

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BIANCA DE ALMEIDA RAMOS

BRUNO VALENTE COSTA

JÉSSICA BUENO BUSCH

**GERAÇÃO DE ENERGIA ALTERNATIVA POR FORMAS NÃO
CONVENCIONAIS VIA IMÃS DE NEODÍMIO**

VOLTA REDONDA/RJ

2020

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**GERAÇÃO DE ENERGIA ALTERNATIVA POR FORMAS NÃO
CONVENCIONAIS VIA IMÃS DE NEODÍMIO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito parcial à obtenção do Título de Engenheiro Ambiental.

Alunos:

Bianca de Almeida Ramos

Bruno Valente Costa

Jéssica Bueno Busch

Orientadora: Prof.^a Dra. Cirlene Fourquet
Bandeira

Coorientador: Prof. Dr. Valmir Pereira

VOLTA REDONDA/RJ

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

GERAÇÃO DE ENERGIA ALTERNATIVA POR FORMAS NÃO CONVENCIONAIS VIA IMÃS DE NEODÍMIO

Elaborado por **BIANCA DE ALMEIDA RAMOS / 201610167**, **BRUNO VALENTE COSTA / 201610168** e **JÉSSICA BUENO BUSCH / 201520191** apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso Engenharia Ambiental.

Aprovada em 04 de novembro de 2020.

Banca Avaliadora:



Professor Orientador

Círcio Faquet Bandeira, Doutor, UNFOA



Professor Avaliador

Ana Carolina Callegari Pereira, Doutora, UNFOA



Professor Avaliador

Sérgio Roberto Monteiro, Doutor, UNFOA

Dedico esta monografia a nossas famílias e nossos amigos, por todo apoio e força que sempre nos deram.

Bianca de Almeida Ramos

Dedico essa monografia àqueles que sempre nos incentivaram e que sempre estiveram ao nosso lado.

Bruno Valente Costa

Dedico esta monografia as nossas mães, nossos avós e nossas tias, que sempre nos apoiaram nos nossos sonhos e projetos.

Jéssica Bueno Busch

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos dado força para superar nossas dificuldades.

Aos nossos pais e familiares por sempre acreditarem em nossos sonhos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional ao longo da nossa trajetória.

A nossa orientadora Cirlene Fourquet Bandeira por todo o apoio para que esse trabalho fosse concretizado. Agradecemos a paciência, a atenção e todo o conhecimento fornecido.

Ao nosso Coorientador Valmir Pereira por todo conhecimento que agregou para realização do projeto.

À instituição de ensino UniFOA, seu corpo docente, direção e administração pela oportunidade de expandir nossos horizontes.

Nosso agradecimento especial ao corpo docente da Engenharia Ambiental por todos os ensinamentos, paciência e apoio que agregou grandiosamente na nossa vida profissional e pessoal.

Nosso agradecimento a todos os nossos amigos, que deram uma contribuição valiosa para a nossa jornada acadêmica. Que através de palavras de apoio foram nosso sustento em momentos difíceis.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização dessa pesquisa e contribuíram para a conclusão de mais uma etapa de nossas vidas

Aos nossos amigos de turma, que nos acompanharam nessa longa jornada acadêmica e foram essenciais para a conclusão de mais uma etapa de nossas vidas.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo” (Albert Einstein).

RESUMO

A busca por geração de energia alternativa, que cause menos danos ao meio ambiente e seja proveniente de fontes renováveis e sustentáveis, é cada vez maior. O aumento demográfico das últimas décadas, somado à projeção do aumento da população mundial para os próximos anos, demonstra que esta busca deve se intensificar a curto prazo. Outro grande aspecto a ser levado em conta no cenário mundial são os resíduos eletroeletrônicos, especialmente os que são dispostos de forma inapropriada em aterros não licenciados (lixões). Estes resíduos têm causado impactos prejudiciais em termos econômicos, ambientais e na saúde. Entretanto, estes materiais de origem eletroeletrônica, são passíveis de reciclagem, total ou parcial. Tendo em vista estes dois tópicos, a questão central é: como reaproveitar estes resíduos para fabricação de energia alternativa? Dentro deste escopo, os ímãs neodímio, localizados nos discos rígidos de computadores, vêm se destacando como uma potencial fonte para geração de energia em centrais eólicas. Sendo assim, este estudo tem como objetivo um estudo preliminar que permitirá a futura elaboração de um manual para montagem de um aerogerador que emprega ímãs de neodímio reciclados de resíduos eletrônicos. Além disto, as quantidades de energia produzida devem ser estimadas e o valor deverá atender a uma demanda mínima estipulada por cada montador, para ser economicamente viável. Com esses dados, é possível a estruturação de um manual para a montagem e avaliação do sistema proposto com as devidas partes integrantes.

Palavras – chave: Resíduos, Reaproveitamento, Disco rígido, Energia eólica, Aerogerador, Gerador torus.

ABSTRACT

The search for an alternative energy source with a lesser environmental damage and provided by renewable and sustainable sources increases along time. The demographic growth for the last decades, added to the population growth projection for the next years show that this search must intensify on a short term. Another huge aspect to be taken in consideration are the electronic wastes on a worldwide basis, specially the ones inappropriately disposed of in unlicensed landfills ("lixões"). This wastes has been generating damages economic, environmental and healthwise. Although this materials are capable of being recycled totally or partialy. Bearing in mind these two topics, the main question is: How to reuse this wastes as a source of energy? Within this scope the neodymium magnets placed in a computer's hard disk are being pointed out as a potential source for wind farms. Therefore this study has as a goal to elaborate a manual on how to assembly a wind turbine made of recycled neodymium magnets. In addition, the amount of energy produced must be estimated and their value must attend a minimum amount stipulated by each assembler to be economically viable. Using this data, it's possible to create a guide to build and evaluate the purposed system.

Keywords: Energy, Neodymium magnet, Waste, Reuse, Hard disk.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Distribuição das vendas de eletroeletrônicos no Brasil (2010)..... | 20 |
| Figura 2 - Recicladoras de REEs atuantes no Brasil (2013). | 22 |
| Figura 3 - Ciclo de vida de produtos eletroeletrônicos. | 23 |
| Figura 4 - Vistas frontal e lateral de um aerogerador com eixo de rotor horizontal, sendo a imagem (b) focando na incidência do vento nas pás..... | 32 |
| Figura 5 - Principais componentes de um aerogerador de eixo horizontal..... | 33 |
| Figura 6 - Classificação dos rotores quanto à sua orientação: (a) Upwind e (b) Downwind..... | 35 |
| Figura 7 - Modelos de turbinas de eixo vertical. | 36 |
| Figura 8 - Experimento de Oersted. O circuito (a) está aberto, sem a passagem de corrente elétrica. A agulha magnética se encontra em paralelo ao sentido do fio. O circuito (b) está fechado, permitindo a passagem de corrente elétrica. A agulha magnética se encontra em perpendicular ao sentido do fio. | 41 |
| Figura 9 - Experimento de FARADAY. a) o ímã se encontra centralizado a hélice. Não apresentando alteração na agulha do galvanômetro; (b) o ímã se encontra completamente deslocado no sentido esquerdo da hélice, gerando uma alteração na agulha do galvanômetro; (c) o ímã se encontra completamente deslocado no sentido direito da hélice, gerando uma alteração na agulha do galvanômetro. | 42 |
| Figura 10 - Linhas de campo em uma superfície. | 43 |
| Figura 11 – Desenho representativo de uma máquina com fluxo radial..... | 44 |
| Figura 12 - Composição da máquina de torus, em foco os rotores e o estator | 46 |
| Figura 13 - Gerador torus com enfoque na presença dos núcleos toroidais. | 47 |
| Figura 14 – Distribuição de fluxo magnético na máquina: fluxo no entreferro no sentido axial para ímãs e mesma polaridade alinhada. | 47 |
| Figura 15 - Representação da máquina de torus. | 48 |
| Figura 16 - Visão jj da máquina de torus. | 49 |
| Figura 17 - Representação da máquina de torus. | 57 |
| Figura 18 - Representação da posição dos ímãs na máquina de Torus | 57 |
| Figura 19 - Aerogerador de Savonius e suas peças. | 60 |
| Figura 20 - Gerador montado..... | 61 |
| Figura 21 - Rotor montado. | 61 |
| Figura 22 - Composição do rotor..... | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 23 - Caixa de engrenagens | 63 |
| Figura 24 - Gerador e caixa de engrenagens..... | 63 |
| Figura 25 - Hélice de Savonius. | 64 |
| Figura 26 - Velocidade média anual do vento a 30 metros de altura | 84 |
| Figura 27 - Velocidade média anual do vento a 50 metros de altura | 85 |
| Figura 28 - Velocidade média anual do vento a 80 metros de altura | 86 |

LISTA DE FLUXOGRAMA

| | |
|---|----|
| Fluxograma 1 - Processo de montagem de uma máquina de fluxo axial. | 45 |
| Fluxograma 2 - Esquema metodológico..... | 54 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Evolução da demanda energética e da população mundial | 37 |
| Gráfico 2 - Matriz Energética Mundial em 2016. | 37 |
| Gráfico 3 - Matriz Elétrica Mundial 2016..... | 38 |
| Gráfico 4 - Matriz Energética Brasileira 2017..... | 39 |
| Gráfico 5 - Participação de fontes alternativas na matriz energética Mundial e Brasileira | 39 |
| Gráfico 6 - Matriz Elétrica Brasileira de 2018 | 40 |
| Gráfico 7 - Aumento da matriz elétrica com a participação de fontes alternativas no ano de 2018 | 40 |
| Gráfico 8 - Avanço histórico do produto de energia máximo | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Composição média de metais em sucatas de equipamentos eletroeletrônicos..... | 19 |
| Tabela 2 - Média da composição em ímãs..... | 50 |
| Tabela 3 - Especificações das grades de ímãs de neodímio..... | 51 |
| Tabela 4 - Dimensionamento do gerador..... | 58 |
| Tabela 5 - Dimensionamento do aerogerador..... | 59 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Histórico dos aspectos legais | 25 |
| Quadro 2 - Resumo dos potenciais danos causados ao meio ambiente e á saúde humana pelos principais resíduos contidos no resíduo eletroeletrônico..... | 27 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 1.1 Problemática | 16 |
| 1.2 Justificativa | 16 |
| 1.3 Estratégia de pesquisa..... | 16 |
| 1.4 Estrutura do projeto..... | 17 |
| 1.5 Objetivo geral..... | 17 |
| 1.6 Objetivos específicos | 17 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 18 |
| 2.1 Resíduos eletroeletrônicos..... | 18 |
| 2.1.1 Resíduos eletroeletrônicos no mundo..... | 19 |
| 2.1.2 Resíduos eletroeletrônicos no Brasil..... | 20 |
| 2.1.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos | 23 |
| 2.1.4 Principais problemas causados pelos Resíduos Eletroeletrônicos a saúde humana e ao meio ambiente | 26 |
| 2.2 Energia, sociedade e meio ambiente | 28 |
| 2.3 Energias alternativas e energias renováveis..... | 29 |
| 2.3.1 Energia eólica | 30 |
| 2.3.2 Regime dos ventos | 31 |
| 2.3.3 Aerogerador horizontal | 31 |
| 2.3.3.1 Componentes de um aerogerador de eixo horizontal | 32 |
| 2.3.4 Aerogerador vertical..... | 35 |
| 2.4 Setor energético no Mundo..... | 36 |
| 2.5 Setor energético no Brasil..... | 38 |
| 2.6 Geração de Energia..... | 41 |
| 2.6.1 Circuito Eletromagnético..... | 41 |
| 2.6.1.1. Experimento De Oersted | 41 |
| 2.6.1.2. Lei De Faraday | 42 |
| 2.6.1.3. Lei De Lenz..... | 43 |
| 2.7 Máquina elétrica..... | 44 |
| 2.7.1 Máquina elétrica de fluxo magnético radial | 44 |
| 2.7.2 Máquina elétrica de fluxo magnético axial | 45 |
| 2.7.2.1 Máquina de fluxo magnético axial com núcleo toroidal..... | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 2.7.2.1.1 Máquina torus..... | 49 |
| 2.8 Imãs de Neodímio | 49 |
| 3 METODOLOGIA | 53 |
| 3.1 Manual do aerogerador..... | 54 |
| 3.1.1 Cálculos de carga | 54 |
| 3.1.2 Composição do gerador de fluxo axial - torus..... | 56 |
| 3.1.3 Composição do aerogerador de eixo vertical..... | 58 |
| 3.2 Passos para montagem do manual do gerador | 60 |
| 4 ANÁLISES E DISCUSSÕES | 65 |
| 4.1 Protótipo do gerador eólico | 65 |
| 4.1.1 Rotor dos aerogeradores | 65 |
| 4.1.2 Eixo do rotor vertical | 65 |
| 4.1.3 Máquina de imãs permanentes - Gerador..... | 66 |
| 5 CONCLUSÃO | 67 |
| 6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS | 68 |
| 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA | 69 |
| 8 APÊNDICES | 84 |
| Apêndice 1 – Potencial Eólico Brasileiro | 84 |

1 INTRODUÇÃO

Entre os séculos XVI e XVII, período em que compreendeu a revolução industrial, a madeira, principal fonte energética utilizada até então, deu lugar aos combustíveis fósseis, principalmente ao carvão mineral (HOSSAIN *et al* 2008).

A demanda de combustíveis fósseis cresceu e ganhou força no último século com o aumento populacional e do consumo de bens que utilizam, principalmente, energia elétrica como força motriz (MMA, 2005).

Entretanto, com o passar dos anos e com o aumento do consumo, outras formas de se obter energia foram sendo incorporadas ao cotidiano das populações (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

A maioria da energia consumida no planeta é obtida por meio de fontes fósseis não renováveis, que além de se esgotarem com o tempo, geram emissões de poluentes causando efeito estufa e outros problemas de cunho ambiental (ANEEL, 2020; GOLDEMBERG; LUCON, 2007; MMA, 2005).

Em face disto, é evidente que o crescimento da base energética instalada não pode ser dissociado de cautelas ambientais. Sendo assim, muitos pesquisadores, ambientalistas, setores governamentais ou comunidades de todo o planeta vem tentando encontrar alternativas energéticas que minimizem ou eliminem a drenagem dos recursos naturais, sendo, portanto, renováveis. Atualmente os países vêm buscando matrizes energéticas alternativas (ALVES, 2006).

Dentre os diversos setores energéticos presentes no Brasil, destaca-se o setor hidrelétrico, responsável pela geração de mais de 60% da energia total (ANEEL, 2020).

A porcentagem de energia renovável nacional é positiva se comparado a outros países, ocupando cerca de 61% de acordo com o último boletim da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2020). A quase totalidade desta energia é proveniente da matriz hídrica. Entretanto, outras fontes geradoras de energia elétrica renováveis vêm crescendo sua participação no mercado elétrico brasileiro. Dentre estas pode-se destacar a energia eólica que representa cerca de 9,05% da energia total fabricada no Brasil (ANEEL, 2020).

Outro ponto a ser destacado é o aumento do consumo de bens que, também, tem causado, além de uma demanda energética, a geração de resíduos e

consequente degradação ambiental. Os computadores, *laptops* e celulares abrangem a categoria dos resíduos eletroeletrônicos (REE's), se enquadrando na categoria dos Resíduos Sólidos Urbanos (SILVA, 2012; BORSOI et al., 1997).

Estes REE's, os quais crescem em taxas elevadas, possuem composição extremamente diversificada, sendo esta composição química, em grande maioria, integrada por uma mistura de metais, particularmente cobre, alumínio e ferro, ligados, cobertos ou misturados a vários tipos de plásticos e cerâmicas. (HOFFMANN, 1992).

Estes equipamentos possuem em seus discos rígidos a presença de ímãs de neodímio que são formados por uma liga de Nd-Fe-B (neodímio, ferro e boro), apresentando grande potencial para a geração de energia devido a sua propriedade magnética, principalmente em geradores de centrais eólicas. No entanto, boa parte deste material não vem sendo reaproveitado, sendo disposto em aterros ou lixões e causando danos ambientais (HUMPHRIES, 2012; SILVA, 2012; SOARES, 2005).

Desta forma, verifica-se a crescente necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias que permitam o reuso e a reciclagem dos REE's e também da geração de energia alternativa de baixo custo. Devido a isto, o objetivo deste trabalho de conclusão de curso é o de fazer um levantamento bibliográfico para o desenvolvimento de um manual que visa a montagem de um aerogerador vertical, através do reaproveitamento de ímãs de neodímio. Assim, a proposta do trabalho apresentará uma solução para os dois problemas ora apresentados, ou seja, a reciclagem dos REE's e a geração de energia alternativa.

1.1 Problemática

Neste cenário, muitos países estão encontrando dificuldades para suprir a demanda, cada dia maior, de energia de suas populações e, ao mesmo tempo, fornecer recursos de origem energética para suprir seu crescimento econômico. Além disto, os problemas ambientais, decorrentes ou não, da geração de energia elétrica oriunda de processos que utilizam os combustíveis fósseis ou nuclear, vem se agravando (JANNUZZI, 2005).

Com isto, muitos pesquisadores e grupos interessados em conhecer o comportamento dos usuários e com isto, criar mecanismos que promovam o uso mais consciente da energia nos diferentes setores de forma a otimizar o uso de energia pela sociedade, bem como criar novas formas de geração de energia menos poluente e minimizar os descartes de materiais, especialmente os de fonte eletroeletrônicas, vêm trabalhando incansavelmente (JANNUZZI, 2005).

No entanto, a questão principal desta pesquisa é, como reaproveitar os ímãs de neodímio e ao mesmo tempo produzir energia alternativa através de um gerador eólico?

1.2 Justificativa

O trabalho se justifica nos âmbitos:

- econômico, visto que gera renda para população em estado de pobreza extrema que trabalham com a coleta de resíduos eletrônicos;
- ambiental, pois minimiza o descarte e impacto dos resíduos eletroeletrônicos, além de gerar eletricidade menos poluente;
- social, uma vez que, com a diminuição dos descartes, a proliferação de vetores é mitigada e o ambiente apresenta maior qualidade.

1.3 Estratégia de pesquisa

O estudo possui um objetivo descritivo e procedimento de cunho teórico, tendo como base uma vasta pesquisa em artigos, teses e revistas especializadas para a

montagem do manual de um aerogerador que contempla o desenvolvimento de um protótipo e mensuração estimada da energia gerada.

1.4 Estrutura do projeto

O projeto foi montado de forma a inicialmente desenvolver, por meio de pesquisa, todo o embasamento teórico necessário.

Na sequência, esquemáticos que demonstrem a montagem do protótipo foram feitos e finalmente o dimensionamento da energia foi calculado.

Além disto, conclusões e trabalhos futuros foram feitos.

1.5 Objetivo geral

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal fazer um levantamento bibliográfico que visa permitir a futura montar de um manual de gerador eólico, que utilize ímãs de neodímio, para a geração de energia alternativa.

1.6 Objetivos específicos

Os principais objetivos específicos são:

- Dar subsídios para mitigação do descarte de materiais eletroeletrônico;
- Proporcionar formas de amenizar os impactos ambientais;
- Contribuir com o desenvolvimento tecnológico em centro urbanos e formação de mão-de-obra especializada na área de geração de energias alternativas não convencionais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos eletroeletrônicos

Segundo a ABDI (2013), os equipamentos eletroeletrônicos são aqueles cujo funcionamento necessita do uso de corrente elétrica ou de algum campo eletromagnético. Eles podem ser classificados em quatro categorias amplas:

- Linha Branca: congeladores e refrigeradores, secadoras, lavadoras de louça e roupa, condicionadores de ar, fogões;
- Linha Marrom: televisores e monitores de tubo, LED e LCD, plasma, equipamentos de áudio, filmadoras, aparelhos de VHS e DVD;
- Linha Azul: ferros elétricos, batedeiras, furadeiras, liquidificadores, espremedores de frutas, secadores de cabelo, cafeteiras, aspiradores de pó;
- Linha Verde: computadores laptops e desktop, acessórios de informática, telefones celulares e tablets.

