

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

INSTITUTO DE FÍSICA

CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

ANDRERSON PONTUAL DE AMORIM

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE UM COMPONENTE
CURRICULAR DE ENERGIAS EÓLICA PARA O NOVO ENSINO MÉDIO:
UMA CONTEXTUALIZAÇÃO DO USO DA FÍSICA PARA PROJETO DE
ITINERÁRIO FORMATIVO EM CIÊNCIAS DA NATUREZA**

Maceió, AL

2023

ANDRERSON PONTUAL DE AMORIM

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE UM COMPONENTE
CURRICULAR DE ENERGIAS EÓLICA PARA O NOVO ENSINO MÉDIO:
UMA CONTEXTUALIZAÇÃO DO USO DA FÍSICA PARA PROJETO DE
ITINERÁRIO FORMATIVO EM CIÊNCIAS DA NATUREZA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Henrique
Albuquerque Lira

Maceió, AL

2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S586v Amorim, Anderson Pontual de.
Proposta de sequência didática de um componente curricular de energias eólica para o novo ensino médio : uma contextualização do uso da física para projeto de itinerário formativo em ciências da natureza / Anderson Pontual de Amorim. – 2023.

62 f. : il.

Orientador: Sérgio Henrique Albuquerque Lira.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Física: licenciatura) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Física. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 59-62.

1. Itinerário formativo. 2. Base Nacional Comum Curricular. 3. Física - Estudo e ensino. 4. Energia eólica. 5. Sequência didática. I. Título.

CDU: 372.853

Dedico esse trabalho aos meus avós, Ednelza e Reinaldo, ao meu pai Adriano e aos meus amigos que me ajudaram e acreditaram durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus avós e aos meus pais Ednelza Pontual, Reinaldo Pontual, Adriano Amorim que trabalharam muito para conceder uma educação de qualidade para mim, incentivando e dando oportunidades para alcançar meus objetivos.

Aos meus amigos Thyago Lisboa, Luan Fernandes, Gabriel de Lima, Erika Basílio, Rízia Leobino, Pablo Eduardo, Ana Júlia Freitas, Pedro Barbosa por estarem comigo nessa jornada e sempre me encorajar a alcançar maiores objetivos e pela motivação constante.

Aos meus amigos da universidade Flávio D'Amato, Luana Silva e Maiara Monteiro que ajudaram, acompanharam e estimularam na rotina de estudos dentro do campus.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Henrique Albuquerque Lira pelos ensinamentos e dedicação para o desenvolvimento desse trabalho que teve que ser desenvolvido em um dos piores momentos da minha vida pessoal.

Aos professores do Instituto de Física, familiares, amigos e colegas que não constam aqui, mas foram importantes no decorrer da minha formação acadêmica.

RESUMO

Recentemente, o Ministério da Educação aprovou a Nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio, que tem como objetivo principal oferecer aos estudantes uma formação mais completa e conectada com a realidade atual do mundo. Dentro desse contexto, a proposta de uma sequência didática de um componente curricular de energias eólicas surge como uma excelente oportunidade para explorar os conceitos fundamentais da física, ao mesmo tempo em que contribui para a formação de jovens mais conscientes e comprometidos com o meio ambiente.

A energia eólica é uma das formas mais importantes de energia renovável, que utiliza a força do vento para gerar eletricidade. Embora seja uma tecnologia relativamente nova, a energia eólica já é responsável por 9% da geração de eletricidade no mundo e é uma das opções mais viáveis para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, o que contribui para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa. Além disso, a energia eólica possui um grande potencial de geração em regiões costeiras e em municípios do interior.

Nesse contexto, a proposta de uma sequência didática de um componente curricular de energias eólicas para o ensino médio é uma excelente oportunidade para trabalhar com a física de forma contextualizada. O projeto pode incluir visitas técnicas a parques eólicos e usinas de energia renovável, atividades práticas de projeto e construção de mini-aerogeradores e aulas expositivas e dialogadas para discutir contextos históricos, tecnológicos, sociais e políticos relacionados à energia eólica.

O itinerário formativo em ciências naturais permite que o estudante escolha de forma autônoma um conjunto de disciplinas e conteúdos que o interesse estudar, aprofundar e complementar sua formação básica. A proposta de uma sequência didática de um componente curricular de energias eólicas é uma opção interessante para aqueles estudantes que buscam ampliar seus conhecimentos e habilidades, desenvolver projetos inovadores e colaborar para a construção de uma sociedade mais justa e sustentável.

Enfim, o ensino de física é fundamental para compreendermos a energia eólica e suas aplicações. A proposta de uma sequência didática de um componente curricular de

energias eólicas para o novo ensino médio é uma excelente forma de abordar temas complexos e relevantes, despertando a curiosidade e a criatividade dos estudantes e contribuindo para a formação de cidadãos críticos e conscientes, capazes de compreender e transformar a realidade em que vivemos.

Palavras-chave: Ensino de Física, Energia Eólica, Sequência Didática, Itinerário Formativo na Nova BNCC.

ABSTRACT

Recently, the Ministry of Education approved the New National Common Curricular Base (BNCC) for Secondary Education, whose main objective is to offer students a more complete education that is connected with the current reality of the world. Within this context, the proposal for a didactic sequence of a wind energy curriculum component appears as an excellent opportunity to explore the fundamental concepts of physics, while contributing to the formation of young people who are more aware and committed to the environment.

