Bicicletas por estação               | 15  | <b>Inteira [R\$]</b>            | 3,9    | <b>Inteira [R\$]</b>                | 5     | Total Anual somente inteira [R\$]             |
| Total de viagens diárias por estação | 120 | Total [R\$]                     | 112320 |                                     | 75000 | <b>187320</b>                                 |
| Dias úteis no ano                    | 240 | Total de viagens nos dias úteis | 28800  | Total de viagens nos dias não úteis | 15000 |   |
| Dias não úteis no ano                | 125 | <b>Meia [R\$]</b>               | 1,8    | <b>Meia [R\$]</b>                   | 2,5   | Total Anual somente meia [R\$]                |
|                                      |     | Total [R\$]                     | 51840  |                                     | 37500 | <b>89340</b>                                  |
|                                      |     |                                 |        |                                     |       | <b>Média total anual inteira + meia [R\$]</b> |
|                                      |     |                                 |        |                                     |       | <b>138330</b>                                 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse do valor de ganho anual médio, foi construída uma planilha para estimar o retorno financeiro investido por estação, onde também foram considerados os gastos com as manutenções preventivas das bicicletas e do banco de baterias ao longo dos anos de utilização.

Gráfico 1 – Previsão de ganhos com a estação movida a tapete gerador.



Fonte: Elaborado pelo autor.

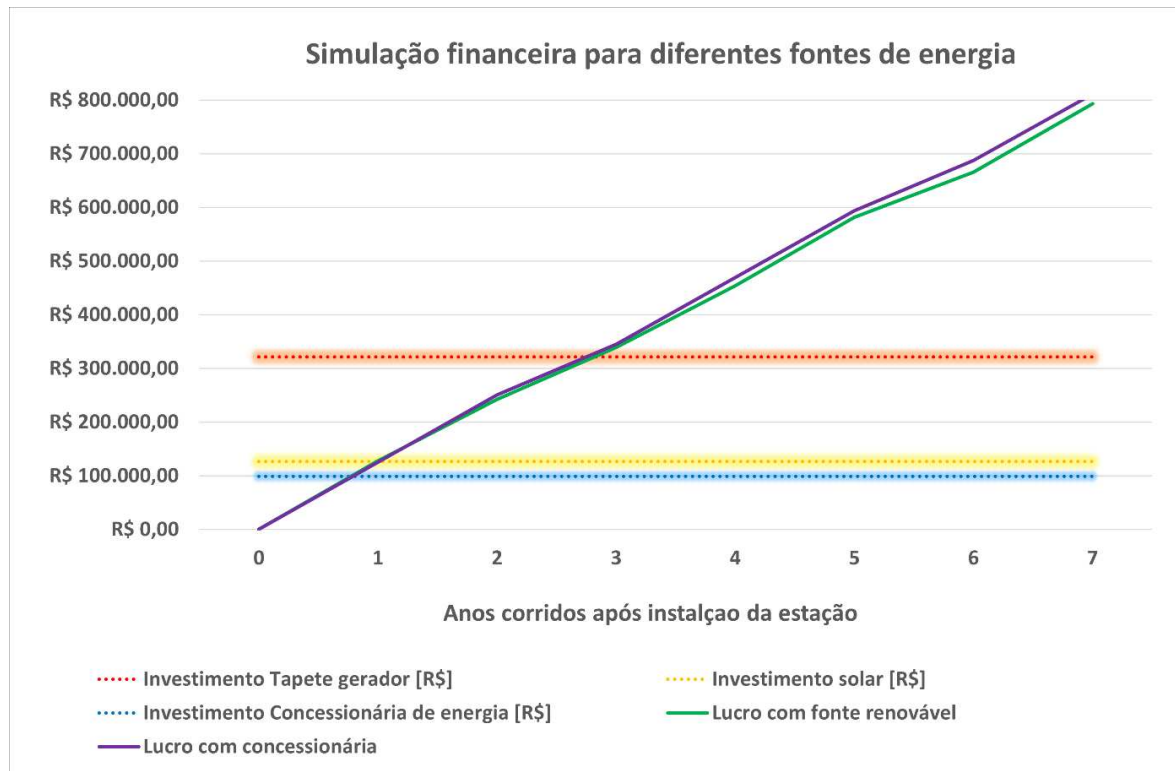
Pelo Gráfico 1, pelas considerações e simplificações adotadas na metodologia, teremos um cenário de recuperação do dinheiro investido a partir do terceiro quadrimestre do segundo ano posterior à instalação da estação.

Para ter um referencial se o custo com tapete gerador é alto ou baixo foi feita uma breve simulação que compara o investimento, em reais, da estação movida a tapete gerador, a energia eólica e ligada à concessionária de energia.