E ao final da sua vida útil, esses produtos passam a ser classificados como resíduos eletroeletrônicos (REEs). Neste contexto se englobam todos os elementos, partes e os materiais constituintes do produto descartado.

A rápida obsolescência de equipamentos eletrônicos aos quais geram REEs inclui em seu rol, entre outros, computadores e os eletrodomésticos que são formados por materiais diversos que englobam desde substâncias simples até polímeros (GUERIN, 2008).

Dentre as substâncias presentes, os metais são os mais abundantes e chegam a representar 70% de sua composição, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Composição média de metais em sucatas de equipamentos eletroeletrônicos.

| Componente | Porcentagem (%) |
|------------------------------------|------------------------|
| Ferro | Entre 35 e 40 |
| Cobre | 17 |
| Fibras e plásticos | 15 |
| Alumínio | 7 |
| Papel e embalagem | 5 |
| Zinco | Entre 4 e 5 |
| Placas de circuito impresso | 3,1 |
| Resíduos não recicláveis | Entre 3 e 5 |
| Chumbo | Entre 2 e 3 |
| Ouro | 0,0002 a 0,0003 |
| Prata | 0,0003 a 0,001 |
| Platina | 0,00003 a 0,00007 |

Fonte: adaptado de OLIVEIRA; GERBASE, (2012); RODRIGUES, (2008).

2.1.1 Resíduos eletroeletrônicos no mundo

Em 2016 foram produzidas 44,7 milhões de toneladas métricas de resíduos eletroeletrônicos, que equivalem a um aumento de 8% em relação a 2014. No mesmo ano, apenas 20%, cerca de 8,9 milhões de toneladas métricas, de todo os REEs foram reciclados (ONU, 2018). Em 2017, foram produzidos a mesma ordem de grandeza de REEs, o que equivale a aproximadamente 6 quilos por habitante do planeta (ONU, 2019).

De acordo com as tendências de aumento do consumo e conseqüente aumento no descarte, alguns especialistas preveem que pode haver um crescimento superior a 17% do total de resíduos eletroeletrônicos produzidos, chegando a 52,2 milhões de toneladas métricas em 2021 (ONU, 2018).

O relatório da PACE (Plataforma para Aceleração da Economia Circular) e da Coalizão das Nações Unidas sobre Resíduo Eletrônico, divulgado na cidade de Davos - Suíça, em janeiro de 2019, descreve que o nível de produção de resíduo eletrônico em todo o planeta, deverá alcançar 120 milhões de toneladas em 2050 se as tendências atuais se confirmarem (ONU, 2019).

Este mesmo relatório mostra que o valor econômico anual de resíduo eletrônico gerados em todo o mundo supera 62,5 bilhões de dólares o que representa um valor mais elevado que o PIB de muitos países com economia reduzida, visto que, estes resíduos possuem materiais escassos e valiosos, tais como: cobalto, platina, ouro, entre outros (ONU, 2019).

Entretanto, menos de 20% do resíduo eletrônico produzido é reciclado corretamente, sendo o restante destinados para aterros ou sendo reciclados informalmente (ONU, 2019).

2.1.2 Resíduos eletroeletrônicos no Brasil

A indústria de eletroeletrônicos, que dá emprego a mais de 180 mil pessoas, representa 3,3% do PIB brasileiro (ABINEE, 2012). A figura 1 representa a distribuição das vendas de eletroeletrônicos no Brasil, levando-se em consideração as regiões e as categorias dos eletroeletrônicos.

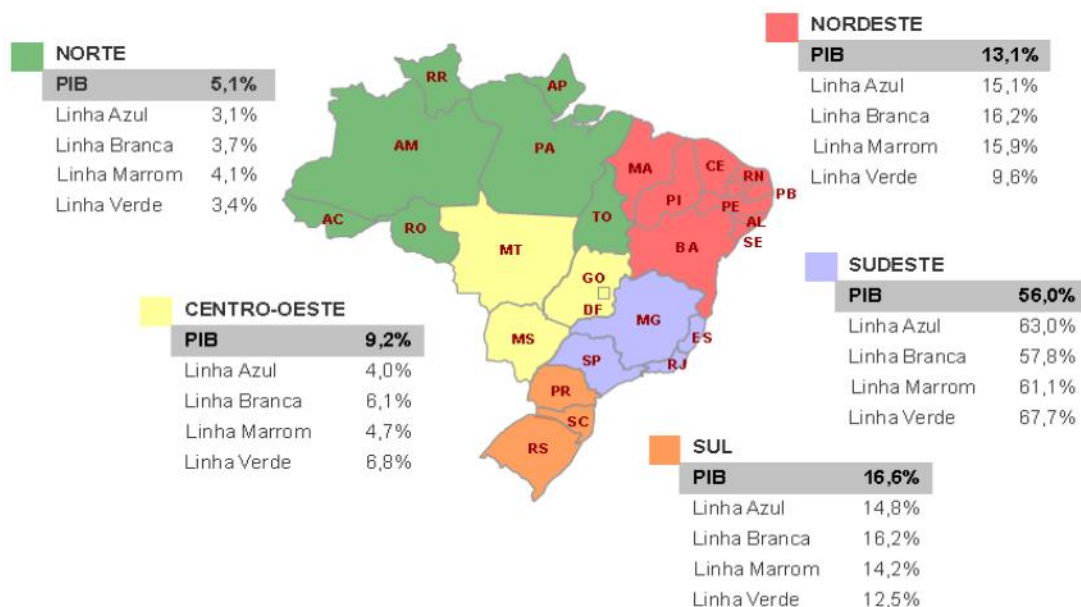


Figura 1 - Distribuição das vendas de eletroeletrônicos no Brasil (2010).

Fonte: ABINEE, (2013).

Segundo o estudo *Global E-Waste Monitor* publicado em 2017 pela UNU, no ano de 2016 o Brasil liderou como o maior produtor de REEs da América Latina e 7º maior do mundo (SILVA, 2018).

Devido aos REEs serem definidos por lei como material perigoso (ABDI, 2013), o que expõe os catadores a substâncias potencialmente perigosas e cancerígenas como chumbo, mercúrio e cádmio, a coleta desses resíduos deve seguir uma série de normas em relação a manipulação e ao tratamento, e contar com espaço suficientemente grandes para abrigar este tipo de material cujo volume se altera bastante de acordo com múltiplas variáveis.

Sendo assim, a reciclagem desses resíduos consiste no cumprimento de uma série de etapas (ABDI, 2013), sendo elas:

- “1. Eliminação dos dados, no caso de equipamentos de informática e telecomunicações;
2. Pesagem;
3. Desmontagem;
4. Separação por tipo de materiais - ferrosos, não ferrosos e plásticos;
5. Compactação dos materiais de características similares;
6. Processamento mecânico e/ou químico para recuperação de materiais de valor. Essa etapa pode ser subdividida em uma ou mais entre as fases abaixo:
 - Trituração e moagem;
 - Desintoxicação;
 - Filtragem;
 - Liquidificação;
 - Separação por densidade;
 - Separação por eletrólise;
 - Decantação;
 - Refinagem.
7. Tratamento e disposição de resíduos perigosos.”(ABDI, 2013)

Cada uma dessas fases apresenta riscos ambientais específicos, que necessitam de medidas de prevenção particulares. No entanto, por meio da reciclagem, os REEs dão origem a matéria-prima não virgem que pode ser reinserida novamente no processo produtivo, reduzindo, desta forma, a demanda por nova matéria-prima. Os

insumos gerados neste processo de reciclagem não serão necessariamente utilizados para a mesma finalidade, pois alguns materiais serão utilizados em outras indústrias. A figura 2 mostra a área de reciclagem de eletroeletrônicos em diferentes regiões do Brasil (FORBES, 2020; SILVA, 2018).

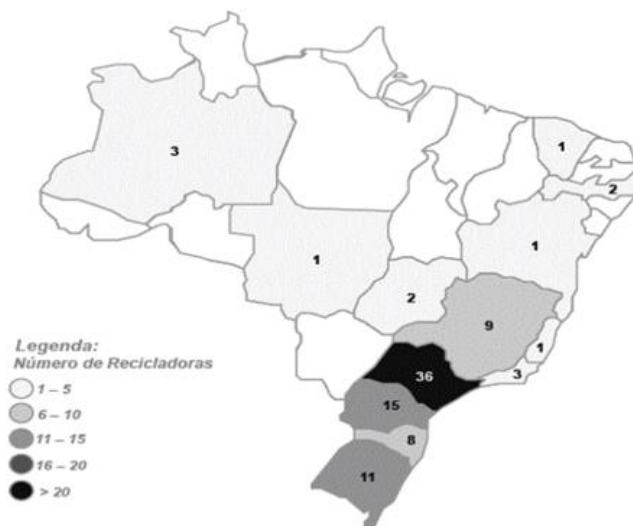


Figura 2 - Recicladoras de REEs atuantes no Brasil (2013).

Fonte: ANÁLISE INVENTTA, (2013).

Anualmente, o país produziu cerca de 1,5 milhão de toneladas de resíduo eletroeletrônico, sendo que, apenas 3% do descarte total foi feito de forma adequada (FORBES, 2020; SILVA, 2018). No entanto, conforme Nagib (2019), apenas 2% deste resíduo é reciclado no Brasil, mesmo havendo uma legislação de resíduos sólidos determinando a logística reversa (onde o fabricante é responsável pelo descarte correto do produto ao fim de sua vida útil) (SENADO NOTÍCIAS, 2019).

A indústria de eletroeletrônicos de consumo, de uma forma geral, tem por tradição, estabelecida ao longo dos anos, um padrão de competição, que na prática se caracteriza pelo lançamento frequentemente de novos produtos com tecnologias variadas, design e funcionalidades melhorados que acaba por diminuir a vida útil média dos mesmos. É usual a aquisição, por exemplo, de um novo telefone celular, mesmo que o equipamento antigo esteja em pleno funcionamento. Tal comportamento tem como resultado a criação de um mercado de materiais de segunda mão, onde o equipamento ainda em funcionamento é vendido ou doado para reuso. Criando-se, desta forma, uma segunda ou terceira vida útil para estes equipamentos eletroeletrônicos (ABDI, 2013).

É importante notar que a logística reversa só tem início quando um consumidor, de fato, descarta o seu equipamento eletroeletrônico, que pode estar em condições de uso ou não, mesmo que não tenha passado pela fase de reuso. A

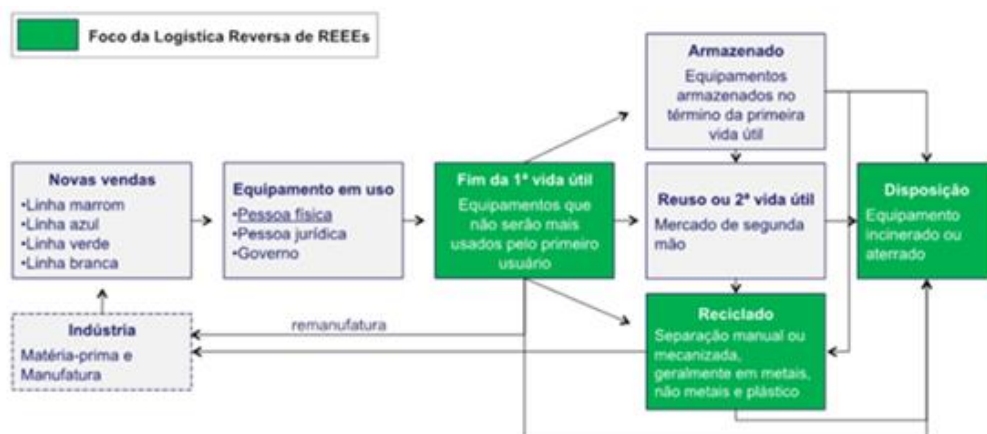


Figura 3 demonstra o ciclo de vida de produtos eletroeletrônicos (ABDI, 2013).

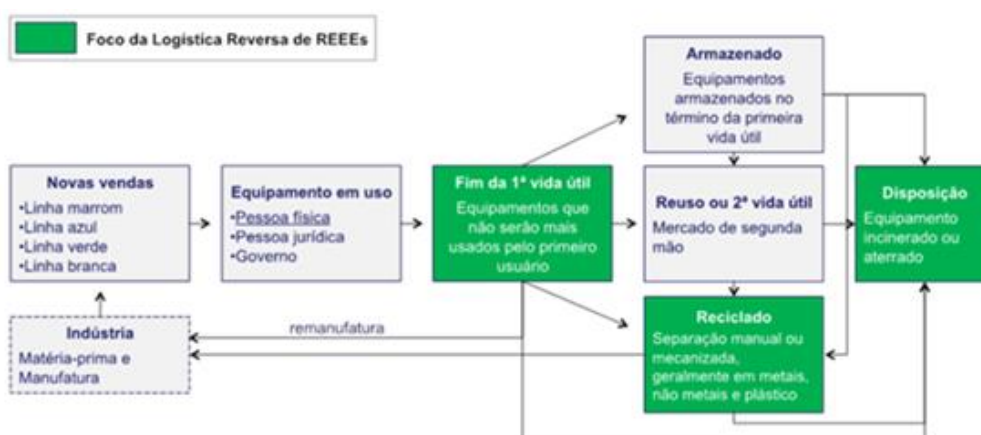


Figura 3 - Ciclo de vida de produtos eletroeletrônicos.

Fonte: ABDI, (2013).

A exemplo de outros países este resíduo causa, além de problemas ambientais e de saúde, uma grande perda em termos econômicos pelo desperdício de material (AMARAL; SILVA, 2017). Com isto, observa-se que o resíduo eletrônico virou um desafio, não apenas no Brasil, mas em todo o mundo visto que muitos dos produtos possuem materiais preciosos que poderiam ser recuperados, tornando-se uma fonte de renda para todos os setores da economia, bem como para a população mais pobre (AMARAL; SILVA, 2017; SANTOS, 2018).

Entretanto, um longo caminho tem que ser percorrido, pois segundo o levantamento do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento feito em 2015,

apenas 13% dos 5.570 municípios têm algum tipo de coleta de e-resíduo (SALVIATO, 2016; SANTOS, 2018).

2.1.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos

As questões que tratam da prevenção na gestão de resíduos abrangem a disposição final de acordo com legislação ambiental e o princípio da prevenção nos direitos anabólico (reações de síntese) e catabólico (reações de degradação), sendo que devesse priorizar a prevenção da fonte geradora de poluição. Com isto, formam-se, noções de gestão integrada (AMARAL; SILVA, 2017; IDEC; MARKET ANALYSIS, 2013).

A gestão integrada trata, não apenas do gerenciamento dos resíduos, mas também as implicações sociais, econômicas e políticas e inseridas no direito à saúde e ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, de forma a alcançar a sustentabilidade com a aplicação do Princípio do Ecodesign que compreende o planejamento de produtos feitos tendo como base presente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (AMARAL; SILVA, 2017).

A legislação ambiental brasileira é, em muitos aspectos, considerada como uma das mais avançadas legislações do mundo neste aspecto. Em 1982, a Política Nacional de Meio Ambiente, criava instrumentos que permitiam a fiscalização, bem como o planejamento e a gestão ambiental. A Lei de Crimes Ambientais, sancionada em 1998, prevê a responsabilização de pessoas tanto físicas quanto jurídicas por infrações ambientais. Esta lei uniformizou as punições, além de não mais permitir que a pena fosse extinta frente à comprovação de recuperação do dano ambiental. As multas podem chegar até R\$ 50 milhões para crimes ambientais, o que dá a dimensão da importância que o poder público tem creditado para reduzir os impactos ambientais.

Entretanto, apesar destes avanços, especificamente os REEs só eram contemplados por leis específicas que tratavam do aspecto particular do gerenciamento pós-uso de pilhas e baterias, tratada na resolução 257 de 1999 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), que foi, posteriormente, substituída pela resolução 401, de 2008 (ABDI, 2013).

É nesse contexto que se insere a aprovação da lei 12.305 de 2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Esta lei faz parte da Política Nacional do Meio

Ambiente e interage com as diretrizes nacionais para o saneamento básico e com a Política Federal de Saneamento Básico nos termos da Lei nº 11.445 (05/01/2007), com a Lei nº 11.107 (06/04/2005), e com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei no 9.795 (27/04/1999). O quadro1 traz o histórico dos aspectos legais.

Quadro 1 - Histórico dos aspectos legais

| DATA | LEGISLAÇÃO | DO QUE TRATA |
|------------|---------------------|---|
| 12-Fev-98 | Lei nº 9.605 | Dispõe sobre as sanções penais e admirativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. |
| 02-Ago-10 | Lei nº12.305/10 | Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605 e dá outras providências. |
| 23-Dez-10 | Decreto nº 7.404/10 | Regulamenta a Lei nº12305, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a implantação dos sistemas de logística reversa e dá outras providências. |
| 04-Abri-11 | Portaria nº 113/11 | Aprova regimento interno para o Comitê Orientador para implantação de Sistemas de Logística Reversa. |

Fonte: ANÁLISE INVENTTA, (2013)

A Lei nº 12.305 que engloba a Política Nacional de Resíduos Sólidos trata das questões relativas à gestão integrada, ao gerenciamento de resíduos sólidos perigosos ou não, às responsabilidades dos geradores e do poder público e dos instrumentos econômicos. Entretanto, ela não se aplicando aos rejeitos radioativos, conforme consta no Artigo 33 da lei acima citada:

“São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

[...]

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.”

As PNRS estabelecem medidas para a erradicação dos lixões a céu aberto, trata da fiscalização de aterros sanitários e do incentivo à reciclagem de resíduos.

Além disto, possui instrumentos e objetivos que permitem o reconhecimento da potencial toxicidade de determinados tipos de resíduo e estabelecem a responsabilidade compartilhada entre comércio, indústria, poder público e usuários conforme abaixo (ABDI, 2013):

“>>A gestão dos resíduos sólidos deve buscar, nesta ordem, a não-geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada (art. 35).

>>Responsabilidade compartilhada, implementada de forma individualizada e encadeada, entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares de serviços públicos (Cap. 1, art. 5).

>>O sistema de logística reversa de REEE deverá ser estruturado e mantido pelos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes (seção 2, art. 18º). Deve também estabelecer metas progressivas, intermediárias e finais para a realização da logística reversa na proporção dos produtos colocados no mercado interno (§ 2º, art. 18).

>>Promoção de estudos para viabilizar a desoneração tributária de produtos recicláveis e reutilizáveis (art.4).

>>Obrigação dos consumidores em disponibilizar adequadamente seus resíduos sólidos para coleta e devolução, sempre que houver sistema de coleta seletiva municipal ou sistema de logística reversa (art. 6).

>>Estabelece a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos com vigência indeterminada, horizonte de vinte anos e atualizações a cada quatro anos. O Plano será elaborado pela União, sob a coordenação do MMA (art. 46).” (PNRS foi regulamentada pelo decreto nº 7.404, ABDI, 2013).

2.1.4 Principais problemas causados pelos Resíduos Eletroeletrônicos a saúde humana e ao meio ambiente

Os resíduos eletrônicos, ao serem encaminhados para os grandes lixões a céu aberto e em aterros sanitários, podem causar danos à saúde, tanto em animais quanto em humanos. A contaminação decorrente desses resíduos pode se dar, tanto por contato direto na manipulação das placas eletrônicas e seus componentes, como de forma acidental quando os componentes tóxicos contaminam o solo chegando aos lençóis freáticos e conseqüentemente afetando a água e posteriormente os alimentos por utilização destes mananciais hídricos para irrigação ou como fonte de água de rebanhos, chegando até as populações humanas (OLIVEIRA, 2010).

Bumba (2019) citou que a maioria dos metais pesados presentes nos REEs pode causar tumores e se bioacumular no corpo. Além dessas substâncias, outros materiais presentes no resíduo eletrônico podem causar doenças, como por exemplo, o alumínio, que se acumula no cérebro.

No quadro 2Quadro estão apresentados os potenciais danos causados ao meio ambiente e à saúde humana pelos principais componentes contidos no resíduo eletroeletrônico, assim como onde esses compostos são utilizados.

Quadro 2 - Resumo dos potenciais danos causados ao meio ambiente e a saúde humana pelos principais resíduos contidos no resíduo eletroeletrônico

| Metais | Danos potenciais à saúde humana | Danos potenciais ao meio ambiente | Aplicações nos equipamentos eletrônicos |
|---------------------------------------|--|---|---|
| Retardadores de chama bromados | Cancerígenos e neurotóxicos: podem interferir na função reprodutora | Podem ser solúveis em água, voláteis, bioacumulativos e persistentes. Em incineradores, geram dioxinas e furanos. | Computadores e televisores. |
| Cádmio | Possíveis efeitos irreversíveis nos rins e podem provocar câncer e desmineralização óssea; manifestações digestivas (náusea, vômito, diarreia); problemas pulmonares; envenenamento (quando ingerido); pneumonite (quando inalado). | Bioacumulativos, persistente e tóxico para o meio ambiente. | Resistores, detectores de infravermelho e semicondutores e nas versões mais antigas de raios catódicos. |
| Cromo | Provocam reações alérgicas em contato com a pele, é cáustico e genotóxico. | Absorção celular muito fácil pelas plantas e animais dos efeitos tóxicos. | |
| Chumbo | Danos no sistema nervoso, endócrino, cardiovascular e rins; dores abdominais (cólica, espasmo e rigidez); disfunção renal; anemia, problemas pulmonares; neurite periférica (paralisia); encefalopatia (sonolência, manias, delírio, convulsões e coma). | Acumulação no ecossistema, efeitos tóxicos na flora e fauna e microrganismos. | Soldas nos circuitos impressos e outros componentes e tubos de raios catódicos nos monitores e televisores. |
| Mercúrio | Possíveis danos cerebrais e cumulativos que podem passar para o feto; gengivite, salivação e diarreia (com sangramento); dores abdominais (especialmente | Pode tornar-se solúvel em água; acumula-se nos organismos vivos. | Termostatos, sensores de posição, chaves, relés e lâmpadas descartáveis, |

| | | |
|--------------|---|---|
| | epigástrio, vômitos, gosto metálico); congestão; inapetência, indigestão; dermatite e elevação da pressão arterial; estomatites (inflamação da mucosa da boca), ulceração da faringe e do esôfago, lesões renais e no tubo digestivo; insônia, delírio, dores de cabeça, colapso, convulsões. | equipamentos médicos, transmissão de dados, telecomunicações e telefones celulares, baterias, interruptores de residências e placas de circuito impresso. |
| Bário | Inchaço no cérebro, fraqueza muscular, danos no coração, fígado e no baço. | Painel frontal do CRT. |
| Cobre | Pode gerar cirrose hepática. | Presente em vários componentes eletrônicos. |

Fonte: adaptado de BEZERRA, (2009); GONÇALVES, (2003); (2007)

2.2 Energia, sociedade e meio ambiente

A energia é um dos mais importantes componentes para vida humana. Junto com a água e o ar são essenciais para mover a sociedade e promovendo o bem-estar (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Sendo assim, as buscas por fontes de energia sempre foram evidentes na trajetória do homem na Terra. Em virtude disso, inúmeras tecnologias foram sendo descobertas e implantadas no setor energético mundial ao longo dos séculos.

“Nas sociedades primitivas seu custo era praticamente zero. A energia era obtida da lenha das florestas, para aquecimento e atividades domésticas, como cozinhar. Aos poucos, porém, o consumo de energia foi crescendo tanto que outras fontes se tornaram necessárias. Durante a Idade Média, as energias de cursos d’água e dos ventos foram utilizadas, mas em quantidades insuficientes para suprir as necessidades de populações crescentes, sobretudo nas cidades. Após a Revolução Industrial, foi preciso usar mais carvão, petróleo e gás, que têm um custo elevado para a produção e transporte até os centros consumidores” (GOLDEMBERG; LUCON, 2007 p. 7).

Até a Idade Média, o homem, utilizando-se de recursos energéticos disponíveis na natureza, conseguiu satisfazer suas necessidades sem alterar, de forma significativa, o meio ambiente (REIS; SANTOS, 2014).

As rodas d’água e moinhos começaram a ser utilizados para atividades industriais. Não obstante, esta quantidade de energia era insuficiente para a demanda das populações crescentes (REIS; SANTOS, 2014).

Século mais tarde, o advento da revolução industrial causou um aumento exponencial do consumo de energia proveniente de queima de carvão, petróleo e gás (GOLDEMBERG; LUCON, 2007; MMA, 2005).

Neste período ocorreram grandes mudanças e foi grande o progresso em termos energéticos no mundo que se estenderam ao longo dos dois últimos séculos até os dias atuais (REIS; SANTOS, 2014).

Não obstante, este crescimento do consumo de combustíveis fósseis, não renováveis, para a produção de energia, impactou no desenvolvimento sustentável da sociedade, causando sérios problemas ambientais e escassez de recursos para gerar energia (REIS; SANTOS, 2014).

Muitos países estão enfrentando dificuldades para suprir a necessidade crescente de energia de suas populações e, ao mesmo tempo, fornecer recursos energéticos para suprir seu crescimento econômico (JANNUZZI, 2005).

As fontes de energia não renováveis são assim classificadas quando “suas reposições naturais levarem muitos séculos ou milênios sob condições muito particulares” e “sua reposição artificial é absolutamente impraticável, envolvendo processos com gastos de energia igual ou maior que a quantidade de energia obtida, ou com custos proibitivos”, ou seja, “não podem ser repostas em escalas de tempo humanas” (JANNUZZI; SWISHER, 1997 *apud* ARAUJO, 2016; TIAGO FILHO, 2007 *apud* ARAUJO, 2016).

Devido a isto, pesquisas nos setores energéticos começaram a ser desenvolvidas no sentido de criar fontes de energias renováveis ou alternativas.

2.3 Energias alternativas e energias renováveis

Embora seja amplo o desenvolvimento energético, as explorações de todas as fontes de geração de energia apresentam impactos ao meio ambiente, sejam em maior ou menor intensidade (VILLALVA; MARCELO, 2015).

Estas energias limpas são, normalmente, correlacionadas as fontes renováveis de geração de energia, visto que quando assim comparadas às fontes não renováveis, geram impactos ambientais bem reduzidos.

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* ou Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (2011), energias renováveis são

recursos naturais cuja forma de energia é proveniente de combustíveis fósseis ou minérios capazes de se recuperar em um curto espaço de tempo, logo são ditas inesgotáveis. Dentre estas estão as fontes solares, geotérmicas, hídrica, as biomassas, as marés e energia eólica que são constantemente renovadas.

Porém toda forma de geração de energia causa impactos ao meio ambiente. Segundo alguns autores, as instalações de usinas eólicas provocam impactos na mortalidade de pássaros, alteração na paisagem e produção de ruídos devido às hélices. As usinas solares demandam uma área ampla de instalação, além de possuírem em suas placas fluidos tóxicos. No caso das hidrelétricas, no seu processo de instalação demandam um orçamento energético e econômico exuberante, além de inundar inúmeras áreas para construção das represas (VILLALVA; MARCELO, 2015).

Apesar dos impactos negativos, as fontes renováveis são alternativas mais seguras quando comparadas com as não renováveis e seu uso, em permutação com os combustíveis fósseis, tem provocado uma relevante alteração no cenário mundial em relação às mudanças climáticas no tocante a redução da emissão de poluentes atmosféricos (VILLALVA; MARCELO, 2015).

Entretanto, vale lembrar que a caracterização de uma fonte energética em renovável dependerá da sua taxa de produção com relação à taxa de consumo. A taxa de produção deverá ser maior ou igual à taxa de consumo da fonte energética.

2.3.1 Energia eólica

A energia dos ventos pode ser explicada, em termos físicos, como a energia cinética formada nas massas de ar em movimento. Seu aproveitamento é feito por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação (ALVES, 2016).

Para a produção de energia elétrica, a energia cinética é transformada em energia mecânica que, por meio da utilização de turbinas, que possuem um sistema de bobinas e ímãs, se transforma em energia elétrica (MARTINS *et al*, 2008).

Estas turbinas eólicas, também conhecidas como aerogeradores, podem ser usadas para realização de trabalhos mecânicos simples tais como o bombeamento de água ou a moagem do trigo, até a geração de grandes potências (CEBALLO *et al*, 1987 *apud* ALVES, 2016).

Elas podem ser verticais ou horizontais, instaladas em terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*) e variar, em termos potenciais, desde a produção de poucos kW até, aproximadamente, 10 MW (MCTI, 2017).

As instalações eólicas no mar apresentam um aproveitamento energético dos ventos superior às instalações em terra, porém apresentam dificuldades no projeto devido ao grande custo de implantação e manutenção (PIMENTA; KEMPTON; GARVINE, 2008 *apud* SILVA; ALLAN, 2015).

Embora seja uma geração de energia alternativa, as usinas eólicas apresentam seus impactos relevantes ao meio ambiente, porém seu funcionamento não gera impactos que emitem gases para atmosfera, contribuindo, assim, para redução das mudanças climáticas ocasionadas por outras fontes de energia (VILLALVA; MARCELO, 2015).

As usinas eólicas, na sua fase de construção, acarretam impactos na fauna e flora locais, pois promovem a remoção da vegetação e a compactação do terreno por máquinas e podem causar riscos as aves devido a potenciais impactos das mesmas com a estrutura das usinas entre outras alterações (KERLINGER, 2002 *apud* BARBOSA; AZEVEDO, 2013).

2.3.2 Regime dos ventos

A radiação solar na Terra gera os ventos através do aquecimento não uniforme da superfície terrestre, sendo que o vento é o recurso utilizado para a geração de energia eólica. A Terra absorve 2% da energia solar que é convertida em energia cinética dos ventos, representando o potencial eólico mundial. Essa porcentagem mesmo que pequena representa centena de vezes a potência das centrais elétricas instaladas no mundo (CEPEL, 2008).

“Os ventos que sopram em escala global e aqueles que se manifestam em pequena escala são influenciados por diferentes aspectos, entre os quais destacam-se a altura, a rugosidade, os obstáculos e o relevo” (CEPEL, 2009 p.4).

O comportamento do vento dependerá das variações topográficas e características do terreno. Os fatores de rugosidade, relevo e os obstáculos do terreno influenciam na velocidade e direcionamento dos ventos conforme a altura.

2.3.3 Aerogerador horizontal

O aerogerador é um equipamento destinado a realizar a conversão da energia eólica em energia elétrica. Para que ocorra este evento, é necessário que as correntes de vento incidam na superfície das pás da turbina, resultando em um torque mecânico responsável por sua movimentação. Desta forma, a turbina recebe parte da energia cinética, convertendo-a em energia mecânica rotacional e consequentemente, sendo transmitida a um gerador elétrico (ZANCHETTIN, 2012).

Estes aerogeradores podem ser classificados por meio de duas maneiras distintas, sendo os de eixo horizontal ou os de eixo vertical. A nível mundial, os aerogeradores de eixo horizontal apresentam dominância (HAU, 2005).

As máquinas de eixo horizontal possuem rotor instalado no topo de uma torre, o que favorece a incidência dos ventos, recebendo grande quantidade de energia e pouca turbulência. Essas turbinas podem possuir uma ou mais pás e devem ser constantemente orientadas a fim de posicionar o eixo rotor em sentido oposto a direção do vento (BIANCHI *et al.*, 2007).

A Figura 4 esboça um aerogerador convencional de três pás.

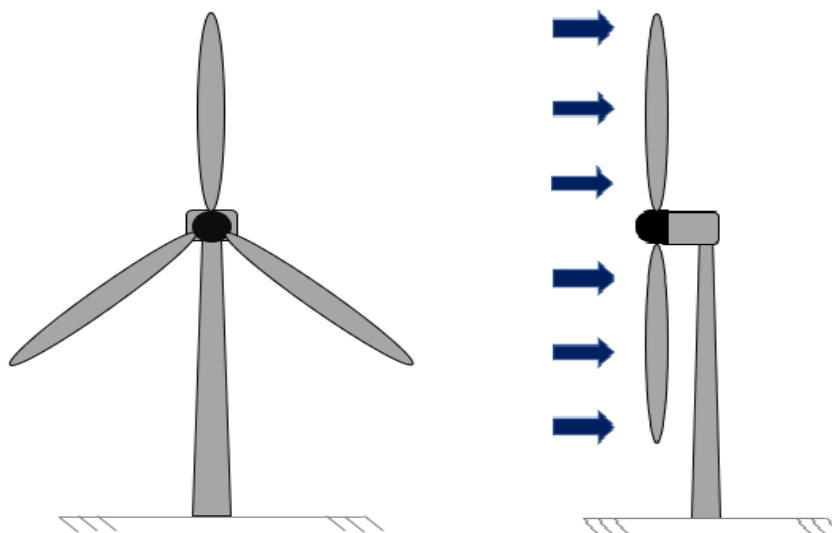


Figura 4 - Vistas frontal e lateral de um aerogerador com eixo de rotor horizontal, sendo a imagem (b) focando na incidência do vento nas pás.

Fonte: Adaptado MÜLLER, (2015)

2.3.3.1 Componentes de um aerogerador de eixo horizontal

Os principais componentes que integram um aerogerador que utiliza turbina de eixo horizontal são: a pá do rotor; o cubo do rotor; a estrutura que suporta os componentes principais do aerogerador (caixa de velocidade, gerador, painéis de controle); rolamento do eixo de baixa velocidade; caixa de velocidade; eixo de baixa velocidade; disco de travão que é empregado para imobilizar o rotor quando com ventos acima da faixa de operação da turbina, ou seja, abaixo da velocidade de *cut-in* e acima da velocidade de *cut-off*; gerador; acoplamento mecânico; permutador de calor do circuito de arrefecimento da caixa de velocidade; anemômetros e cata-ventos para avaliar a velocidade e a direção dos ventos cujas informações são enviando ao sistema de controle da turbina; ventiladores para arrefecimento do gerador; sistema de controle e supervisão; sistema hidráulico para controlar a pressão do sistema de travamento do rotor e do mecanismo de rotação da turbina; mecanismo de rotação da turbina empregado para manter a mesma contra o vento; rolamento do mecanismo de rotação para rodar a turbina; naceles; torre e sistema de ajuste do ângulo das pás que são utilizados para controlar a potência fornecida pelo aerogerador quando a velocidade de rotação da turbina está acima da velocidade nominal (ACKERMANN, 2012; NORDEX, 2009).

A Figura 5 apresenta onde se posiciona cada componente em um aerogerador de eixo horizontal:

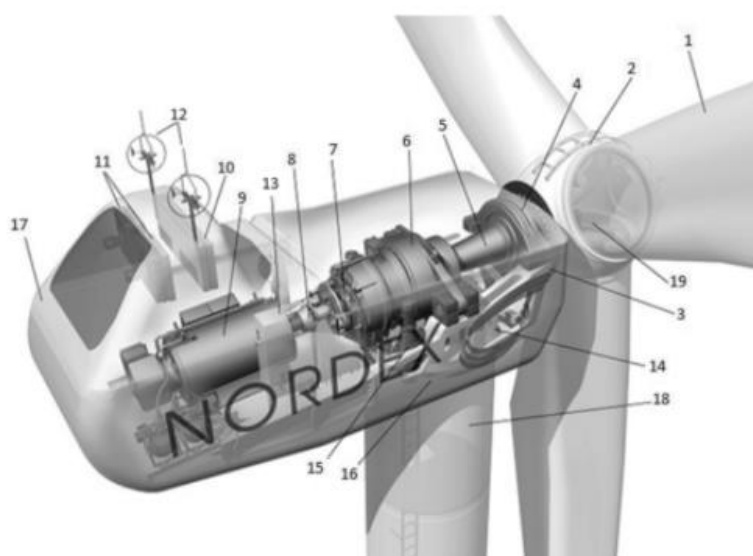


Figura 5 - Principais componentes de um aerogerador de eixo horizontal.

Fonte: NORDEX, (2020)

Descrição dos componentes mais relevantes de um aerogerador:

- Pás do Rotor: Recebem a energia do vento e a transformam em energia rotacional no eixo conectado ao rotor;
- Eixo: Realiza a transferência da energia rotacional para o gerador elétrico;
- Nacele: Estrutura onde os componentes ficam abrigados;
- Multiplicador de Velocidade: Aumenta a velocidade de rotação do eixo entre o hub do rotor e o gerador elétrico;
- Freio: Interrompe a rotação do eixo em caso de sobrecarga de energia ou de falha no sistema;
- Gerador elétrico: Gera eletricidade por meio de eletromagnetismo utilizando a energia de rotação;
- Torre de Sustentação: Responsável por manter o conjunto rotor e nacele na altura determinada pelo projeto, além de sustentar seu peso;

As turbinas eólicas de eixo horizontal requerem a presença de um sistema de controle direcionado ao posicionamento do rotor quanto à orientação predominante de vento. Com isso, é possível se obter uma eficiência superior quando comparadas às turbinas de eixo vertical (MANWELL et al., 2002).

Levando em conta o direcionamento predominante dos ventos, os rotores de turbina de eixo horizontal são classificados quanto suas retaguardas, sendo *downwind* ou *upwind* (CUSTÓDIO, 2013).

- *Downwind*: o vento sopra pela face frontal do aerogerador. As pás são rígidas e o rotor é orientado segundo o direcionamento do vento por intermédio de um dispositivo motor.
- *Upwind*: o vento sopra pela retaguarda das pás. O rotor é flexível e de orientação automática.

A Figura 6 mostra as configurações *upwind* e *downwind* de uma Turbina eólica de eixo Horizontal:

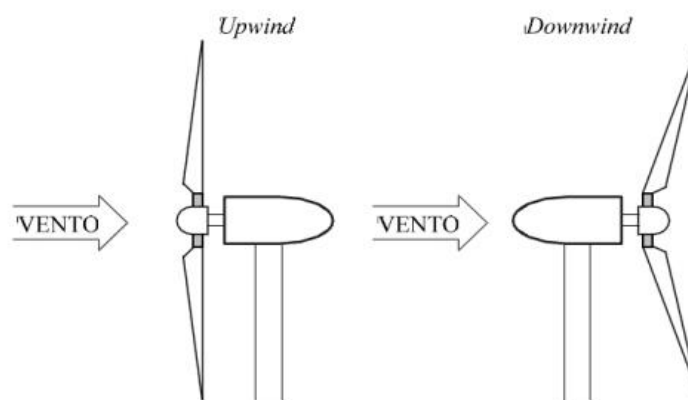


Figura 6 - Classificação dos rotores quanto à sua orientação: (a) *Upwind* e (b) *Downwind*.

Fonte: (MARQUES,2004).

Os rotores também podem ser classificados quanto ao número de pás (uma, duas ou três pás), quanto ao sistema de controle (*pitch* ou *stall*) e também de acordo com o alinhamento à direção do vento (*yaw* ativo ou passivo). As instalações de sistemas mecânicos e elétricos normalmente são niveladas com o eixo de rotação (MANWELL *et al.*, 2002).