O cálculo para a simulação com a concessionária considerou o preço do quilowatt-hora no mês de setembro de 2022 cobrado pela Enel na cidade de Fortaleza: R\$ 0,92457. Retirando os gastos com o circuito *off-grid*, desnecessários nessa modalidade de consumo, o investimento para a instalação da estação ficou em R\$ 98.972,00. Sendo este valor referente à soma da compra de material elétrico para a estação e compra das bicicletas e compra das peças das manutenções preventivas das bicicletas. A conta de energia anual dará R\$ 2.362,15 sendo considerado para efeito de cálculo aumento anual de 10 %.

Para simular o investimento em energia solar, foram utilizados 4 painéis solares de 500 Watt-pico cada, no lugar do tapete gerador, estima-se que estes painéis submetidos a um regime de sol de 6 horas diárias conseguirão atender à demanda da estação durante sua vida útil. Os painéis escolhidos para efeito de cálculo são comercializados pela Neosolar, onde o preço de compra dos 4 painéis ficou em R\$ 5.596,00 e foi acrescido mais R\$ 4.000,00 com cabeamentos e materiais para instalação, arredondando para um custo de R\$ 10.000,00. Neste modelo, o circuito *off-grid* permanecerá quase a mesma coisa e o gasto com a reposição do banco de baterias se manterá.

Gráfico 2 – Comparação financeira entre tapete gerador, energia solar e concessionária local.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse modo, ao fazer a comparação do tapete gerador com as outras duas fontes de energias citadas, observa-se que o valor de seu investimento é aproximadamente 3 vezes maior e isso atrasará o retorno financeiro em quase 2 anos a mais.

## 4.5 Impactos Ambientais

### 4.5.1 Tapete

Um dos motivos da escolha do conceito de A.A. Chand, et al. (2020) para o tapete gerador deve-se ao fato de não haver utilização de componentes tóxicos à natureza, podendo ele ser construído com materiais bastante conhecidos, como aço, borracha, água, cobre e plástico. Portanto, durante a utilização do tapete não haverá poluição, ficando seu impacto ambiental somente durante os processos de fabricação e reciclagem.

Seus processos de reciclagem serão básicos, não sendo necessário nenhum tipo de reação química neste processo, precisando ser submetido apenas etapas de separação de

resíduos e submissão destes materiais a alta temperatura para posterior utilização como matéria prima.

#### 4.5.2 Baterias

As baterias terão um impacto ambiental maior, já que elas, diferentemente do tapete, carregam materiais pesados e tóxicos. Visando reduzir as contaminações causadas por baterias, a resolução do CONAMA nº 401/08 estabelece que todo fabricante de bateria no Brasil é obrigado a receber as baterias comercializadas por ele que estejam energeticamente esgotadas. Estas baterias recebidas serão postas em logística reversa para reciclagem, evitando descarte inadequado e grave prejuízo ao meio ambiente. Porém, mesmo existindo uma grande cadeia de coleta para elas, a própria atividade de reciclo traz consigo alguns impactos ambientais. A Tabela 9 reúne os impactos ambientais previstos nas atividades de reciclagem de baterias segundo a Revista de Tecnologia e Engenharia (2020).

Tabela 9 - Matriz de impactos ambientais da reciclagem de pilhas e baterias.

| <b>Atividade</b>                              | <b>Processo</b>                      | <b>Impacto</b>   | <b>Prevenção e minimização</b>                              |
|---|--------------------------------------|--|---|
| Operação de equipamentos com energia elétrica | Alto gasto energético                | Desperdício de recursos naturais                           | Investimento em equipamentos com alta eficiência energética |
| Submissão dos resíduos a altas temperaturas   | Emissão de gases poluentes           | Contaminação do ar   | Uso de filtros e lavadores de gases                         |
| Submissão dos resíduos em soluções químicas   | Geração de efluentes líquidos        | Contaminação do solo e/ou da água pela má disposição final | Tratamento e disposição final ambientalmente adequada       |
| Contato dos trabalhadores com os resíduos     | Aparecimento de doenças ocupacionais | Deterioração da saúde do trabalhador                       | Uso de EPI's e manutenção das máquinas e equipamentos       |

Fonte: Revista de Engenharia e Tecnologia, 2020.

Portanto, o impacto ambiental das baterias estará nos seus processos de fabricação e reciclagem, somente.