2.3.4 Aerogerador vertical

Os aerogeradores de eixo de rotação vertical estão orientados na mesma direção da torre estrutural do rotor, ou seja, apresenta o eixo de rotação perpendicular ao terreno que foi instalado o equipamento. O eixo vertical apresenta rotação por forças de sustentação e arrasto (FERREIRA, 2018).

Esse tipo de eixo de rotação apresenta grandes vantagens no comportamento na presença de ventos turbulentos e apresenta menor intensidade do ruído em comparação ao eixo horizontal (MULLER, 2015).

Os aerogeradores verticais apresentam facilidade para instalação, precisam de pouco espaço e estão próximos ao solo, essas são vantagens que possibilitam a instalação em centros urbanos. Porém possuem um dimensionamento inferior aos rotores de eixo horizontal, sendo assim, seu potencial elétrico não permite uma grande geração elétrica (MULLER, 2015).

As turbinas eólicas de eixo vertical apresentam diferentes configurações como Savonius, Darrieus, Darrieus H e Darrieus-Savonius (Figura 7).

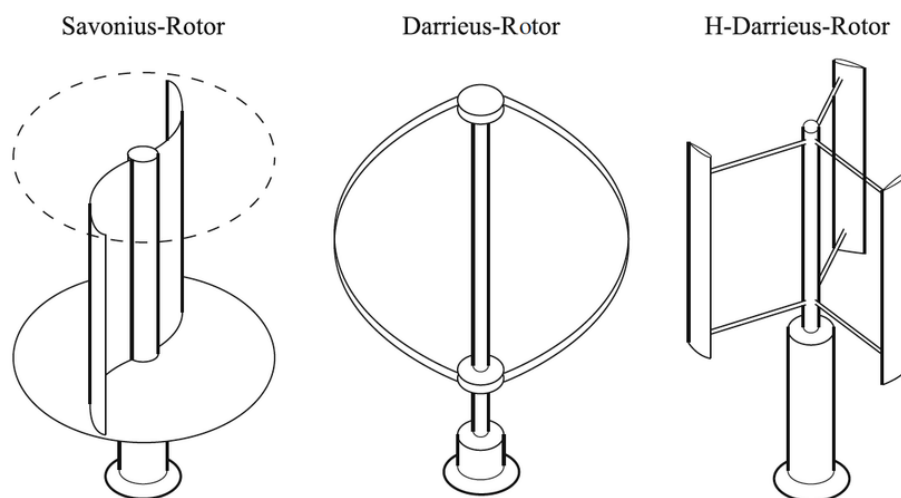


Figura 7 - Modelos de turbinas de eixo vertical.

Fonte: MCLEAN, (2017)

O modelo Savonius é composto por duas ou mais conchas e apresenta sua força para movimentação no arrasto, ou seja, a pressão do ar é responsável por girar a turbina. Além disso, possui uma boa resistência, porém sua produção de energia elétrica, quando comparado aos outros modelos, é menor. O modelo de Darrieus apresenta força de giro do rotor pela força de sustentação aerodinâmica sofrida pelas pás e seu perfil permite uma produção energética de até 30%. Já o modelo de Darrieus H apresenta o melhor rendimento energético entre os três modelos, porém os esforços sofridos nas turbinas são mais elevados (FERREIRA, 2018).

2.4 Setor energético no Mundo

A EPE (2018) descreve a matriz energética como o conjunto de fontes disponíveis em um país, estado, ou mundo, para suprir a necessidade de energia salientando que a matriz elétrica faz parte desse conjunto. Cândido (2007) complementa esse conceito:

A estrutura de oferta e demanda setorial de energia, contemplando as diferentes fontes primárias e secundárias, bem como os diversos usos no sistema socioeconômico, constitui o que usualmente se chama de matriz energética. Compreender sua evolução e estabelecer os cenários prospectivos são tarefas relevantes para melhorar o desempenho desses sistemas e orientar decisores públicos e privados na elaboração de estratégias consistentes no contexto do suprimento e conversão energética (CÂNDIDO, 2007 p. 34).

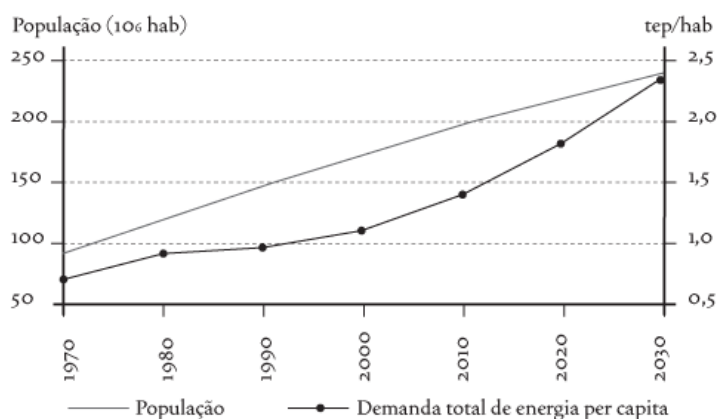
Cândido (2007) ainda analisa que a evolução da matriz energética das sociedades humanas evolui bastante tendo um aumento na diversidade de fontes e padrões de uso a partir da Revolução Industrial. O gráfico 1 Gráfico 1, demonstra o aumento da demanda energética em relação ao crescimento populacional ao longo das décadas:

A EPE (2018) ressalta que a matriz energética mundial é composta majoritariamente por fontes convencionais como carvão, petróleo e gás natural. O gráfico 2 ilustra o cenário de 2016 segundo levantamento feito pela Agência Internacional de Energia.

Gráfico 1 - Evolução da demanda energética e da população mundial.

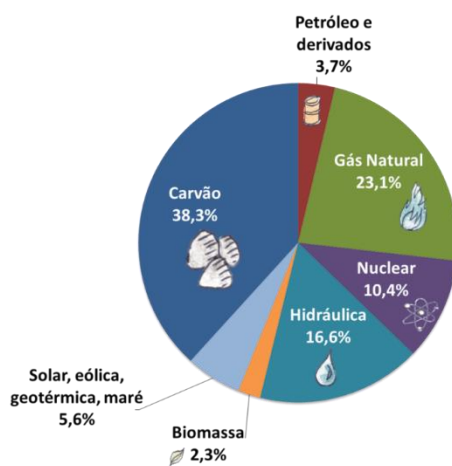
Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita

Brasil - 1970-2030



Fonte: CANDIDO, (2007) *apud* ARAÚJO, (2007)

Gráfico 2 - Matriz Energética Mundial em 2016.

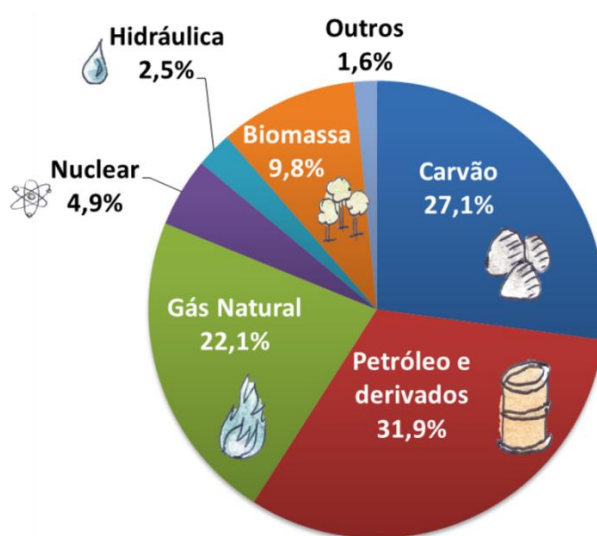


Fonte: EPE, (2018) *apud* IEA, (2018)

Já em relação à matriz elétrica, EPE (2018) a define como o conjunto de fontes disponível apenas para a geração de energia elétrica, ou seja, ela é inserida na matriz energética. A nível mundial, a geração desse tipo de energia é baseada principalmente em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas.

O gráfico 3 ilustra o cenário da matriz elétrica mundial em 2016 conforme o estudo feito pela Agência Internacional de Energia.

Gráfico 3 - Matriz Elétrica Mundial 2016.



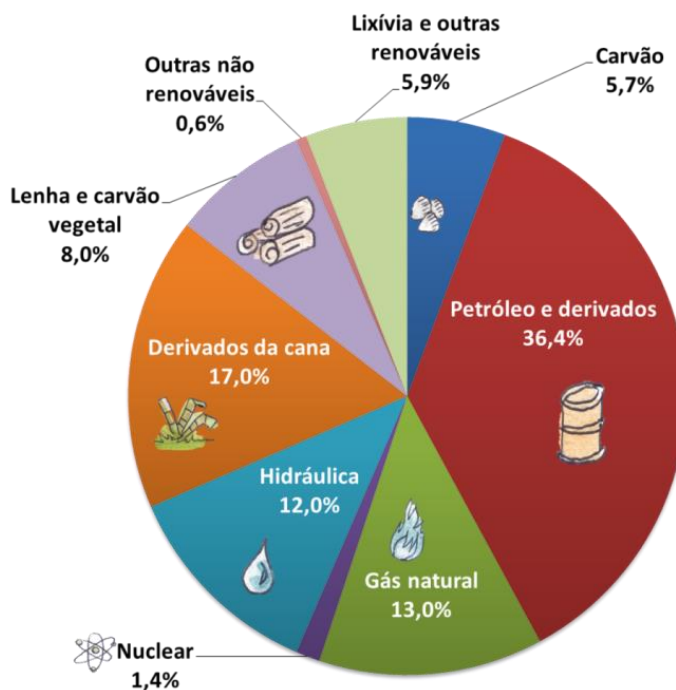
Fonte: EPE, (2018) *apud* IEA, (2018)

2.5 Setor energético no Brasil

A matriz energética é o conjunto de fontes disponíveis para suprir a demanda de energia necessária para movimentar a sociedade, seja para os carros, para gerar eletricidade e para o uso gás de cozinha (EPE, 2018).

O Brasil em 2017 apresentava um diferencial, quando comparado a matriz energética mundial, onde quase a metade do consumo de energia no país é proveniente de fontes alternativas, representando 42,9% de toda a energia consumida (EPE, 2018) (Gráfico 4).

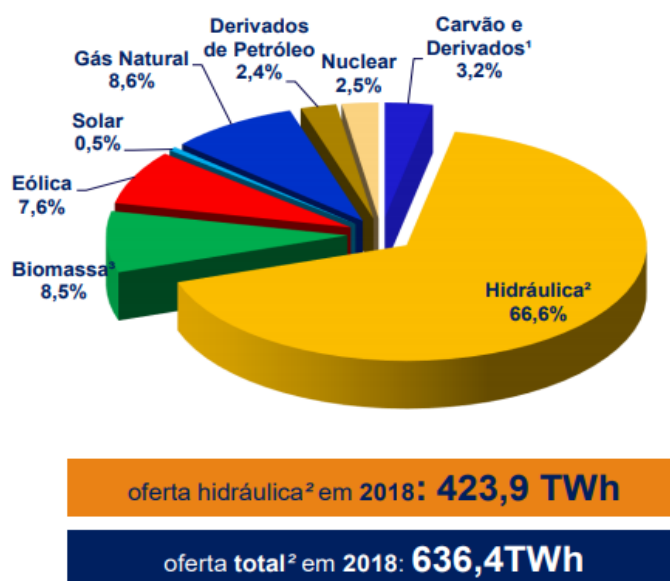
Gráfico 4 - Matriz Energética Brasileira 2017.



Fonte: BEN, (2018) *apud* EPE, (2018)

O gráfico 5, a seguir, demonstra a participação de fontes alternativas na matriz energética no Brasil em 2019 segundo o estudo feito pelo Balanço Energético Nacional que mostra como principal fonte energética a água, seguida de biomassa.

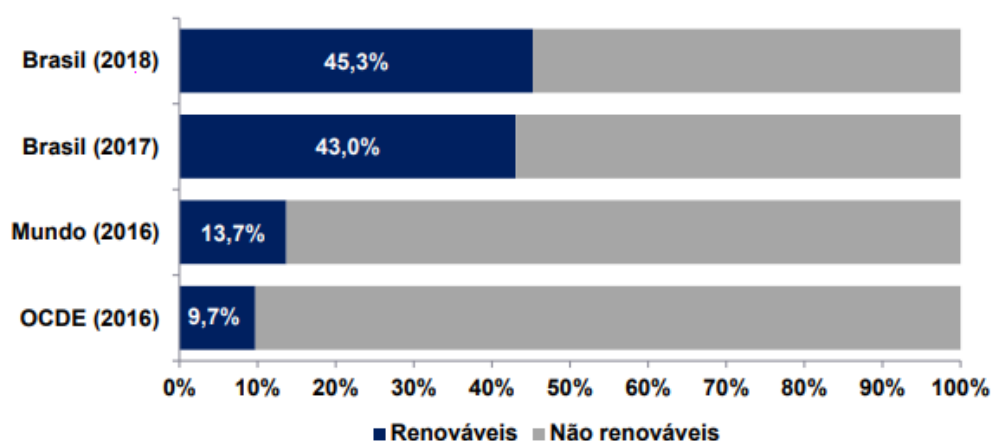
Gráfico 5 - Participação de fontes alternativas na matriz energética Brasileira.



Fonte: BEN, (2019)

A matriz elétrica por sua vez, representa o conjunto de fontes disponíveis para geração de eletricidade, sendo assim, é uma parte da matriz energética (EPE, 2018). O gráfico 6 representa o crescimento da utilização de fontes renováveis e o cenário elétrico no Brasil em 2018, em comparação com o cenário mundial, segundo o estudo feito Balanço Energético Nacional.

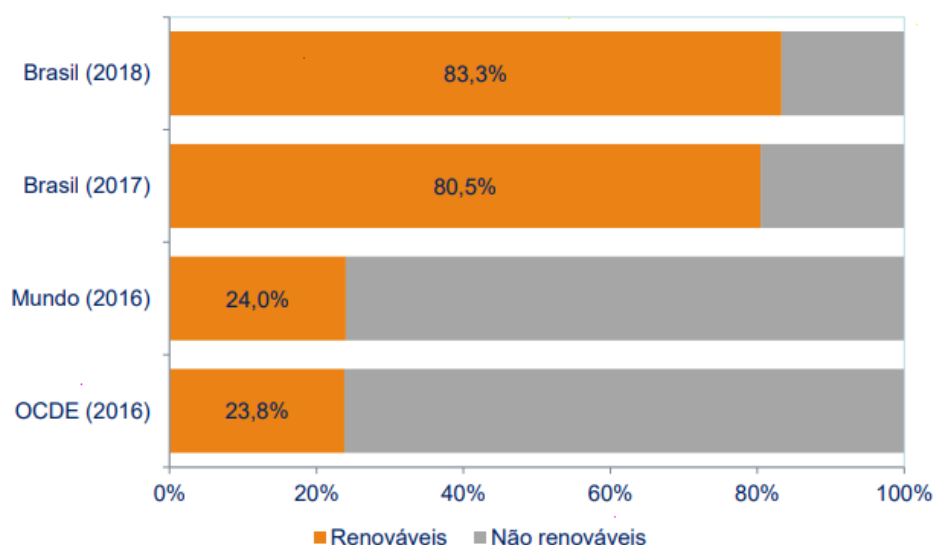
Gráfico 6 - Matriz Elétrica Brasileira de 2018.



Fonte: BEN, (2019)

O gráfico 7, a seguir, ilustra o aumento da participação das fontes alternativas de energia na matriz elétrica do Brasil conforme o Balanço Energético Nacional.

Gráfico 7 - Aumento da matriz elétrica com a participação de fontes alternativas no ano de 2018.



Fonte: BEN, (2019)

2.6 Geração de Energia

2.6.1 Circuito Eletromagnético

2.6.1.1. Experimento De Oersted

Hans Christian Oersted foi propulsor no quesito dos fenômenos eletromagnéticos, se apoiando em um sistema prático para dar embasamento a sua teoria. Em seus experimentos, a partir de um fio condutor como base, posicionou uma agulha magnética na direção norte-sul. Ao passar da corrente elétrica observou que a agulha respondia por meio de um desvio, se tornando perpendicular à direção do fio (leste – oeste). Quando cessada a corrente elétrica, o anteparo retornou novamente a orientação inicial (norte-sul). Com isso Oersted concluiu que o desempenho da agulha, conforme a passagem da corrente elétrica no fio, é semelhante ao comportamento de quando se aproxima um ímã de uma agulha magnética (MARTINS, 1986).

A corrente elétrica estabelece um campo magnético no entorno da agulha, que acaba por mover a mesma. Desta forma, cargas elétricas em movimento, criam numa região do espaço, um campo magnético (Figura 8 a, b) (BISCUOLA, 2001).

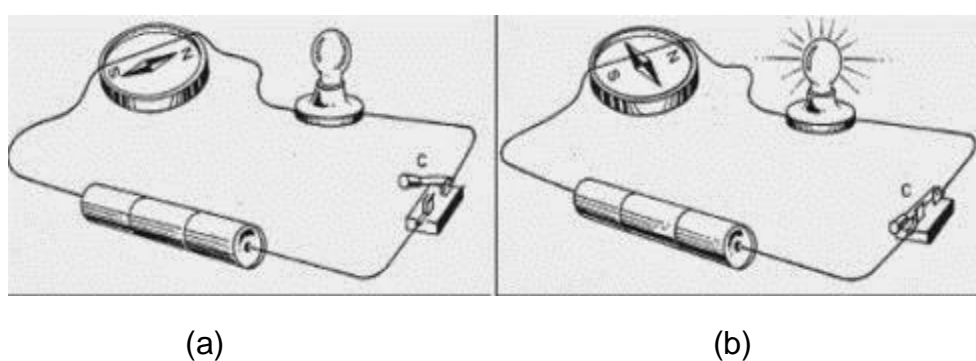


Figura 8 - Experimento de Oersted. O circuito (a) está aberto, sem a passagem de corrente elétrica. A agulha magnética se encontra em paralelo ao sentido do fio. O circuito (b) está fechado, permitindo a passagem de corrente elétrica. A agulha magnética se encontra em perpendicular ao sentido do fio.

Fonte: SILVA, (2014)

2.6.1.2. Lei De Faraday

A lei de Faraday estabelece que uma força eletromotriz é gerada em um circuito elétrico fechado, submetido a um fluxo magnético variável no tempo (HALLIDAY, 2009). O experimento elaborado por Faraday consiste em:

“Um ímã cilíndrico de $\frac{3}{4}$ de polegadas de diâmetro e $8 \frac{1}{2}$ polegadas de comprimento, teve uma extremidade inserida dentro da hélice. Em seguida foi rapidamente empurrada em todo seu comprimento no sentido da esquerda e a agulha do galvanômetro se moveu. Na sequência, empurrada no sentido da direita e novamente a agulha apresentou alteração, mas em direção oposta. Este efeito se repetiu todas as vezes que o ímã era colocado dentro ou retirado e, portanto, uma onda de eletricidade foi assim produzida pela mera aproximação de um ímã e não por sua formação in situ” (FARADAY IN MARTIN, 1932-1936, p. 375).

A Figura 9 (a), (b) e (c) esboçam o experimento realizado por Faraday, conforme o descrito acima.

Esta lei pode ser descrita, em termos dos campos magnéticos, sendo a superfície aberta “S” delimitada pela área “C” de acordo com a regra da mão direita, de forma que o sentido do polegar é o da normal à superfície \hat{n} (Figura 10) (SILVA, 2014).