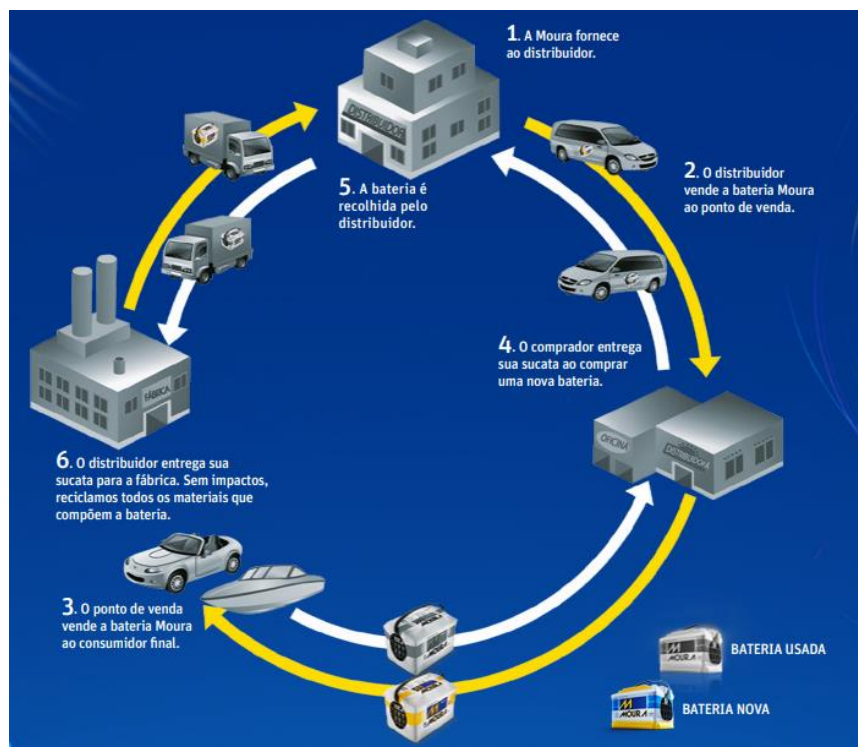


### 4.5.3 Ações Práticas

Quando as baterias do banco e das bicicletas perderem rendimento, elas ficarão sem serventia de utilização devido sua incapacidade de sustentar um ciclo previsto de descarga, necessitando de novas baterias para acabar com o problema. Isto gerará um resíduo para a estação, que deverá fazer o correto descarte para manter os impactos ambientais nos níveis mínimos previsto anteriormente.

O fabricante da bateria escolhida para o banco possui o Programa Ambiental Moura, PAM, que faz o descarte das baterias de forma gratuita quando estas estão esgotadas, bastando levá-las em uma unidade autorizada de recebimento de baterias inservíveis. Segundo a Moura, todos os materiais da bateria são reciclados. Após o descarte, a empresa envia para o cliente um certificado de destinação final, que servirá de prova que a estação de bicicletas cumpre corretamente com o descarte de seus resíduos. Dessa forma, quando a vida útil do banco da estação terminar, será acionado este serviço para garantir a correta reciclagem das baterias de chumbo ácido.

Figura 34 - Ciclo de reutilização de baterias de chumbo ácido Moura.



Fonte: Cartilha Sustentabilidade Moura.

Para as baterias de lítio das bicicletas o tratamento é um pouco diferente, já que fabricante delas não possui de maneira transparente uma política de recebimento de baterias inservíveis. Porém, na cidade de Fortaleza há a empresa GreenEletron, que possui vários Pontos de Entrega Voluntária, PEVs, de baterias e eletrônicos. Ela recebe os produtos descartados e faz todo o processo de logística reversa enviar para os centros de reciclagem apropriados.

Ademais, as os resíduos gerados das outras peças das bicicletas após as manutenções preventivas, como pneus, pastilhas de freio etc., serão recebidos pelas oficinas de manutenção que tem processo de descarte definido.

## **4.6 Percepções do Conjunto**

### **4.6.1 Pontos Positivos**

O tapete possui três pontos positivos. O primeiro ponto é que o impacto ambiental com o tapete se mostrou menor em comparação com as outras duas fontes de energia. Sua concepção simplificada permitirá que os impactos gerados sejam baixos durante as fases de produção dos blocos do tapete e reciclagem dos mesmos. O segundo ponto é que em nenhum momento durante a geração de energia produzida pelo tapete haverá impacto ambiental, diferentemente do que ocorre quando consumimos a energia da concessionária. O terceiro ponto é que as coletas de baterias são amparadas por lei no Brasil e existem locais para correto descarte na cidade de Fortaleza, garantindo que as baterias do banco e das bicicletas sejam devidamente recicladas. Portanto, a grande vantagem do tapete é que ele é ambientalmente amigável e garante a sustentabilidade no recarregamento das baterias das bicicletas, pois ele aproveita uma energia que até o momento não está sendo explorada: A movimentação urbana.

### **4.6.2 Pontos Negativos**

A baixíssima geração de energia dos blocos do tapete é um fator bastante impeditivo para maiores aplicações. Mesmo assumindo uma quantidade altíssima de pessoas passando pelo tapete diariamente é necessária uma grande quantidade de blocos, visto que só são gerados 0,194 mWh por pisada. Isto quer dizer que a estação ficará limitada sempre a lugares bastante movimentados. Esta restrição dos locais para as estações não facilitará o suficiente a rotina dos

cidadãos de Fortaleza ao terem mais um meio de transporte alternativo para se locomover, pois corre-se o risco de não haver estações suficientes para atender às necessidades dos usuários.

Os custos envolvidos com tapete se mostraram extremamente elevados. Como comparado na seção 4.4, há um atraso de dois anos a mais para atingir o retorno do investimento, além da necessidade de maior capital de investimento visto que o valor de instalação é aproximadamente 3 vezes maior que as outras opções discutidas.

Além disso, a estação movida a tapete gerador estará sujeita a riscos de baixas na produção energética durante feriados e finais de semana, períodos esses nos quais a movimentação urbana adquire comportamento diferente dos dias úteis. Dessa forma o conjunto *off-grid* correrá risco de déficits de geração, ocasionando uma maior dependência à rede elétrica, fugindo da pegada ecológica e não justificando o alto investimento em uma fonte renovável.

Por último, vale destacar que o conceito desenvolvido por Chand, et al.,(2020) também não passou por testes de fadiga, uso severo, condições de chuva etc. Portanto, não há previsibilidade da vida útil dos blocos do tapete.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o intuito de analisar a viabilidade técnica e realizar análise de custo de uma estação de bicicletas elétricas movidas a um novo conceito de tapete gerador de energia. Por meio da revisão da base teórica foi possível cumprir com o primeiro objetivo específico: Levantamento a respeito dos equipamentos necessários para o circuito de geração *off-grid* cuja fonte geradora seja um tapete. Com a metodologia desenvolvida neste trabalho, foi realizada uma busca no varejo da internet e nos preços disponibilizados pelos autores do conceito do tapete sugerido, onde foi possível realizar um comparativo financeiro entre as fontes de energias almejadas no objetivo específico 2: Comparar os custos de investimento entre estação movida a tapete gerador, movida a energia solar e ligada diretamente à rede elétrica. Finalmente, por meio da aplicação da metodologia, foram coletados resultados suficientes para cumprir com o último objetivo específico: Análise a respeito das vantagens e desvantagens da utilização do tapete gerador.

Este conceito de tapete sugerido tem grande potencial de durabilidade frente à tapetes que utilizam sistemas mecânicos complexos, como é o caso da PaveGen, ou que usam piezeletricidade. Além disso, sua pegada ecológica torna-se interessante frente à sua utilização

de materiais não tóxicos ao ambiente. Sua simplicidade construtiva e menor quantidade de peças móveis poderá ser promissora no futuro, se resolvido o problema da baixa geração.

Este trabalho conclui que, considerando a existência de outras fontes de energia mais acessíveis e energeticamente seguras, ainda não é viável construir uma estação movida a tapete gerador utilizando o conceito de hidrogenação, devido ao alto custo agregado para se obter uma baixíssima geração de energia, que pode ter intermitências na sua geração, e que está limitada à locais de grande movimentação urbana, promovendo grande desvantagem para o tipo de uso proposto, pois o ideal para a cidade de Fortaleza é cada vez mais ampliar a quantidade de estações de bicicletas. Ademais, mesmo sem considerar outros custos envolvidos na instalação e operação de uma estação de bicicletas compartilhadas, como mão de obra e desenvolvimento de aplicativo mobile, este trabalho alcançou seus objetivos.

## **6 TRABALHOS FUTUROS**

Fica como sugestão à comunidade acadêmica o aprofundamento no conceito de tapetes geradores movidos a hidrogenação. Através deste trabalho percebe-se duas grandes necessidades: Pesquisas voltadas para descobrir a vida útil média de um bloco que utilize esta tecnologia e pesquisas para desenvolver um bloco que produza boa quantidade de energia por pisada. Portanto, se for desenvolvido um protótipo íntegro, com boa durabilidade e performance, haverá grande potencial para que a indústria cearense possa produzir estes tapetes e se tornar referência em um mercado pouquíssimo explorado.