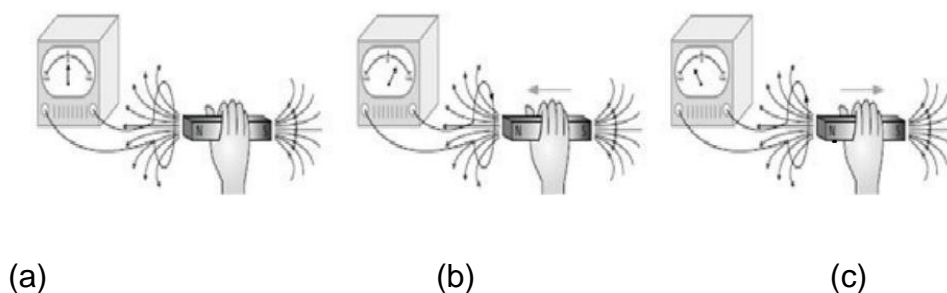


Figura 9 - Experimento de FARADAY. a) o ímã se encontra centralizado a hélice. Não apresentando alteração na agulha do galvanômetro; (b) o ímã se encontra completamente deslocado no sentido esquerdo da hélice, gerando uma alteração na agulha do galvanômetro; (c) o ímã se encontra completamente deslocado no sentido direito da hélice, gerando uma alteração na agulha do galvanômetro.

Fonte: SILVA, (2014)

Desta forma, o fluxo magnético que passa por esta área é avaliado pela integral da área que é envolvida pelo campo C (SILVA, 2014). Sendo assim, de acordo com a lei de Faraday, quando o fluxo de S começa a atravessar o circuito C , um campo é gerado, que será proporcional ao fluxo Φ_a (HALLIDAY, 2009).

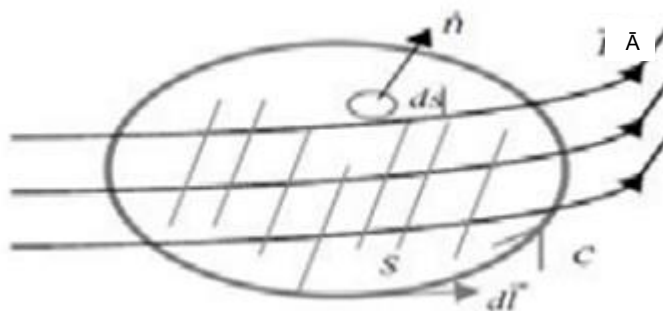


Figura 10 - Linhas de campo em uma superfície.

Fonte: SILVA, (2014)

2.6.1.3. Lei De Lenz

A lei de Lenz se define como sendo a variação do fluxo magnético através de uma espira que cria nela, uma corrente elétrica induzida, gerando um campo que se oponha a variação do fluxo através da espira. Essa lei, então, diz que a força eletromotriz gera uma corrente que tende a se opor à variação do fluxo, estabelecendo o sentido da corrente induzida (HALLIDAY, 2009).

A lei de Lenz reflete o princípio da conservação de energia em circuitos que apresentam corrente induzidas. Cujo efeito, se o lado direito da equação que é definida pela divisão da variação do fluxo magnético pela variação de tempo, apresentasse sinal positivo, corresponderia a um aumento no fluxo, resultando um trânsito infinito e, portanto, a uma corrente infinita, a partir do simples movimento do magneto na direção da espira (HALLIDAY, 2009).

2.7 Máquina elétrica

2.7.1 Máquina elétrica de fluxo magnético radial

As máquinas que apresentam fluxo radial percorrem uma orientação perpendicular ao sentido de rotação do rotor. Essas máquinas cilíndricas apresentam um grande benefício na sua construção, pois a laminação do estator possibilita a construção de um produto barato (MAIA, 2011).

Os geradores que são feitos com fluxo magnético radial apresentam maior capacidade de torque do que os geradores de indução, sendo que seu rendimento também é mais elevado do que os geradores de indução (LINARD, 2014).

Porém essas máquinas com fluxo radial apresentam malefícios se comparada às outras máquinas. Algumas dessas desvantagens são com a manutenção dos ímãs permanentes e sua limitação de potência, pois eles apresentam limitação técnica para construção dos ímãs permanentes de grandes dimensões.

Além dessas desvantagens, o fluxo magnético radial apresenta problemas com a variação de temperatura dentro da máquina, o que pode gerar complicações no campo magnético (Figura 11) (GURU e HIZIROGLU, 2000 *apud* LINARD, 2014).

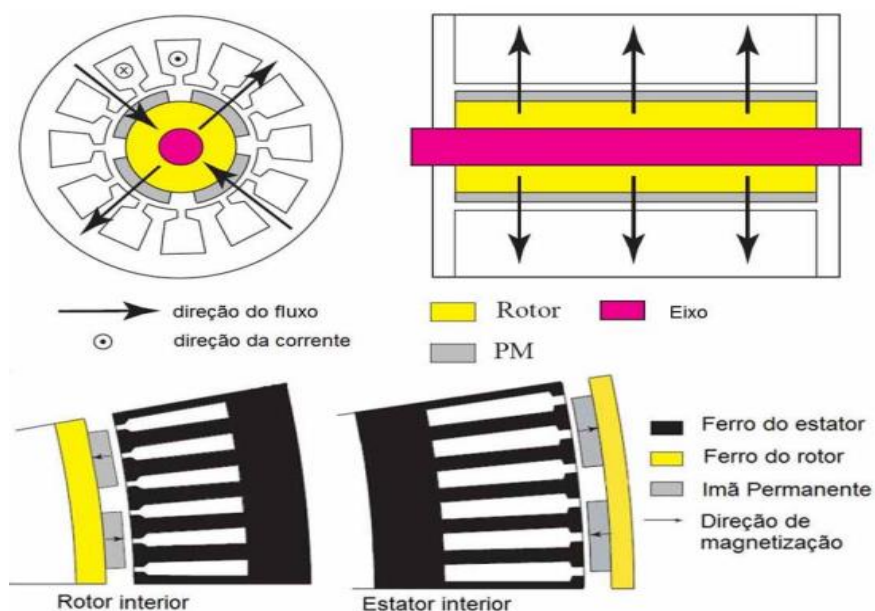


Figura 11 - Desenho representativo de uma máquina com fluxo radial.

Fonte: MAIA, (2011)

2.7.2 Máquina elétrica de fluxo magnético axial

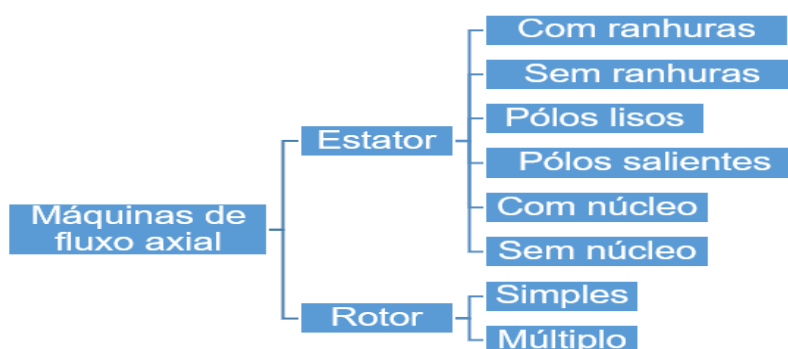
O registro mais primitivo de uma máquina elétrica com fluxo magnético axial faz referência ao disco de Faraday, sendo uma máquina homopolar documentada em torno de 1831 (KOSOW, 1977).

As máquinas de fluxo magnético axial atualmente se encontram mais presentes, se comparado a tempos anteriores. Os ímãs são utilizados de forma a prover a substituição dos enrolamentos pertencentes ao campo, em máquinas elétricas. Estes ímãs, em geradores elétricos apresentam a sua fixação na superfície do rotor, sendo capaz de produzir um campo magnético constante, resultando na indução de uma tensão elétrica nos enrolamentos da armadura, ao gravitar em torno do mesmo (FITZGERALD *et al.*, 2006; TIBOLA, 2009).

Essas máquinas portam rotores e estatores em aspecto de disco. Uma distinção das máquinas de fluxo magnético axial para as de fluxo magnético radial, é que as axiais possuem o rotor com grande diâmetro e com longo momento de inércia. Essa característica resulta no maior acomodamento de números de polos, sendo assim, permitindo a operação em baixas rotações, onde o fluxo dos ímãs permanentes é axial e a corrente flui radialmente (TIBOLA, 2009).

As máquinas de fluxo axial podem apresentar diversos padrões construtivos, conforme a Fluxograma 1:

Fluxograma 1 - Processo de montagem de uma máquina de fluxo axial.



Fonte: AUTORES, (2020).

Quanto à construção de máquinas rotativas. São constituídas por dois segmentos fundamentais, sendo eles o estator e o rotor.

- O estator é a parte fixa da máquina, constituída de chapas de aço laminadas;
- O rotor é a parte girante da máquina.

Nas máquinas síncronas, os enrolamentos de armadura e os de campo são colocados, respectivamente, no estator e no rotor. A figura 12 faz menção à instalação do estator ranhurado, neste caso, e dos rotores em uma máquina de torus:

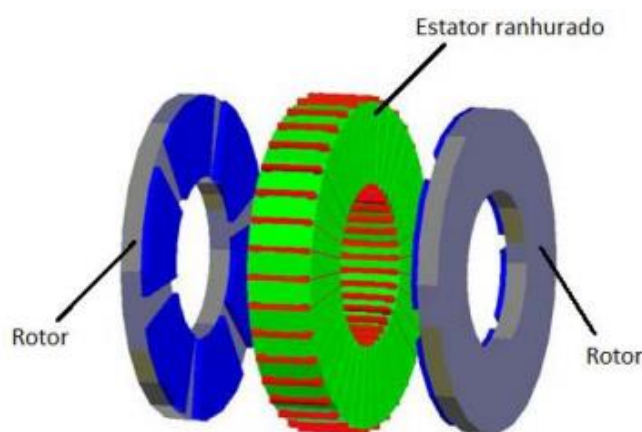


Figura 12 - Composição da máquina de torus, em foco os rotores e o estator.

Fonte: AYDIN, (2004).

Dentre as máquinas de fluxo magnético axial constituídas por ímãs permanentes, um exemplar se destaca, a máquina de fluxo magnético axial com núcleo toroidal.

2.7.2.1 Máquina de fluxo magnético axial com núcleo toroidal

A máquina de fluxo magnético axial que possui bobinas enroladas ao redor de um estator e núcleo toroidal é denominada como máquina de torus. O estator da topologia pode aparecer em duas versões, sem ranhuras ou ranhurado (LOUREIRO, 2008; PARVIAINEM, 2005; AYDIN *et al.*, 2001).

No caso toroidal, o núcleo é homogêneo, sem apresentar frestas, esboçando uma geometria mais eficiente e simples, facilitando uma distribuição de densidade de fluxo magnético em três vertentes ortogonais e um melhor aproveitamento do enrolamento de armadura, de acordo com o arranjo adotado para fixação dos ímãs permanentes. Gerador de torus conforme a figura 13 (LOUREIRO, 2008).

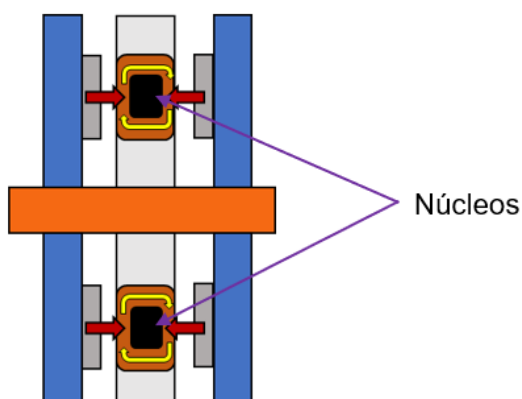


Figura 13 - Gerador torus com enfoque na presença dos núcleos toroidais.

Fonte: adaptado de LOUREIRO, (2008).

Como circunstância negativa deste núcleo, se encontram as difrações no estator como consequência da ocorrência de um fluxo magnético variável sobre o material. Dada atividade resulta no surgimento de uma densidade de corrente elétrica induzida, correlacionando-se diretamente ao material, suas dimensões, densidade de fluxo magnético e velocidade (MUKERJI, 2008). A figura 14 mostra a distribuição de fluxo magnético.

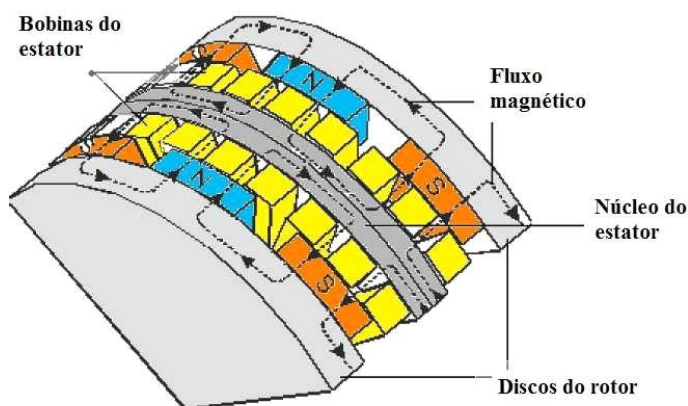


Figura 14 - Distribuição de fluxo magnético na máquina: fluxo no entreferro no sentido axial para ímãs e mesma polaridade alinhada.

Fonte: HUANG, (2001)

A operação em um motor de fluxo magnético axial ocorre devido ao desempenho das forças presentes no setor radial, promovendo a ativação dos condutores ao serem percorridos por uma corrente perante a ação de um fluxo axial. Porém, deve haver uma inversão da corrente em cada condutor quando esta passa

da região de ação de um polo para a região de ação de outro polo, de modo a manter a orientação (TAVARES, 2008).

2.7.2.1.1 Máquina torus

A concepção usual desta técnica se define pela forma alocar os ímãs permanentes nos dois discos de rotor com ímãs em posição NN, gerando a repulsão entre polos, sendo que os enrolamentos toroidais de estator são designados em um estator sem ranhuras (Figura 15) (MAIA, 2011).

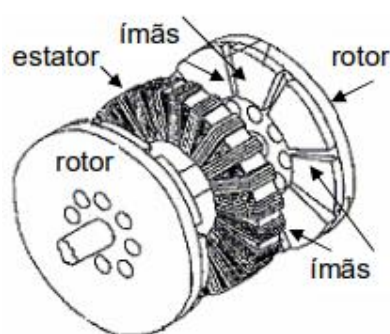


Figura 15 - Representação da máquina de torus.

Fonte: LOUREIRO, (2008)

A máquina acima faz referência a uma outrora idealizada por Caricchi, a qual era constituída por uma lâmina de ferro enrolada e rotores contendo ímãs permanentes. Sobre o núcleo foi montado um enrolamento trifásico com bobinas toroidais concentradas (PAN, 1995).

Os ímãs são responsáveis por realizar o direcionamento do fluxo a partir do entreferro para o estator. A corrente que circula pelas bobinas realiza interação com o fluxo dos ímãs permanentes, resultando em uma força tangencial e o conjugado da máquina resulta em uma contribuição de todas as forças atuantes nos rotores (PAN, 1995).

A ligação das bobinas ocorre de forma com que os rotores, que acionam os eixos concêntricos giram em sentidos opostos, e apresentem regiões de fluxo zero no estator, permitindo que sua construção seja seccionada (Figura 16) (PAN, 1995).

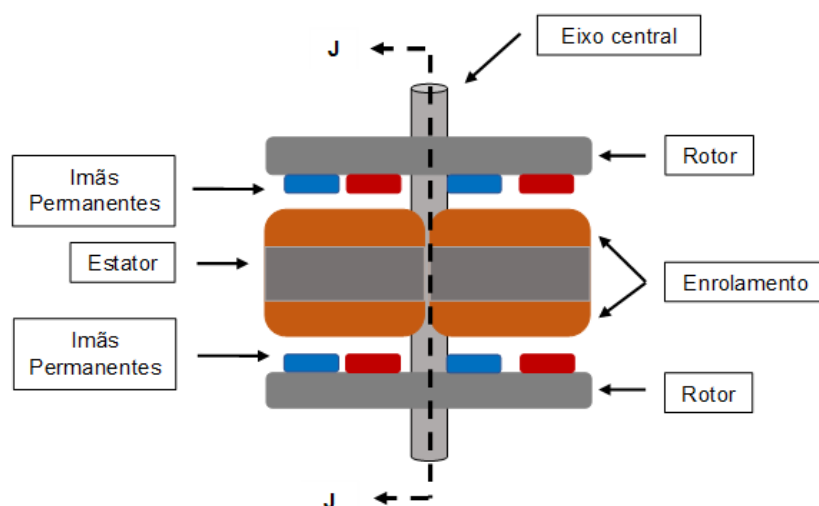


Figura 16 - Visão jj da máquina de torus.

Fonte: adaptado de LOUREIRO, (2008)

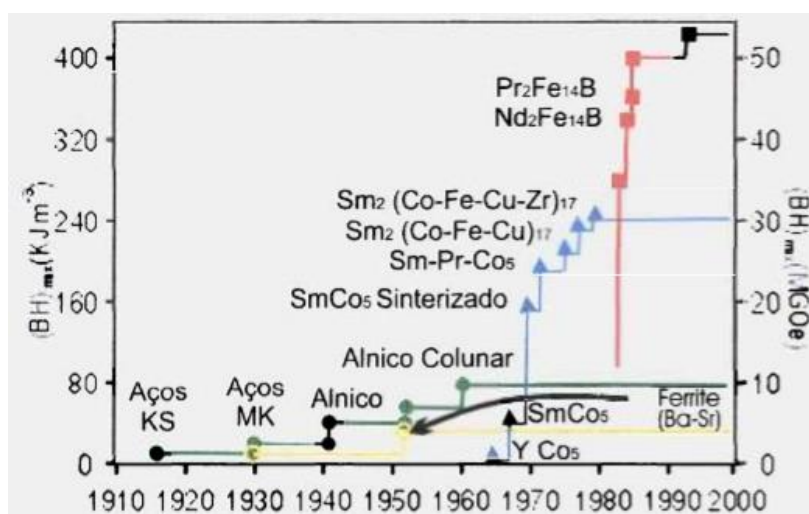
2.8 Ímãs de Neodímio

Em 1983, foi descoberto no Japão um novo material magnético à base de neodímio-ferro-boro (NdFeB). Estes ímãs foram produzidos utilizando a técnica de metalurgia do pó, com um $(BH)_{max}$ (Produto de Energia Máximo) de 36 a 50 Mega-Gauss Oersteds (MGOe) (SAGAWA *et al.* 1984-A).

Entretanto, os ímãs de NdFeB apresentam temperatura de Curie em torno de 312°C , que é o menor valor entre os ímãs permanentes. Sendo assim, eles são pouco resistentes a altas temperaturas. Também são pouco resistentes à corrosão e em função disto, são revestidos com uma camada protetora de níquel (HERBST & CROAT, 1991).

No gráfico 8 está ilustrada a evolução do produto de energia máximo dos ímãs permanentes ao longo das últimas décadas.

Além de ferro (Fe), neodímio (Nd) e boro (B), estes ímãs contêm outros elementos químicos em sua composição. Entre eles está o cobalto (Co), que, em alguns casos, está presente como complemento do ferro, porém devido ao custo elevado, é mantido em baixas concentrações. Há também outros metais terras raras, como praseodímio (Pr) e disprósio (Dy), cujas funções são a melhoria das propriedades magnéticas e o aumento da temperatura de Curie, respectivamente (MÜNCHEN *et al.*, 2016).

Gráfico 8 - Avanço histórico do produto de energia máximo.

Fonte: SOARES, (2005)

A média das concentrações dos metais encontrados nos ímãs por diversos autores é apresentada na tabela 2.