## REFERÊNCIAS

ALIBABA. AliExpress, c2022. 63a 80a 110 v 230 v trilho din ajustável sobre sob tensão dispositivo protetor de proteção atual limite proteção voltímetro kwh. Disponível em: < encurtador.com.br/fEGHV>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ALIBABA. AliExpress, c2022. Capacitor 2.7v 500f 6 peças/1 conjunto, super capacidade com placa de proteção, capacitores automotivos. Disponível em: < encurtador.com.br/eINT8>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ALIBABA. AliExpress, c2022. Contator elétrico 18a CJX2-1810Z contator magnético da c.c. da montagem do trilho LP1-1810 contadores dc12v 24v 48v 110v para a proteção do motor. Disponível em: < encurtador.com.br/kostx>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ALIBABA. AliExpress, c2022. Controlador automático da carga solar do interruptor de transferência de energia dupla do ats para o sistema eólico solar dc 12v 24v 48v ac 110v 220v ligar/desligar a grade. Disponível em: < encurtador.com.br/vzHY7>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ALIBABA. AliExpress, c2022. Dc 0-100v 50a 1000w led digital dc step-down voltímetro buck mppt corrente de tensão constante de energia solar fonte de alimentação da bateria. Disponível em: < encurtador.com.br/avHNS>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ALIBABA. AliExpress, c2022. Interruptor de controle do descarregador do carregador de bateria da c.c. 6-40v placa de proteção da sobretensão da subtensão. Disponível em: < encurtador.com.br/chET2>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ALIBABA. AliExpress, c2022. Inversor solar de onda senoidal pura, 1500w, 12v para 220v, conversor de fonte de alimentação reserva, 24v/48v para 110/120v/230v/240v ac. Disponível em: < encurtador.com.br/eijy0>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ARAÚJO, J. F. Rui. **Desenvolvimento de uma bicicleta elétrica**. 141f. Tese (Mestrado em Engenharia Eletrônica Industrial e de Computadores). Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Portugal, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 209 p.

ATAIDE, Eduardo de Oliveira. **Baterias Recarregáveis**. 2010. 59 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade São Francisco, Campinas, 2010.

CADOEL COMERCIO DE MATERIAIS ELETRICOS LTDA. Casa do Eletricista, c2022. Cabo Flexível HEPR 1kV 10,0mm<sup>2</sup> Preto Corfio/Cobrecom/SIL/SCCABLE – metro. Disponível em: < https://www.casadoeletricistasc.com.br/cabo-flexivel-hepr-1kv-10-0mm2-preto-corfio-cobrecom-sil-sccable-metro/p/3796?c=16&t=12&gclid=Cj0KCQiA1NebBhDDARIsAANiDD0cpeKPCjjzhfdUdz4 >

cd-vwDAvl8MRH1g0n0rbc\_hMC2C33yk5SeXQaAs2xEALw\_wcB>. Acesso em: 17 nov. 2022.

CARAJAS MATERIAL DE CONSTRUCAO LTDA. Carajás, 2022. Cabo Flexível 2,5MM 50 Metros Preto SIL Fios. Disponível em: <[https://www.carajas.com.br/cabo-flexivel-2-5mm-50-metros-preto-sil-fios-500224978/p?region\\_id=000101&gclid=Cj0KCQIA1NebBhDDARIsAANiDD17VQJxuiWeN7n6V\\_5KF7iM2JNXPvewQniyn1DGra6Hh3f3inJaa9caAmu0EALw\\_wcB](https://www.carajas.com.br/cabo-flexivel-2-5mm-50-metros-preto-sil-fios-500224978/p?region_id=000101&gclid=Cj0KCQIA1NebBhDDARIsAANiDD17VQJxuiWeN7n6V_5KF7iM2JNXPvewQniyn1DGra6Hh3f3inJaa9caAmu0EALw_wcB)>. Acesso em: 17 nov. 2022.

CARAJAS MATERIAL DE CONSTRUCAO LTDA. Carajás, 2022. Cabo Flexível 2,5MM 50 Metros 750V Vermelho SIL Fios. Disponível em: <[https://www.carajas.com.br/cabo-flexivel-2-5mm-50-metros-750v-vermelho-sil-fios-011201061/p?region\\_id=000101&gclid=Cj0KCQIA1NebBhDDARIsAANiDD1tkEyvNkKq0\\_VIOaX\\_gyGyCTWP6EPWyJ-DasQpuachiOUk8m1qJVcaApxgEALw\\_wcB](https://www.carajas.com.br/cabo-flexivel-2-5mm-50-metros-750v-vermelho-sil-fios-011201061/p?region_id=000101&gclid=Cj0KCQIA1NebBhDDARIsAANiDD1tkEyvNkKq0_VIOaX_gyGyCTWP6EPWyJ-DasQpuachiOUk8m1qJVcaApxgEALw_wcB)>. Acesso em: 17 nov. 2022.

CARAJAS MATERIAL DE CONSTRUCAO LTDA. Carajás, 2022. Curva 90 para Eletroduto Tigre Pesado 1/2". Disponível em: <[https://www.carajas.com.br/curva-90-para-eletroduto-tigre-pesado-1-2--011001194/p?region\\_id=000101&gclid=Cj0KCQIA1NebBhDDARIsAANiDD3m1zngILcTFEk1uWodADmJMnzokvqIYxHuKIQjb-zEmEOgD\\_vM7HsaAmiBEALw\\_wcB](https://www.carajas.com.br/curva-90-para-eletroduto-tigre-pesado-1-2--011001194/p?region_id=000101&gclid=Cj0KCQIA1NebBhDDARIsAANiDD3m1zngILcTFEk1uWodADmJMnzokvqIYxHuKIQjb-zEmEOgD_vM7HsaAmiBEALw_wcB)>. Acesso em: 17 nov. 2022.