Tabela 2 - Média da composição em ímãs.

| Elemento | Nd | Pr | Dy | Fe | B | Co |
|-------------------|-------|------|------|-------|------|------|
| Média (%) | 25,30 | 3,83 | 2,66 | 64,56 | 0,97 | 2,42 |
| Desvio padrão (%) | 3,79 | 2,94 | 1,67 | 4,38 | 0,13 | 2,01 |

Fonte: STUHLPFARRER *et al.*, (2015)

Como apenas três dos 90 elementos naturais da crosta terrestre (ferro, níquel e cobalto) são ferromagnéticos a temperatura ambiente, além do gadolínio que se torna ferromagnético a poucos graus abaixo de zero, o anúncio da obtenção de ímãs permanentes com propriedades magnéticas a temperaturas ambientes despertou enorme interesse no desenvolvimento de compostos ternários Nd-Fe-B. As propriedades magnéticas dos compostos ternários de terras raras do tipo Nd-Fe-B são fortemente influenciadas pela sua microestrutura e por tratamentos térmicos após a sinterização (ANGELO, 2005).

A força dos inerente aos ímãs de neodímio são devidas a diversos fatores. Dentre esses, o mais importante é a sua estrutura cristalina $Nd_{12}Fe_{14}B$ que é tetragonal e possui uma anisotropia magneto-cristalina uniaxial muito elevada,

fazendo com que os cristais desse material se magnetizam, quase que exclusivamente, ao longo de um eixo específico (ANGELO, 2005).

Esta resistência da malha do cristal, quando sofre uma translação de sua direção de magnetização, dá ao composto uma coercividade muito elevada, dificultando que o mesmo seja desmagnetizado. Além disto, por possuir 7 elétrons não pareados, os átomos de neodímio, podem ter um grande momento de dipolo magnético, quando comparado ao do ferro que possui, em média, 3 elétrons não pareados (ANGELO, 2005).

O campo magnético, em um ímã, é gerado pelos elétrons alinhados que giram na mesma direção. Partindo deste princípio, o $Nd_{12}Fe_{14}B$ apresenta uma elevada magnetização de saturação (J_s) de aproximadamente 1,6 T, densidade de fluxo magnético de 1,3 tesla e densidade de energia máxima proporcional a J_s^2 com fase magnética que tem o potencial para armazenar grandes quantidades de energia ($BH_{max} \sim 512 \text{ kJ/m}^3$ ou 64 MGOe) (ANGELO, 2005).

Este valor de energia magnética é aproximadamente de 18 vezes maior do que ímãs “comuns” em termos de volume. Sendo esta propriedade, maior em ligas NdFeB do que em ímãs de cobalto de samário (SmCo), que foram os primeiros tipos de ímãs de terras raras a serem comercializados (ANGELO, 2005).

Os ímãs de neodímio possuem grades (N35, N42, N50, entre outras), que, em geral, significam uma força maior do ímã. Este número da grade é originário das propriedades do material, que se caracteriza pelo produto de energia máxima magnética, expressada em Mega Gauss Oersteds (MGOe). Este valor representa o pico da “Curva de desmagnetização”, que também é conhecida como “Curva BH” (MISSEL *et al*, 1987). Na tabela 3 estão apresentadas as grades de ímãs de neodímio.

Tabela 3 - Especificações das grades de ímãs de neodímio.

| Tipo | Remanência Br | Força Coercitiva bHc | Força Coercitiva Intrínseca iHc | Produto Energético Máximo (BH)máx | Temperatura de trabalho |
|-------|---------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| | kG | kOe | kOe | MGOe | °C |
| N35 | 12.1 | 10.8 | 12.0 | 35 | 80 |
| N35SH | 12.1 | 10.8 | 12.0 | 35 | 150 |
| N42 | 13.2 | 11.5 | 12.0 | 42 | 80 |
| N42SH | 13.2 | 11.5 | 12.0 | 42 | 150 |
| N48 | 14.1 | 10.5 | 11.0 | 48 | 80 |
| N50 | 14.5 | 10.0 | 11.0 | 51 | 60 |
| N52 | 14.8 | 10.0 | 11.0 | 53 | 60 |

Fonte: MAGTEK, (2020)

Entretanto, apesar da sua aplicabilidade, o Neodímio, o praseodímio e o disprósio são listados como metais críticos em função da dificuldade de extração e produção combinados com o aumento da demanda para as tecnologias atuais. Além disto, estes metais são praticamente um monopólio chinês, que implementou quotas de exportação, o que encarece e dificulta seu uso (SPRECHER *et al.*, 2014).

Em 2007 a quantidade de metais neodímio, praseodímio e disprósio em uso nas aplicações ao redor do mundo na forma de ímã NdFeB somavam 97 mil toneladas, o que representa quatro vezes a quantidade destes metais que foi extraída e beneficiada no mesmo ano (DU & GRAEDEL, 2011).

3 METODOLOGIA

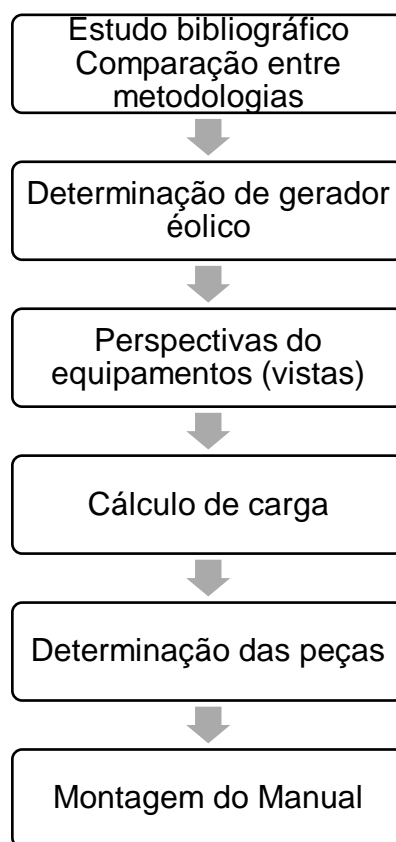
Para elaboração da sistemática do projeto, foi aplicada uma pesquisa exploratória que se baseia no levantamento bibliográfico comparativo entre os modelos de geradores eólicos que tiveram como base teses de mestrados e doutorados, artigos publicados e livros para o desenvolvimento de um projeto que servirá como instrução para a montagem futura de um protótipo.

Para este trabalho optou-se pela construção do gerador eólico do tipo axial, visto que, as máquinas de fluxo axial, demonstram superioridade em densidade de potência e reduzido volume efetivo, o que favorece a utilização dessa topologia em sistemas eólicos, onde o fluxo é paralelo ao sentido de rotação.

O modelo do gerador de torus foi construído com o reaproveitamento dos ímãs de neodímio proveniente de resíduos eletrônicos. Além do gerador, para construção do manual de montagem optou-se pelo rotor de eixo vertical modelo Savonius devido a sua facilidade de encontrar peças, a resistência as variações dos ventos e a possibilidade de implantar em centros urbanos.

Todo este processo foi realizado de acordo com o Fluxograma 2 que apresenta as etapas do estudo bibliográfico com a comparação entre metodologias, determinação do gerador eólico, perspectivas do equipamento, cálculo de carga, determinação das peças e montagem do manual.

Após todos os levantamentos bibliográficos sobre os esquemas de montagem, foi possível realizar a montagem do manual do protótipo para futura construção.

Fluxograma 2 - Esquema metodológico.

Fonte: AUTORES, (2020)

3.1 Manual do aerogerador

Nesse item foram apresentados todo o desenvolvimento bibliográfico e especificações necessárias para a futura geração de um manual de montagem do aerogerador.

3.1.1 Cálculos de carga

Para determinar a eficiência do aerogerador feito com imã neodímio são necessários cálculos de carga com o objetivo de compreender o funcionamento do equipamento conforme as determinações escolhidas para montagem.

O cálculo de potência eólica foi realizado através da equação 1 que depende dos valores de densidade, superfície e velocidade do vento.

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (1)$$

P = Potência em W/m²

ρ = Densidade do vento em Kg/m³ (1,2 Kg/m³ a nível do mar)

A = Superfície do vento que incide nas hélices em m²

V = Velocidade do vento em m/s

O cálculo do rendimento do aerogerador é feito por meio da equação 2 a partir da determinação da eficiência teórica de Betz e com os rendimentos do rotor, gerador, pás e multiplicador de velocidade.

$$\eta = \eta_B \cdot \eta_A \cdot \eta_M \cdot \eta_r \cdot \eta_G \quad (2)$$

η_B = Eficiência teórica de Betz;

η_A = Rendimento aerodinâmico das pás;

η_M = Rendimento do multiplicador de velocidade

η_r = Rendimento do rotor;

η_G = Rendimento do gerador;

O cálculo de razão de velocidade é por meio da equação 3 com os valores de diâmetro, numero de rotações e velocidade.

$$Rv = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{v} \quad (3)$$

N = Número de rotações do rotor por segundo;

D = Diâmetro;

V = Velocidade do rotor;

O cálculo de potência do rotor é realizado a partir da equação 4:

$$Pr = \eta_B \cdot \eta_A \cdot \eta_r \cdot Pd \quad (4)$$

P_d = Potência disponível

Para calcular o coeficiente de potência é necessário se fazer a relação entre a potência aerodinâmica do vento que é extraída na turbina (P_e) e a potência disponível no vento (P_v) como mostra a equação 5. Além desse cálculo, também é possível calcular o coeficiente de potência com a eficiência aerodinâmica e o teorema de Betz na equação 6.

$$C_p = \frac{P_e}{P_v} \quad (5)$$

$$C_p = \eta_B \cdot \eta_A \quad (6)$$

3.1.2 Composição do gerador de fluxo axial - Torus

O gerador de fluxo axial de torus escolhido para gerar energia elétrica através da força dos ventos apresenta uma simplicidade na sua montagem e facilidade para o uso de ímãs permanentes provenientes do reaproveitamento de materiais eletroeletrônicos.

Para montagem desse gerador são necessárias poucas peças e todas de fácil aquisição, o que torna uma excelente opção de gerador para ser usado em domicílios e prédios. As peças necessárias são:

- Dois rotores unilaterais;
- Um estator central;
- Ímãs permanentes, sendo fixados nas faces internas dos rotores;
- Um eixo penetrante ao sistema;
- Enrolamento.

As Figuras 17 e 18 representam respectivamente as vistas frontal e em corte jj do gerador, onde se observa as peças fundamentais para a montagem de um sistema.

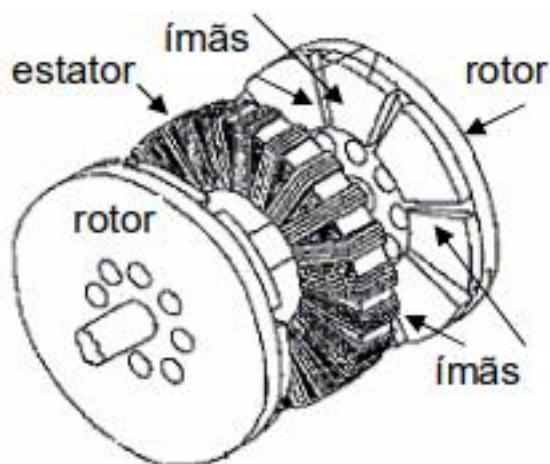


Figura 17 - Representação da máquina de torus.

Fonte: LOUREIRO, (2008)

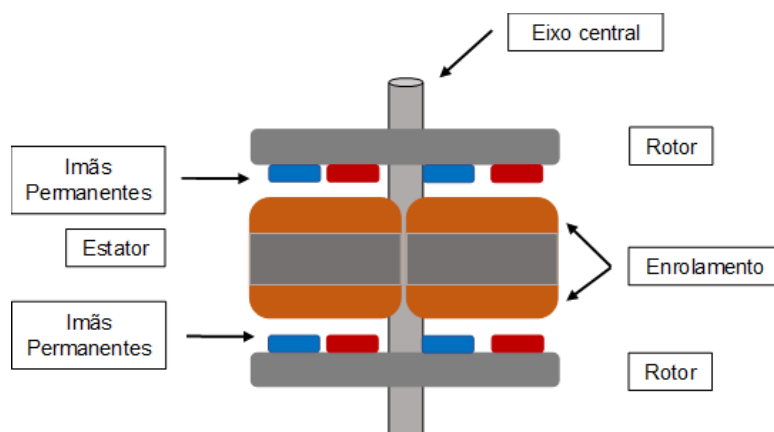


Figura 18 - Representação da posição dos ímãs na máquina de Torus.

Fonte: adaptado de LOUREIRO, (2008).

As peças para montagem do gerador de torus possuem materiais específicos. As composições dessas peças são:

- Rotor - constituído de aço (sendo rígido e de material único);
- Estator (núcleo) - constituído por material ferromagnético;
- Estator (sustentação) - composto por uma peça de alumínio;
- Ímã - ligas de neodímio-ferro-boro (NdFeB);
- Eixo - Constituído por aço;
- Enrolamento - material não magnético e não condutivo.

Na tabela 4 é possível conhecer as medidas de cada uma das peças para que seja dimensionado o gerador.

Tabela 4 - Dimensionamento do gerador.

| DIMENSÕES DAS PEÇAS | MEDIDAS EM MILÍMETRO (MM) |
|---|----------------------------------|
| Diâmetro externo dos discos de estator | 560 |
| Diâmetro interno dos discos de estator | 380 |
| Espessura dos discos de estator | 30 |
| Espessura dos discos externos de rotor | 20 |
| Espessura do disco central de rotor | 10 |
| Espessura do entreferro (<i>airgap</i>) | 2 |
| Espessura das bobinas de estator em todas as direções | 8 |
| Espessura dos ímãs permanentes | 40 |
| Comprimento radial do ímã permanente | 120 |
| Espessura da carcaça | 10 |
| Distância da carcaça para cabeça da bobina | 5 |

Fonte: AUTORES, (2020) *apud* LOUREIRO, (2008)

3.1.3 Composição do aerogerador de eixo vertical

O eixo do rotor vertical Savonius apresenta vantagem para construção e aquisição de peças, além da facilidade de instalar em um centro urbano e a rigidez da sua estrutura para aguentar as oscilações da força dos ventos (MULLER, 2015).

As peças e sua composição para montagem do aerogerador vertical são apresentadas abaixo, bem como seu dimensionamento (Tabela 5):

- Base de madeira para sustentação da turbina
- Turbina de helicoidal é feita com tonel ou alumínio;
- Tubo de aço inox sem costura para suporte da estrutura;
- Tubo de aço inox sem costura do eixo do gerador
- Estrutura de alumínio fixa no chão para proteção da caixa multiplicadora de velocidade e gerador;

- Caixa multiplicadora com duas engrenagens;
- Gerador de torus;
- Eixo principal da turbina;
- Eixo do gerador.

Tabela 5 - Dimensionamento do aerogerador.

| PEÇAS | MEDIDAS |
|------------------------|---|
| Engrenagem maior | 123 mm x 28 mm |
| Engrenagem menor | 33 mm x 20 mm |
| Tubo de aço de suporte | Diâmetro 0,5" – 12,7mm / Comprimento 2 metros |
| Tubo de aço do gerador | Diâmetro (13,7 mm X 9,1 mm) Comprimento 30 cm |
| Base de madeira | 60 x 60 cm (comprimento e largura) |
| Tonel | 60 x 60 x 85 cm (comprimento, largura e altura) |
| Parafuso | 10 mm x 40 mm |
| Porca | 10 mm |
| Flange | Slip On 150 - NPS3 (modelo) |

Fonte: AUTORES, (2020)

O aerogerador proposto no trabalho apresenta uma montagem simples que será descrita na seção 3.2. A Figura 19 apresenta o modelo proposto do aerogerador de Savonius e suas repartições.

Onde:

- (1) Hélice do sistema Savonius;
- (2) Tubo de aço;
- (3) Flange
- (4) Parafuso e porca;
- (5) Engrenagens (motora e movida);
- (6) Gerador Torus;
- (7) Rotor;
- (8) Base.

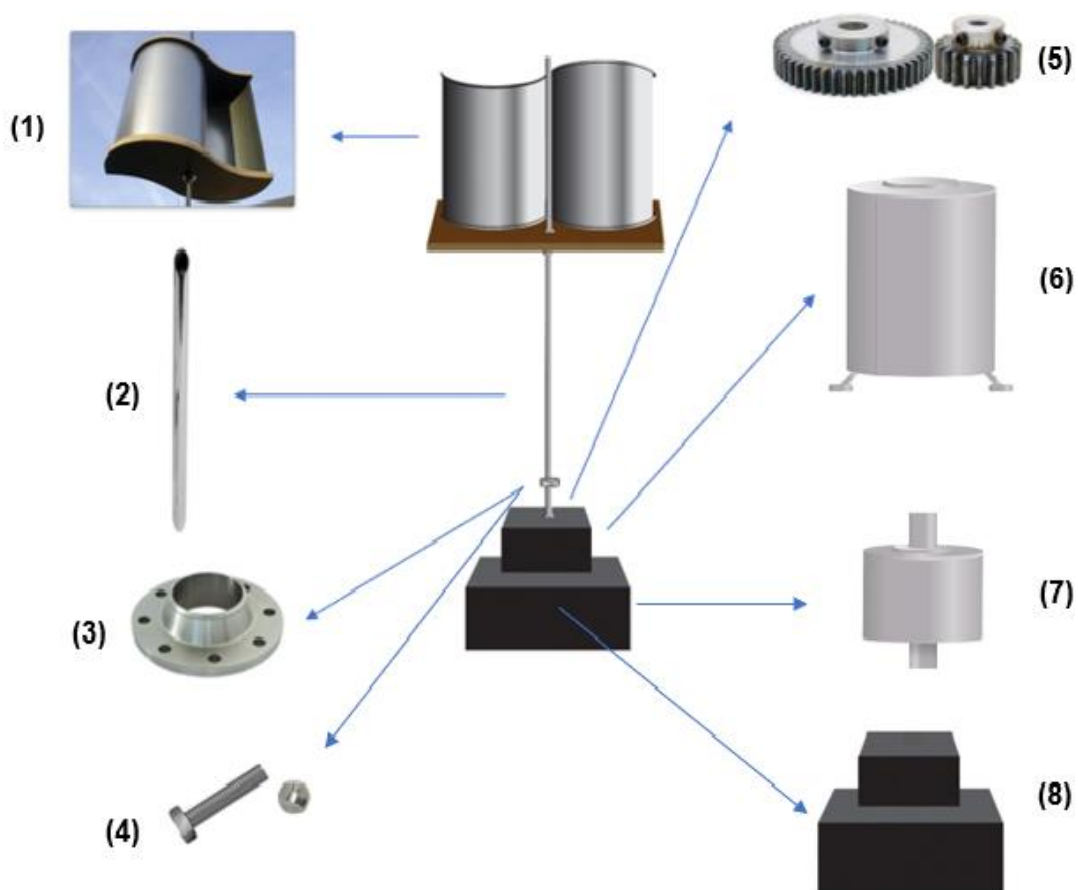


Figura 19 - Aerogerador de Savonius e suas peças.

Fonte: AUTORES, (2020)

3.2 Passos para montagem do manual do gerador

Para construção do aerogerador de eixo do rotor vertical foram necessárias as peças e as dimensões descritas nas tabelas 4 e 5. Os passos para montagem do aerogerador são:

- Primeiramente, monte o gerador torus que será a base do equipamento. Para sua montagem será necessário um estator, tubo de alumínio de menor espessura, dois rotores e os ímãs de neodímios que serão encaixados entre o rotor e o estator.
- As figuras 20, 21 e 22 mostram o processo de montagem.