CHAND, A.A; AREFIN, S. A. S. M; ISLAM, F. R; PRASAD, K. A; SINGH, S.; CIRRICIONE, M.; MAMUN, K. A. Design simulation of a novel fluid based footstep energy harvesting system. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, Elsevier Ltd, v. 39, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100708>>.

COMISSÃO EUROPEIA. **Cidades para bicicletas, cidades de futuro**. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2000. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling\\_pt.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_pt.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2022.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). **Resolução N° 947**, 2022. Brasília. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao9472022.pdf>>. Acesso em 25 nov. 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução N° 401**, 2008. Brasília. Disponível em: <[http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=570](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=570)>. Acesso em: 25 nov. 2022.

DIAS, Edson da Silva; KARASINSKI, Carlos Alberto. **Guia para Aplicação e Manutenção de Banco de Baterias**. 194 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Cefet-PR, Curitiba, 2003.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. 2 Pares Pastilha Freio Disco Bike Compatível Shimano Tektro. Disponível em: < encurtador.com.br/xyzDE>. Acesso em: 18 nov. 2022.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. Bateria De Lítio Para Bicicleta Elétrica 350w 36v. Disponível em: < encurtador.com.br/dpMR4>. Acesso em: 18 nov. 2022.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. Bicicleta Elétrica Sonny Motor 350w Bateria De Lítio. Disponível em: <encurtador.com.br/bnMVY>. Acesso em: 16 nov. 2022.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. Catraca Bicicleta Roda Livre Bike 16 Dentes Esferada Dourada. Disponível em: < https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1896056191-catraca-bicicleta-roda-livre-bike-16-dentes-esferada-dourada-\_JM#position=1&search\_layout=stack&type=item&tracking\_id=74ed62de-373d-4a49-9ea4-171010de6c99>. Acesso em: 18 nov. 2022.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. Corrente Comum Tec Grossa Bicicleta Monark Caloi. Disponível em: < https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2652401940-corrente-comum-tec-grossa-bicicleta-monark-caloi-\_JM#position=5&search\_layout=stack&type=item&tracking\_id=58fedeed-75b7-4049-883d-3145eda72b7e>. Acesso em: 18 nov. 2022.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. Fio Cabinho Flexível Cobre 0,50mm Rolos Com 25m – Cores. Disponível em: < encurtador.com.br/mBG57>. Acesso em: 17 nov. 2022.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. Fita Anti Furo Mtb Aro 20 24 26 31mm Unidade – Tectire. Disponível em: < encurtador.com.br/gjtN0>. Acesso em: 16 nov. 2022.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. Fonte Carregador Bicicleta Sonny 350w Bikelete. Disponível em: < https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2626674097-fonte-carregador-bicicleta-sonny-350w-bikelete-\_JM>. Acesso em: 16 nov. 2022.

EBAZAR.COM.BR LTDA. Mercado Livre, c2022. Par Pneu Bicicleta Praieiro Levorin Aro 24x1.95 Urbano Balão. Disponível em: < https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1871032596-par-pneu-bicicleta-praieiro-levorin-aro-24x195-urbano-balo-\_JM#position=5&search\_layout=stack&type=item&tracking\_id=1b2e2c81-bcf1-4c03-82b4-4db96a3f63c7>. Acesso em: 18 nov. 2022.

ENERGIA TOTAL IND. COM. EQUIP. ENERGIA SOLAR EIRELI. Energia Total: Energia Solar, c2022. Bateria Estacionária Moura Solar 12MS234 - 220Ah. Disponível em: < https://www.energiatotal.com.br/baterias/bateria-solar-moura-12ms234-estacionaria-647?gclid=Cj0KCQiA1NebBhDDARIsAANiDD0Iwaf6A9Y1LDpFfbceUgxzaC9yC4oq7fYhNlChK6EIAOcqDamYD4saAq3oEALw\_weB>. Acesso em: 16 nov. 2022

GENERAL WINGS. **Noções Básicas**. 12f. São Paulo. Disponível em: <https://www.generalwings.com.br/pdfs/Nocoebasicas.pdf.>. Acesso em: 17 out. 2022.

GESTORA PARA RESIDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRONICOS NACIONAL - GREEN ELETRON. Green Eletron: gestora de logística reversa, c2022. Página inicial. Disponível em: <<https://greeneletron.org.br/>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. 2ª ed., Coleção Schaum. Editora: Bookman, 2009.

HALMEMAN, R. J. **Desenvolvimento de um sistema para monitoramento remoto em centrais de microgeração fotovoltaica**. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2014.

HAYDONKERK. DC Brush Commutated vs Brushless Motors, 2022. Disponível em: <<https://www.haydonkerkpittman.com/learningzone/whitepapers/dc-brush-commutated-vs-brushless-motors>>. Acesso em: 18 out. 2022.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **60947-1 Low-voltage switchgear and control gear - Part 1: General rules**. 2001. 3.2, [s.n.], Geneva, 2001. IEC. **Electrical Energy Storage**. [S.l.]: IEC, 2011. 78 f. Disponível em: <<https://www.iec.ch/basecamp/electrical-energy-storage>>. Acesso em: 15 out. 2022.

LEROY MERLIN COMPANHIA BRASILEIRA DE BRICOLAGEM. Leroy Merlin, c2022. Cabo Flexível 2,5mm 50Metros Verde 750V SIL Fios. Disponível em: <[https://www.leroymerlin.com.br/cabo-flexivel--2,5mm-50metros-verde-750v-sil-fios\\_86840495?store\\_code=38&gclid=Cj0KCCQiAg\\_KbBhDLARIsANx7wAxQq6Zfn0uOJysP5n-\\_X5NV11WiGsOWcJxsV3TK8C7bHmlaq5tDfZ0aAka4EALw\\_wcB](https://www.leroymerlin.com.br/cabo-flexivel--2,5mm-50metros-verde-750v-sil-fios_86840495?store_code=38&gclid=Cj0KCCQiAg_KbBhDLARIsANx7wAxQq6Zfn0uOJysP5n-_X5NV11WiGsOWcJxsV3TK8C7bHmlaq5tDfZ0aAka4EALw_wcB)>. Acesso em: 22 nov. 2022.

LEROY MERLIN COMPANHIA BRASILEIRA DE BRICOLAGEM. Leroy Merlin, c2022. Eletroduto Rígido PVC Antichamas 1/2" Preto com Rosca 3 Metros Tigre. Disponível em: <[https://www.leroymerlin.com.br/eletroduto-rigido-pvc-antichamas-1-2-preto-com-rosca-3-metros-tigre\\_85275834?store\\_code=38&gclid=Cj0KCCQiA1NebBhDDARIsAANiDD2j0NCVpYNoBJFeWbQoC7JBRfgfkz8J9AW3xfKaPGuIS8ze9PIP0-gaAv7YEALw\\_wcB](https://www.leroymerlin.com.br/eletroduto-rigido-pvc-antichamas-1-2-preto-com-rosca-3-metros-tigre_85275834?store_code=38&gclid=Cj0KCCQiA1NebBhDDARIsAANiDD2j0NCVpYNoBJFeWbQoC7JBRfgfkz8J9AW3xfKaPGuIS8ze9PIP0-gaAv7YEALw_wcB)>. Acesso em: 17 nov. 2022.

LEROY MERLIN COMPANHIA BRASILEIRA DE BRICOLAGEM. Leroy Merlin, c2022. Eletroduto Rígido PVC Antichamas 1" Preto 3 Metros com Rosca Tigre. Disponível em: <[https://www.leroymerlin.com.br/eletroduto-rigido-pvc-antichamas-1-preto-3-metros-com-rosca-tigre\\_86821042?store\\_code=38&gclid=Cj0KCCQiA1NebBhDDARIsAANiDD0bQb10EqN073y-rFBC2GogX0yHWih3b-YNbDsVdc8C4VccOp9PPxEaAtvkEALw\\_wcB](https://www.leroymerlin.com.br/eletroduto-rigido-pvc-antichamas-1-preto-3-metros-com-rosca-tigre_86821042?store_code=38&gclid=Cj0KCCQiA1NebBhDDARIsAANiDD0bQb10EqN073y-rFBC2GogX0yHWih3b-YNbDsVdc8C4VccOp9PPxEaAtvkEALw_wcB)>. Acesso em: 17 nov. 2022.

LOMBARDO, Tom. **Power Walking with Energy Floors**, 2013. Missisauga, ontario. Disponível em: <<https://www.engineering.com/story/power-walking-with-energy-floors>>. Acesso em: 28 nov. 2022

MAGAZINE LUIZA S/A. Magalu, c2022. Bicicleta Elétrica Bikelete Sonny 350w. Disponível em: <<https://www.magazineluiza.com.br/bicicleta-eletrica-bikelete-sonny-350w/p/ca9d71jfb4/es/bimo/>>. Acesso em: 16 nov. 2022.



MECTRONIC. Mec-Tronic Components, 2022. Tomada 2P+T 10A/250V~ com placa Horizontal Petra (39032) - Linha Petra. Disponível em: < [https://loja.mectronic.com.br/tom-2p-t-nbr14136-10a-250v-c-pl-horz-pet/p?gclid=Cj0KCCQiAsdKbBhDHARIsANJ6-jdrtYyHvk43xoo-ZYWFVdQAPuzucmJkwCYCjVuvzAsQZJFrrJzcQnoaAaquqEALw\\_wcB](https://loja.mectronic.com.br/tom-2p-t-nbr14136-10a-250v-c-pl-horz-pet/p?gclid=Cj0KCCQiAsdKbBhDHARIsANJ6-jdrtYyHvk43xoo-ZYWFVdQAPuzucmJkwCYCjVuvzAsQZJFrrJzcQnoaAaquqEALw_wcB)>. Acesso em: 17 nov. 2022.