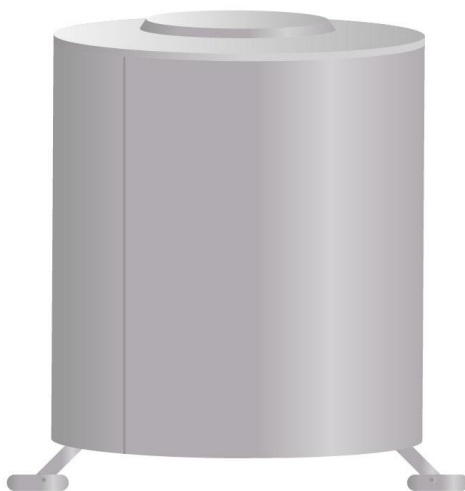


Figura 20 - Gerador montado.

Fonte: AUTORES, (2020)



Figura 21 - Rotor montado.

Fonte: AUTORES, (2020)

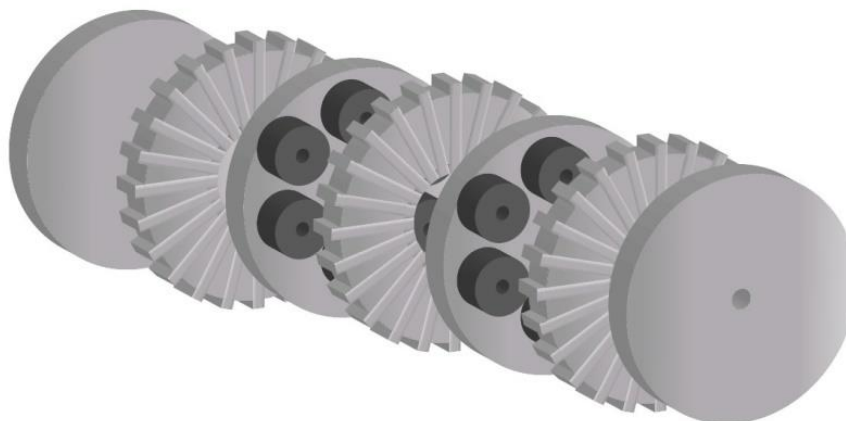


Figura 22 - Composição do rotor.

Fonte: AUTORES, (2020)

- Após a montagem do gerador, o próximo passo será a montagem da caixa de multiplicação de velocidade composta por duas engrenagens e os tubos de alumínio.
- O tubo de alumínio de menor espessura é o mesmo que passa pelo gerador. Esse tubo é ligado à engrenagem de menor diâmetro. Enquanto o tubo de alumínio de maior espessura é o tubo de sustentação das hélices e também passa pela engrenagem de maior diâmetro.
- A caixa de engrenagens será fixada junto ao gerador de torus.
- As figuras Figura 23 e 24 mostram a montagem da caixa de engrenagens.

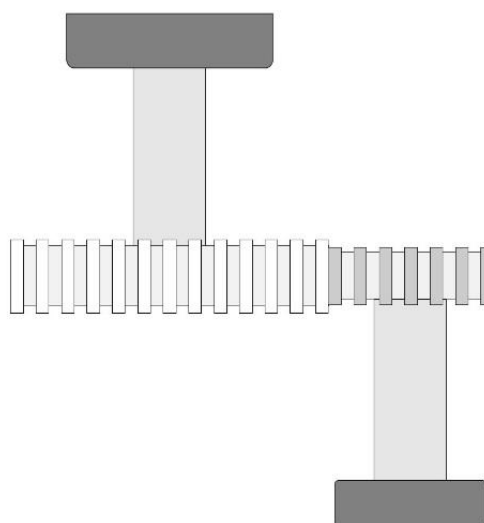


Figura 23 - Caixa de engrenagens.

Fonte: AUTORES (2020)



Figura 24 - Gerador e caixa de engrenagens.

Fonte: AUTORES (2020)

- Depois será montada a hélice de Savonius. Para montagem é necessário um tonel de alumínio ou uma peça de alumínio dobrável, uma base de madeira e um flange para fixar as peças. A figura 25 mostra como deve ser realizado a montagem da hélice.

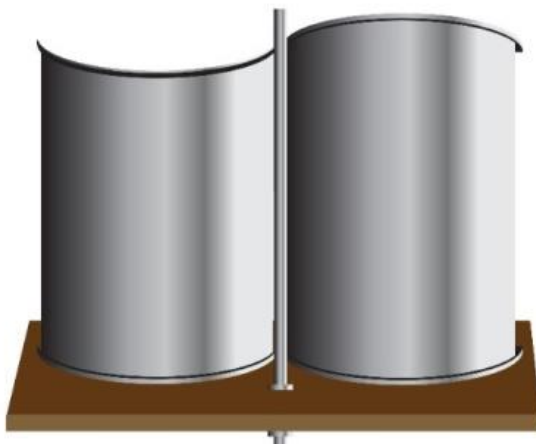


Figura 25 - Hélice de Savonius.

Fonte: AUTORES, (2020)

4 ANÁLISES E DISCUSSÕES

Foram detalhados os estudos e as análises realizadas para construção do protótipo, além de descrever as etapas e as justificativas para as peças escolhidas para montagem.

4.1 Protótipo do gerador eólico

Nos tópicos a seguir serão detalhadas as escolhas da montagem e as definições de cada peça para construção do gerador eólico proposto.

4.1.1 Rotor dos aerogeradores

Para escolha do rotor foram considerados aspectos variados tais como: facilidade de montagem, materiais mais fáceis de serem adquirido, custo para montagem e desempenho.

4.1.2 Eixo do rotor vertical

O eixo do rotor utilizado neste trabalho para geração de energia eólica foi o do tipo rotor vertical que apresentar algumas facilidades e vantagens frente ao eixo horizontal, tais como:

- Melhor desempenho com ventos turbulentos;
- Menores níveis de poluição sonora quando comparadas ao eixo horizontal;
- Fácil instalação das em regiões urbanas;
- Bom desempenho frente à variação de velocidade dos ventos;
- Baixo custo de peças;
- Manutenção menos complexa, podendo ser realizada facilmente;
- Recebe pouca pressão na estrutura da turbina garantindo uma maior simplicidade na montagem;
- Gerador fixo;
- Pouco espaço para instalação.

4.1.3 Máquina de ímãs permanentes - Gerador

Para definição do gerador do protótipo foram considerados os aspectos de montagem, eficiência e simplicidade do gerador. Foi escolhida a máquina de fluxo axial e o modelo escolhido foi o de torus. No tópico 2.7 foram detalhados os tipos de máquinas elétricas. Abaixo foram descritas as vantagens do fluxo axial de torus.

- Montagem mais simples do núcleo do estator;
- Custos mais baixos para construção;
- Promove uma boa ventilação e refrigeração do estator.

5 CONCLUSÃO

Desta forma, conclui que:

- Será possível a construção do manual para montagem de um gerador eólico que utiliza ímãs de neodímio, para a geração de energia alternativa;
- A montagem deste sistema pode ser feita de forma fácil, em centros urbanos;
- O sistema utiliza material reciclado, o que reduzir os impactos ocasionados pelos descartes de materiais eletroeletrônicos;
- A energia alternativa gerada poderá vir a diminuir o consumo de combustíveis fósseis, diminuindo a liberação de gases poluentes e, com isso, auxiliar na diminuição dos impactos ambientais;
- Este manual vai auxiliar na geração de mão-de-obra especializada na área de geração de energias alternativas não convencionais;
- Será possível gerar renda para população mais pobre através da reciclagem.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O projeto teve como base o levantamento bibliográfico para montagem do manual do aerogerador de eixo vertical, sendo assim, é proposto que para os próximos projetos relacionados ao reaproveitamento de ímãs neodímios de resíduos eletroeletrônicos na geração de energia eólica que seja realizada a montagem do equipamento, os testes de funcionalidade e os cálculos de cargas.

Para um diferencial no acompanhamento da eficiência do aerogerador, recomenda-se realizar os testes em diferentes locais do centro urbano, para desta forma, gerar um quantitativo de dados maiores e análises mais precisas sobre o potencial energético.

Como o manual da turbina eólica sugere o uso de ímãs permanentes de neodímio e o uso de uma caixa de engrenagem de velocidade, sugere-se a análise destes através de testes e cálculos de cargas para que o estudo seja mais aprofundado quanto ao seu rendimento energético.

Um projeto futuro poderá realizar a construção do Savonius e do Darriues H com a mesma estrutura de gerador e caixa de engrenagem com o intuito de analisar o desenvolvimento energético de ambos os modelos em centros urbanos. Desta forma, será possível analisar a eficiência do ímã de neodímio proveniente do reaproveitamento de resíduos eletrônicos nos aerogeradores de eixo vertical.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** Inventta Consultoria Ltda. 2013. Disponível em: http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1416934886.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **A Indústria Elétrica E Eletrônica Impulsionando A Economia Verde E A Sustentabilidade.** Disponível em: <http://www.abinee.org.br/programas/imagens/abinee20.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2020.

ACKERMANN, Thomas. **Wind Power in Power Systems.** 2. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons., 2012. 1120 p. Acesso em: 15 ago. 2020.

ALTOÉ, L. et al. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética.** Revista Estudos Avançados, São Paulo, v.31, p.89, Jan/Apr.2017.

ALVES, José. **Estimativa da potência, perspectiva e sustentabilidade da energia eólica no estado do Ceará.** 2006. 169 f. Tese Doutorado– Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

ALVES, José. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional** [online]. Taubaté, SP. V.6, n.1, p.165-188, Jan-Abr,2010. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/266/181>. Acesso: 19 jan.2020

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Programa de eficiência energética.** Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>. Acesso em: 12 abr. 2020.

ANGELO, J. D. **Estudo das propriedades e microestrutura de ímãs permanentes de terras raras e metais de transição preparados pelo processo de decrepitação**

hidrogênio. 2005. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2005. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Jonhson%20Delibero%20Angelo_D.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

ARAUJO, G; MENDES, L. F. **Energia renovável ou “limpa”?** Buscando a percepção dos alunos concluintes do curso técnico em meio ambiente do IFF Campus Campos-Guarus. 2016. 23 f. Artigo (Especialização). – Programa de Pós-graduação Lato Sensu em Educação Ambiental. Instituto Federal Fluminense, 2016.

AMBIENTE ENERGIA. **IPCC: Brasil marca presença em energias renováveis**. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2011/05/ipcc-brasil-marca-presenca-em-energias-renovaveis/11427>. Acesso em: 19 jan.2020.

AYDIN, M; HUANG, S; LIPO, T. Design and 3d eletromagnetic field analysis of non-slotted and slotted TORUS type axial flux surface mounted permanent magnet disc machines. **INTERNATIONAL ELECTRICAL MACHINE AND DRIVE CONFERENCE PROCEEDINGS**, [s. l.], p. 645-651., 2001. Acesso em: 10 ago. 2020

BALDÉ, C. P.; FORTI V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor**, 2017. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. Disponível em: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste_Monitor_2017__electronic_single_pages_.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.

BEZERRA, Adriana dos Santos. **Fatores de influência sobre as quantidades de baterias e aparelhos celulares reciclados na cidade de Campina Grande-PB**. 2009. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, [S. l.], 2009. Disponível em: https://docplayer.com.br/9516549-Adriana-dos-santos-bezerra.html#show_full_text. Acesso em: 12 dez. 2019.

BIANCHI, F D.; BATTISTA, H; MANTZ, R. J. **Wind Turbine Control Systems: Principles, Modelling and Gain Scheduling Design**. [S. l.]: Springer, 2007. 783 p. Acesso em: 15 ago. 2020.

BISCUOLA , J; BOAS, N. Tópicos de Física 3: **Eletricidade, física moderna**, Saraiva, ed. 15ª, p. 304 e 305, 2001. Acesso em: 20 mai. 2020.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO [BNDES], Biblioteca Digital, 2005. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado.** Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2436/2/BS%2021%20O%20papel%20das%20fontes%20renov%c3%a1veis_P.pdf. Acesso em 19 jan.2020

BRAGA, R; **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações.** 2008. 80 p. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. [S. l.], 2 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 10 dez. 2019.

BOLETINS SETORIAIS. **Brasil é o líder de produção de resíduo eletrônico na América Latina.** Disponível em: <http://www.fiepr.org.br/boletins-setoriais/6/especial/brasil-e-o-lider-de-producao-de-residuo-eletronico-na-america-latina-2-32022-380977.shtml>. Acesso em:18 abr;2020.

BORSOI, Z.; CAMISÃO, M. L.; LANARI, N. L.; TORRES, S. D. A.; GOMES, S. M. **Resíduos Sólidos Urbanos. Informe Infra-estrutura: Área de Projetos de Infra-Estrutura,** Brasil, n.12, p.1-7, jul.1997. Disponível em: <file:///C:/Users/bruno/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/TCC/16704-Texto%20do%20artigo-73990-1-10-20121027.pdf>

BARBOSA, W; AZEVEDO, A. **Impactos ambientais em usinas eólicas.** 2013. Acesso em: 24 mar. 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Energias Renováveis – Riqueza sustentável ao alcance da sociedade.** Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/a->

camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/energias-renovaveis-riqueza-sustentavel-ao-alcance-da-sociedade. Acesso em: 19 jan.2020

CÂNDIDO, R. B. **Perspectivas da Matriz Energética Mundial e do Brasil**. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/273773356_Perspectivas_da_Matriz_Energética_Mundial_e_do_Brasil. Acesso em 19 de Abril de 2020.

CANALTECH. **Brasil é o maior produtor de resíduo eletrônico da América Latina**. Disponível em: <https://canaltech.com.br/meio-ambiente/brasil-e-o-maior-produtor-de-residuo-eletronico-da-america-latina-122458/>. Acesso em: 12 abr.2020.

COSTA, R; PRATES, C. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado**. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2436/2/BS%2021%20O%20papel%20das%20fontes%20renov%c3%a1veis_P.pdf. Acesso em: 19 jan.2020.

CUSTÓDIO, R *et al.* **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica**. 2. ed. [S. l.]: Synergia, 2013. Rio de Janeiro: Eletrobrás. Acesso em: 15

DU, X; GRAEDEL, T. E. **Global Rare Earth In-Use Stocks in NdFeB Permanent Magnets**. *Journal of Industrial Ecology*, [s. l.], 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228299709_Global_Rare_Earth_In-Use_Stocks_in_NdFeB_Permanent_Magnets. Acesso em: 20 abr. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Matriz Energética e Elétrica**. 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 19 jan.2020

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE] **Balanco Energético Nacional (BEN) 2019: Ano base 2018**, 2019. Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico->

470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf. Acesso em: 19 jan.2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA [EPE]. **Energia e aquecimento global**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/energia-e-aquecimento-global>. Acesso em: 12 abr.2020.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO [FAPESP]. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. Disponível em: <http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>. Acesso em 19 dez.2019.

FARADAY, M *et al.* Experimental. **researches in electricity**, New York, v. 3, 1965. Acesso: 20 mai.2020

FERREIRA, B. **Projeto mecânico de um aerogerador de eixo vertical para geração de energia em ambientes urbanos**. 2018. Monografia (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2018.

FORBES. **5 passos para o Brasil reciclar seu resíduo eletrônico**. Disponível em: <https://forbes.com.br/colunas/2019/05/5-passos-para-o-brasil-reciclar-seu-residuo-eletronico/>. Acesso em: 3 abr.2020.

FITZGERALD,, A. E; JÚNIOR, C. K.; UMANS, S. D. Favorit Aços Especiais. **Máquinas Elétricas**, São Paulo, p. 607, 2014. Disponível em: www.favorit.com.br. Acesso em: 10 ago. 2020.

FREITAS, G; DATHEN, R. **As energias renováveis no Brasil: Uma Avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental**. Revista Nexos Econômicos, São Paulo, v.7, n.1,p. 71-92 jan/jun.2013.

G1. **Mundo produz 44,7 milhões de toneladas de resíduo eletrônico**. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/mundo-produz-447-milhoes-de-toneladas-de-residuo-eletronico-diz-relatorio.ghtml>. Acesso em: 10 abr. 2020.

G1. Descarte incorreto de resíduo eletrônico traz risco de câncer e problemas ambientais. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/educacao/noticia/2019/06/15/descarte-incorreto-de-residuo-eletronico-traz-risco-de-cancer-e-problemas-ambientais.ghtml>. Acesso em: 15 abr.2020.

GERBASE, Annelise Engel; OLIVEIRA, Camila Reis de. **Reciclagem do resíduo de informática: uma oportunidade para a química.** 2012. Artigo (Instituto de Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000700035. Acesso em: 10 dez. 2019.

GOLDEMBERG, J. Energia e Sustentabilidade. **Revista de Cultura e Extensão USP**, São Paulo, v. 14, p. 33-43, nov. 2015.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

GOVERNO FEDERAL (Brasil). Senado. **CMA avalia como elevar percentual de resíduo eletrônico reciclado, hoje em 2%.** [S. l.], 15 ago. 2019. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2019/08/15/cma-avalia-como-elevar-percentual-de-residuo-eletronico-reciclado-hoje-em-2>. Acesso em: 10 dez. 2019.

GOLTZ, E. **Estudo de máquina elétrica de fluxo axial aplicada à sistema de tração automotiva com acoplamento direto na frenagem regenerativa.** 2012. 218 p. Dissertação (Pós-graduação) - UFRGS, Porto alegre, 2012. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/76114/000883619.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 ago. 2020.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. Eletromagnetismo. **Fundamentos de Física**, Rio de Janeiro, v. 3, ed. 8, p. 265 - 267, 2009. Acesso em: 20 mai. 2020.

HAU, E. **Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics.** 2. ed. [S. l.]: Springer, 2005. 783 p. Acesso em: 15 ago. 2020.

HERBST, J. F.; CROAT, J. J. **Neodymium-Iron-Boron Permanent Magnets**. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, [s. /], 1991. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223250392_Neodymium-Iron-Boron_Permanent_Magnets. Acesso em: 20 abr. 2020.

HOFFMANN, J. **Recovering precious metals from electronic scrap**. Journal of the Minerals, Metals and Materials Society (JOM), v.44, Issue 7, pp.43-48. 1992.

HOSSAIN ABMS, SALLEH A, BOYCE AM, CHOWDHURY P, NAQQIUDIN M (2008) **Biodiesel fuel production from algae as renewable energy**. American Journal of Biochemistry and Biotechnology 4: 250 – 254.

HUANG, S. TORUS concept machines: pre-prototyping design assessment for two major topologies.. **INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE**, New York. Proceedings, v. 3, p. 1619-1625, 2001.

HUMPHRIES M. Rare Earth Elements: **The Global Supply Chain Congressional Research Service Report**, September, 2012. Disponível em: <https://fas.org/sgp/crs/natsec/R41347.pdf> Acesso em: 20 maio. 2020.

JANNUZZI, G. M. **Uma avaliação das atividades recentes de P&D em energia renovável no Brasil e reflexões para o futuro**. Energy Discussion Paper, n. 2. 64-01, p. 03, jul., 2003.

JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. **Planejamento integrado de recursos energéticos: meio ambiente conservação de energia e fontes renováveis**. Campinas, SP: Autores Associados, 1997. 174p

JANNUZZI, G. M. **Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities**. *Energy Policy*, v.3, p.1753-62, 2005.

JUSBRAZIL. **Especial: Resíduo eletrônico**. Disponível em:

<https://trf-1.jusbrasil.com.br/noticias/267381925/especial-residuo-eletronico>. Acesso em: 20 abr.2020.

KOSOW, I. L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. Porto Alegre: Globo, 1977. Acesso em: 10 ago. 2020

LINARD, F.S. **Projeto de um gerador com ímãs permanentes de fluxo axial de 50kw para aplicação em geração eólica distribuída**. 2014. 86 p. Dissertação (Mestrado) - UFC, Fortaleza, 2008. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10658/1/2014_dis_fjalinar.pdf. Acesso em: 10 ago. 2020

LOUREIRO, L. **Um estudo sobre máquinas Torus**. 2008. 16 p. Tese (Doutorado \ Engenharia de minas) - UFRGS, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21841/000635806.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 jun. 2020.