MORAES, Paulo Mário dos Santos Dias de. **Controle Eletrônico de Corrente da Bobina de Contatores Eletromagnéticos**. pp. 1-120. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MOURA BATERIAS AUTOMOTIVAS E INDUSTRIAIS - COMERCIO, EXPORTACAO E IMPORTACAO LTDA. **Logística Reversa: Na reciclagem, a sua energia é essencial**. 4p. Pernambuco. Disponível em:< <https://s34918.pcdn.co/wp-content/uploads/2016/09/Cartilha-Sustentabilidade-Folder-PAM.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MOUSSA, Rania Rushdy (2019). **The Effect of PiezoBumps on Energy Generation and Reduction of the Global Carbon Emissions**. WSEAS Transactions on Environment and Development. pp. 430-437. Disponível em: <<https://www.wseas.org/multimedia/journals/environment/2019/a905115-474.pdf>> Acesso em 20 out. 2022

NEOSOLAR. neosolar, 2022. Painel Solar Fotovoltaico 550W - OSDA ODA550-36V-MH. Disponível em: <[https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-550w-osda-oda-550-36v-mh.html?gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7-LU2Qf97Y\\_xQW6fzQ9G7arAeT1VyQuA\\_Sp8D0vyiZoJVHztLBQ9MBoCt2EQAvD\\_BwE](https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-550w-osda-oda-550-36v-mh.html?gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7-LU2Qf97Y_xQW6fzQ9G7arAeT1VyQuA_Sp8D0vyiZoJVHztLBQ9MBoCt2EQAvD_BwE)>. Acesso em: 19 nov. 2022.

OGGI. oggibikes, c2022. E-Bike Lite Tour E-500. Disponível em:<<https://oggibikes.com.br/bike/lite-tour-e-500/>>. Acesso em: 18 out. 2022

PEGORETTI, Ivan. **Manual técnico: linha estacionária Moura VRLA**. Pernambuco, 2020. 46p. Disponível em: <[https://www.moura.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Manual\\_de\\_Instalac%CC%A7a%CC%83o\\_e\\_Operac%CC%A7a%CC%83o\\_Moura\\_Estaciona%CC%81ria\\_VRLA\\_%E2%80%93\\_Se%CC%81rie\\_MVA\\_Versa%CC%83o\\_V3\\_03\\_JANEIRO\\_2020\\_ANATEL.pdf](https://www.moura.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Manual_de_Instalac%CC%A7a%CC%83o_e_Operac%CC%A7a%CC%83o_Moura_Estaciona%CC%81ria_VRLA_%E2%80%93_Se%CC%81rie_MVA_Versa%CC%83o_V3_03_JANEIRO_2020_ANATEL.pdf)>. Acesso em: 9 nov. 2022.

R TIMBO PAIVA BIKE EIRELI. Timbó Bike Store, 2022. Lubrificante multiuso 60ml algoó. Disponível em: < <https://www.timbobikestore.com.br/manutencao/lubrificante/lubrificante-multiuso-60-ml-algoo>>. Acesso em: 18 nov. 2022.

ROMÃO, Débora Cristina de Freitas; SERRA, Juan Carlos Valdés. Panorama da reciclagem de pilhas e baterias no Brasil e no mundo. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 12, p 67-75, 2020. ISSN 2176-7270. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/14735/209209213410>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

SHOPEE. Shopee, c2022. Coroa Engrenagem Bicicleta 40 Dentes Aço Preto. Disponível em: < <https://shopee.com.br/Coroa-Engrenagem-Bicicleta-40-Dentes-A%C3%A7o-Preto-i.289805978.10929321043>>. Acesso em: 18 nov. 2022.

SILVA, Marcelo Henrique Carvalho. **Estado da arte da utilização de baterias em veículos elétricos**. pp. 1-67. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2019.

TUDOR. **Estacionária: Baterias para profissional**, 2018. Disponível em: <[tudor.com.br/assets/upload/layout\\_catalogo\\_tudor\\_estacionarias.pdf](http://tudor.com.br/assets/upload/layout_catalogo_tudor_estacionarias.pdf)>. Acesso em: 27 novembro 2022.

YANOCHA, D.; MASON, J.; PATLÁN, M.; BENICCHIO, T.; ALFRED, U. L. **Guia de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas**. Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), 2018, 63p. Disponível em: <[http://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2019/05/2-BSPG\\_Portugu%C3%AAs-1.pdf](http://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2019/05/2-BSPG_Portugu%C3%AAs-1.pdf)>. Acesso em: 6 nov. 2022.