MACHADO, C. **PROJETO DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO HORIZONTAL**. 2014. Dissertação (Pós-graduação) - UFRJ, [S. l.], 2014. p. 75. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012359.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MAGTEK (São Paulo). **Ímã de Neodímio**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://www.magtek.com.br/wp-content/uploads/imas-neodimio.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

MAIA, T. **Projeto e Construção de um Gerador a Ímãs Permanentes de Fluxo Axial para Turbina Eólica de Pequena Potência**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ppgEE.ufmg.br/defesas/187M.PDF>. Acesso em: 11 jun. 2020.

MANWELL, J *et al.* **WIND ENERGY EXPLAINED: Theory, Design and Application** Second Edition. 2. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons Ltd, 2009. 705 p. Disponível em:

http://ee.tlu.edu.vn/Portals/0/2018/NLG/Sach_Tieng_Anh.pdf. Acesso em: 15 ago. 2020.

MATTOS, K; PERALES, W. **Os impactos ambientais causados pelo resíduo eletrônico e o uso da logística reversa para minimizar os efeitos causados ao meio ambiente**. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, [s. l.], 2008. Disponível em: http://www.abepro.org.br/bibli.oteca/enegep2008_TN_STP_077_543_11709.pdf. Acesso em: 12 dez. 2019.

MARQUES, Jeferson. **Turbinas eólicas: modelo, análise e controle de indução com dupla alimentação**. 2004. Dissertação (Mestrado) - UFSM, [S. l.], 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8442/JEFERSON%20MARQUES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MARTINS, F.R. *et al.* **O aproveitamento da energia eólica**. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, v. 30, n°1, 2008.

MARTINS, A. Cadernos de História e Filosofia da Ciência. **Tradução do artigo de Oersted**, [s. l.], ano 10, p. 115-122., 1986. Acesso em: 20 mai. 2020.

MCLEAN, D. **Development of the Dual Vertical Axis Wind Turbine with Active Blade Pitch Control**. 2017. Monografia (Mechanical Engineering) - Concordia University, Montréal, Canada, 2017.

MEIUS ENGENHARIA LTDA. (2009). **Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais**. 2009.

MISSELL, F. P.; ROMERO, S. A.; MARTÍNEZ, J; NEIVA, A.; LANDGRAF, F. J.G.; RODRIGUES, Daniel. Caracterização de ímãs sinterizados de Nd - Dy - Fe - B. I **Seminário de Materiais Magnéticos**, [s. l.], 1989. Disponível em: <http://www.pmt.usp.br/ACADEMIC/landgraf/nossos%20artigos%20em%20pdf/89Mis%20ABM%20NdDyFeB.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

MELO, E. **Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade**. Estudos Avançados [online], São Paulo, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142013000100010&script=sci_arttext. Acesso: 12 Dez.2019.

MÜLLER, M. **Projeto de uma Turbina Eólica de Eixo Horizontal**. 2015. Dissertação (Pós-graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. p. 100. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014739.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MUKERJI, S.K.; GEORGE, M.; RAMAMURTHY, M.B.; ASADUZZAMAN, K. **Eddy current in solid rectangular cores**. *Progress In Electromagnetics Research B*. v.7. p.117- 131, 2008. Acesso em: 10 jun. 2020.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Fontes renováveis de energia**. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>. Acesso em: 12 abr.2020.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES [MCTI]. **Energias renováveis**. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/SETEC/paginas/energia/Energias-Renovaveis.html?searchRef=ENERGIA&tipoBusca=expressaoExata>. Acesso em: 12 Dez.2019.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE [MMA]. **Energia**. 2005 Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/7%20-%20mcs_energia.pdf. Acesso em: 12 abr.2020.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE [MMA]. **Consumo sustentável**. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/consumo_sustentavel.pdf. Acesso em: 13 abr.2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE [MMA]. **Logística Reversa**. Disponível em: <https://sinir.gov.br/logistica-reversa>. Acesso em: 10 abr.2020.

MORAGA, P.; DURÁN, V. **Guía de contenidos legales para la gestión de los residuos electrónico**. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2010/11/Guia-Legal-20112.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

MOREIRA, H; GIOMETTI, A. **Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no mecanismo de desenvolvimento limpo por meio de projetos em energia limpa**. Revista Contexto, Rio de Janeiro Internacional,v.30, n.1, Jan/Apr.2008.

MÜNCHEN, D; VEIT, H; SCHMIDT, V. **Caracterização De Ímãs De Neodímio-Ferro-Boro De Discos Rígidos (Hds)**. 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, [s. l.], 2016. Disponível em: http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_20160912214651000000074.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

NATUME , R. Y.; SANT'ANNA, F. S. P. International Workshop Advances in Cleaner Production. **Resíduos Eletroeletrônicos: Um Desafio Para o Desenvolvimento Sustentável e a Nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos**, [s. l.], 2011. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5b/6/natume_ry%20-%20paper%20-%205b6.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.

NARDINI, M; PEREIRA, R; SILVA, L. **Projeto de um gerador de ímãs permanentes de fluxo axial sem núcleo de ferro com arranjo Halbach**. Brasil Engenharia, [S. l.], p. 635, 1 jan. 2017. Disponível em: http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao_635/635_mat_eletrica_635.pdf. Acesso em: 11 jun. 2020.

NORDEX, N90. **Technical report, Nordex.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/734-nordex-n90-2500#datasheet>. Acesso em: 15 ago. 2020.

OLIVEIRA, S. **Sustentabilidade na Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO: Um estudo de caso sobre o projeto "Gerenciamento do resíduo eletrônico: uma solução tecnológica e social para um problema ambiental"**. 2014. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Políticas Públicas) - Universidade do Vale do Itajaí, [S. l.], 2014. Disponível em: <http://siaibib01.univali.br/pdf/Sebastiao%20Sidnei%20Vasco%20de%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Brasil). Nações Unidas. **Brasil produziu 1,4 milhão de toneladas de resíduos eletrônicos em 2014, afirma novo relatório da ONU.** [S. l.], 8 jun. 2016. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/brasil-produziu-14-milhao-de-toneladas-de-residuos-eletronicos-em-2014-afirma-novo-relatorio-da-onu/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Brasil). Nações Unidas. **Resíduo eletrônico representa 'crescente risco' ao meio ambiente e à saúde humana, diz relatório da ONU.** [S. l.], 3 jan. 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/residuo-eletronico-representa-crescente-risco-ao-meio-ambiente-e-a-saude-humana-diz-relatorio-da-onu/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Brasil). Nações Unidas. **Mundo produzirá 120 milhões de toneladas de resíduo eletrônico por ano até 2050, diz relatório.** [S. l.], 25 jan. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/mundo-produzira-120-milhoes-de-toneladas-de-residuo-eletronico-por-ano-ate-2050-diz-relatorio/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL [ONU]. **Resíduo eletrônico representa crescente risco ao meio ambiente e à saúde humana.** Disponível em: <https://nacoesunidas.org/residuo-eletronico-representa-crescente-risco-ao-meio-ambiente-e-a-saude-humana-diz-relatorio-da-onu/>. Acesso em: 12 abr.2020

PAN, H.; RENFREW, A.C. International Conference on Energy Management and Power Delivery. Research into wide into speed range control of a TORUS motor, [s. l.], p. 640-644, 1995. Acesso em: 10 jun. 2020.

PORTAL SOLAR. **Tudo sobre fontes de energia renováveis**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/fontes-de-energia-renovaveis.html>. Acesso: 12 nov 2019.

REIS, L; SANTOS, E. **Energia elétrica e sustentabilidade**. 2ª edição. São Paulo: Manole, 2014.

RODRIGUES, A. **Impactos Socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, [S. l.], 2007. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp084922.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SAGAWA, M; FUJIMURA, S; TOGAWA, N; YAMAMOTO, H; MATSUURA, Y. **New material for permanent magnets on a base of Nd and Fe**. Journal of Applied Physics, [s. l.], 1984. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/224533180_New_material_for_permanent_magnets_on_a_base_of_Nd_and_Fe_Invited. Acesso em: 20 abr. 2020.

SENADO NOTÍCIAS. **CMA avalia como elevar percentual de resíduo eletrônico reciclado, hoje em 2%**. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2019/08/15/cma-avalia-como-elevar-percentual-de-residuo-eletronico-reciclado-hoje-em-2>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SILVA, B. F. A. **Preparação de Ímãs Híbridos Aglomerados com Mistura de Pós à Base de TR-Fe-B e Ferrite**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Dissertação de Mestrado), 2012.

SILVA, G; SANSEVERINO,G;SANTOS, M;MESQUITA,L. **Como as plataformas digitais provocaram uma ruptura no modelo jornalismo consolidado no século XX**. Revista EPTIC. V.22, nº, jan/abr 2020. Acesso em: 20 mai. 2020.

SILVA, C *et al.* **Eletromagnetismo:.. In: FUNDAMENTOS e simulações**. 1. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014. p. 307-308. Acesso em: 20 mai. 2020.

SILVA, ALLAN. **Energia Eólica em alto mar: distribuição dos recursos e complementaridade hídrica**; Dissertação (Doutorado em ciências climáticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/20631>. Acesso em: 15 abr.2020.

SOARES, E. **Caracterização magnética e microestrutural de ímãs sinterizados de Pr-Fe-B processados pela técnica de transferência de pós e utilizando decrepitação por hidrogênio**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2005. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Edson%20Pereira%20Soares_M.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

SPRECHER, B; KLEIJN, R; KRAMER, Gert Jan. **Recycling Potential of Neodymium: The Case of Computer Hard Disk Drives**. Environmental Science and Technology, [s. l.], 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263972852_Recycling_Potential_of_Neodymium_The_Case_of_Computer_Hard_Disk_Drives. Acesso em: 20 abr. 2020.

STUHLPFARRER, P.; LUIDOLD, S; ANTREKOWITSCH, H. **Recycling of Nd₂Fe₁₄B-Magnets**. European Metallurgical Conference, [s. l.], 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283122286_Recycling_of_Nd2Fe14B_Magnets. Acesso em: 20 abr. 2020.

TAVARES, A.M. Trabalho da Disciplina de Atuadores e Dispositivos Eletromagnéticos. **Máquinas Torus**, Porto Alegre, p. 21, 2008. Acesso em: 10 jun. 2020.

TECHTUDO. **Brasil é o líder de produção de resíduo eletrônico na América Latina**. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2018/09/brasil-e-o-lider-de-producao-de-residuo-eletronico-na-america-latina.ghtml>. Acesso em: 12 abr.2020.

TIBOLA, G. **Sistema eólico de pequeno porte para geração de energia elétrica com rastreamento de máxima potência**. 2009. 237 p. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92426>. Acesso em: 10 ago. 2020.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA (SC). Poder Judiciário. **Descarte de resíduos eletroeletrônicos**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.tjsc.jus.br/web/gestao-socioambiental/descarte-de-residuos-eletroeletronicos>. Acesso em: 10 dez. 2019.

TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 1ª REGIÃO (Brasil). JusBrasil; SALVIATO, Thainá. **ESPECIAL: Resíduo eletrônico**. [S. l.], 25 jan. 2019. Disponível em: <https://trf-1.jusbrasil.com.br/noticias/267381925/especial-residuo-eletronico>. Acesso em: 10 dez. 2019.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **UN report: Time to seize opportunity, tackle challenge of e-waste**. [S. l.], 24 jan. 2019. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/un-report-time-seize-opportunity-tackle-challenge-e-waste>.

VILLALVA, MARCELO GRADELLA. **Energia Solar Fotovoltaica**. 2ª Edição. Editora: Érica, 2015. Acesso em: 10 dez. 2019.

ZANCHETTIN, M. **Análise da Inserção de Geração Eólica com Aerogeradores de Indução**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná., [S. l.], 2012. p. 134. Disponível em: https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1087/1/Marcos_Zanchettin_2012.pdf. Acesso em: 15 ago. 2020.

8 APÊNDICES

Apêndice 1 – Potencial Eólico Brasileiro

Este capítulo tem como objetivo destacar o potencial eólico no território Brasileiro com as simulações feitas em 2013 pelo CEPEL. As figuras 26, 27 e 28 ilustram a velocidade média anual do vento de acordo com a altura.



Figura 26 - Velocidade média anual do vento a 30 metros de altura

Fonte: CEPEL, (2013)

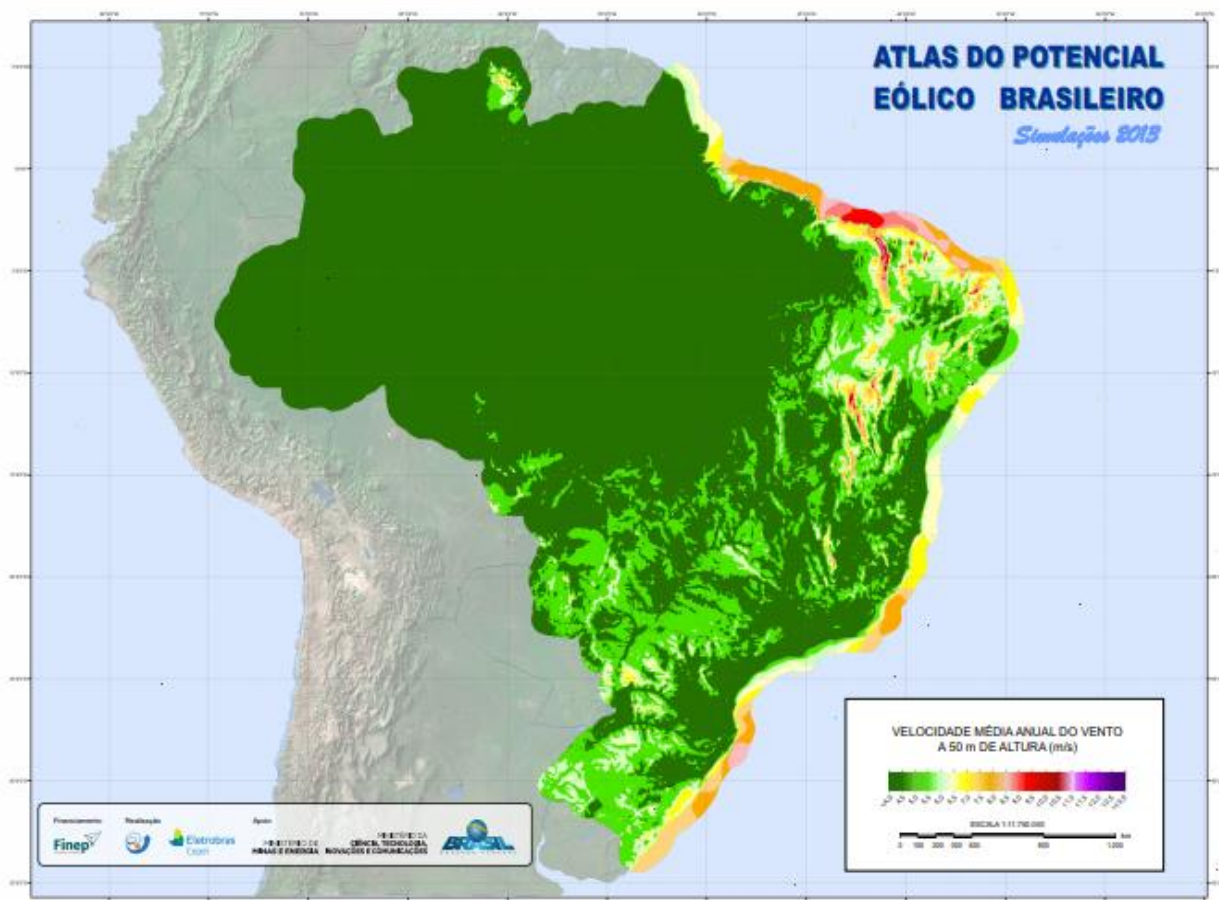


Figura 27 - Velocidade média anual do vento a 50 metros de altura

Fonte: CEPEL, (2013)

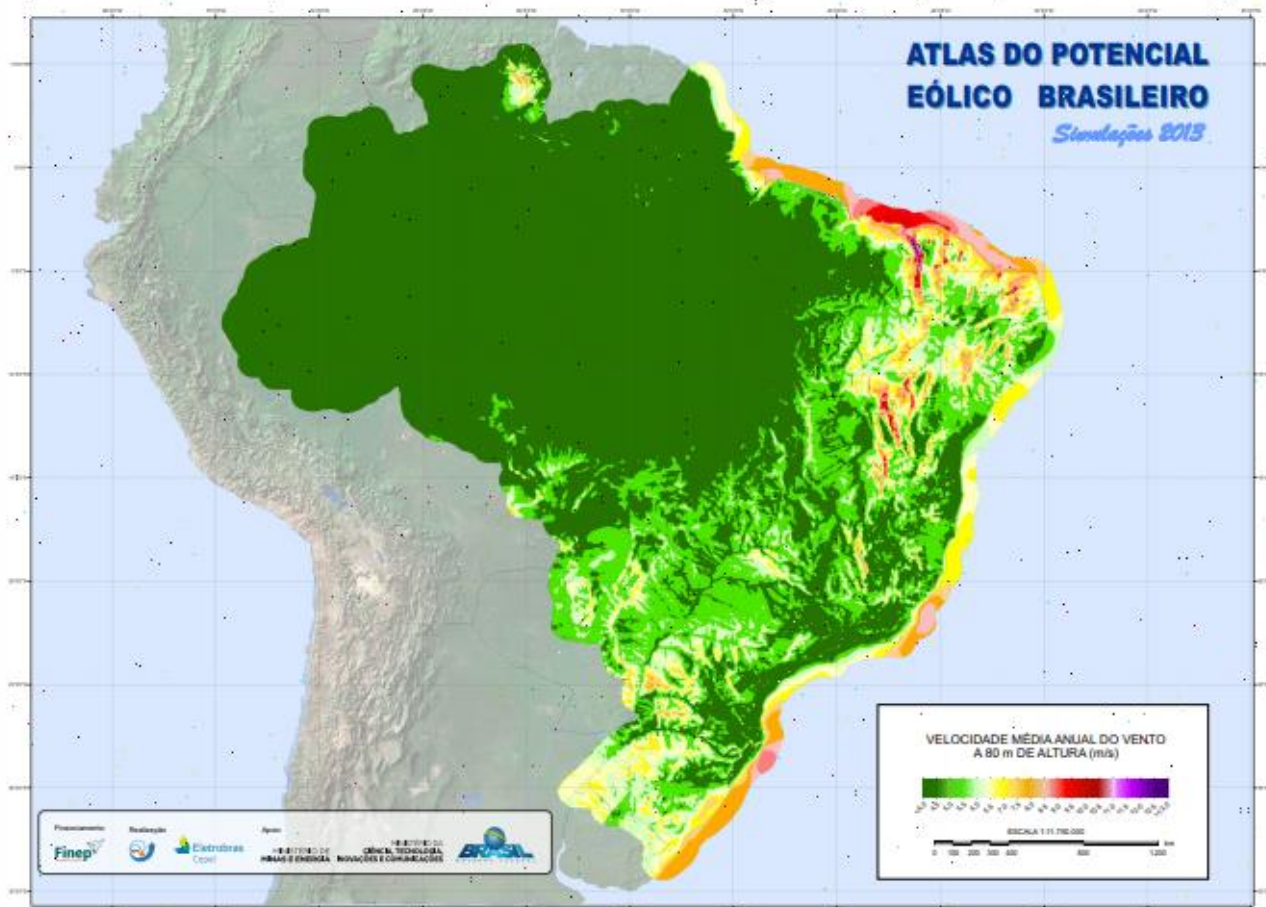


Figura 28 - Velocidade média anual do vento a 80 metros de altura

Fonte: CEPEL (2013)