Wind energy is one of the most important forms of renewable energy, which uses the power of the wind to generate electricity. Although it is a relatively new technology, wind power is already responsible for 9% of electricity generation in the world and is one of the most viable options to reduce dependence on fossil fuels, which contributes to the reduction of greenhouse gas emissions. greenhouse effect. In addition, wind energy has great generation potential in coastal regions and inland municipalities.

In this context, the proposal of a didactic sequence of a curricular component of wind energies for secondary education is an excellent opportunity to work with physics in a contextualized way. The project may include technical visits to wind farms and renewable energy plants, practical activities in the design and construction of mini wind turbines, and expository classes to discuss historical, technological, social and political contexts related to wind energy.

The training itinerary in natural sciences allows the student to independently choose a set of disciplines and contents that interest him to study, deepen and complement his basic training. The proposal for a didactic sequence of a wind energy curriculum component is an interesting option for those students who seek to expand their knowledge and skills, develop innovative projects and collaborate to build a fairer and more sustainable society.

Finally, the teaching of Physics is fundamental for us to understand wind energy and its applications. The proposal for a didactic sequence of a curricular component of wind energies for the new high school is an excellent way of approaching complex and relevant themes, awakening the curiosity and creativity of students and contributing to the formation of critical and aware citizens, capable of understand and transform the reality in which we live.

Keywords: Teaching Physics, Wind Energy, Didactic Sequence, Training Itinerary at Nova BNCC.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Modelo para descrever as possibilidades de desenho de uma TLS
- Figura 2: Análise do o avanço da energia eólica em 2020
- Figura 3: Fontes de energias predominantes no Brasil.
- Figura 4: Evolução da capacidade instalada no Brasil desde 2005 até o ano de 2026.
- Figura 5: Aerogeradores classificados de acordo com o eixo de rotação: (a) eixo de rotação vertical e (b) horizontal.
- Figura 6: Esquema geral de funcionamento de um aerogerado.
- Figura 7: Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.
- Figura 8: Perfil vertical da velocidade do vento desde a superfície até a altura do vento geostrófico.
- Figura 9: Componentes principais de um aerogerador.
- Figura 10: Esquema geral de funcionamento de um aerogerador.
- Figura 11: Esquema de duas polias ligadas por corrente.
- Figura 12: Engrenagens acopladas por corrente (a) e em contato direto (b).
- Figura 13: Caixa multiplicadora de duas fases para aerogeradores de eixo paralelo da classe de potência de 200 a 500 kW (b) caixa multiplicadora planetária de três estágios da classe de potência 2 a 3 MW.
- Figura 14: Princípio básico de um gerador elétrico.
- Figura 15: Curva característica do gerador elétrico para diferentes rotações e curvas características do aerogerador em diferentes velocidades do vento
- Figura 16: Geometria G atravessada por um fluido com velocidade v .
- Figura 17: Tubo imaginário circular de corrente do ar anterior e posterior ao rotor.

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
SBF	Sociedade Brasileira de Física
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
CBC	Componentes Básicos Curriculares

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO: A FÍSICA NO NOVO ENSINO MÉDIO	12
1.1 LDB e as Ciências da Natureza – Um breve histórico	13
1.2. A BNCC e as Ciências da Natureza – Um breve histórico	14
1.2.1 Disciplinas Eletivas em Itinerários Formativos	15
1.3 A importância do estudo de energias renováveis	16
1.4 Proposta do estudo	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PARA O ENSINO	18
2.1 Utilização de Sequência Didática	18
2.2 A Abordagem CTS e o ensino de Física	22
2.3 Teoria de aprendizagem significativa	26
3 FÍSICA DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS	29
3.1 A energia eólica	29
3.1.1 Aspectos positivos e negativos da energia eólica	29
3.1.2 Cenário Mundial da Energia Eólica	30
3.1.2 A energia eólica no Brasil	31
3.2 Turbinas eólicas	33
3.2.1 Componentes de um sistema eólico	34
3.3 Formação dos ventos	35
3.4 Energia eólica para geração de eletricidade	38
3.4.1 Transformações de energia	40
3.4.2 Transmissão e caixa multiplicadora	41
3.5 Gerador	43
3.5.1 Energia e potência extraída do vento	45
4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS COM APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS DE FÍSICA.	49
4.1 Plano de Aula I	50
4.2 Plano de Aula II	51
4.3 Plano de Aula III :	52
4.4 Plano de aula IV	53
4.5 Plano de Aula V	55
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	57
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO: A FÍSICA NO NOVO ENSINO MÉDIO

O cenário do Ensino de Física no Novo Ensino Médio está passando por mudanças significativas em decorrência da Nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Com o propósito de adequar o currículo para a realidade dos estudantes, a reforma do Ensino Médio trouxe à luz um novo formato de ensino que se adequa às necessidades da sociedade contemporânea, além de valorizar a formação dos estudantes de acordo com suas vocações e interesses.

A Nova BNCC do Ensino Médio propõe a formação do estudante em itinerários formativos, focados nas áreas de Conhecimento, Linguagem e Suas Tecnologias, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, e Ensino Técnico Profissional. Esse modelo visa a promover a flexibilização do currículo, dando aos estudantes a oportunidade de escolher os itinerários formativos alinhados com suas aptidões e objetivos.

Nesse sentido, o Ensino de Física pode ser abordado de maneira mais contextualizada e diversificada, com a aplicação de atividades práticas e interativas, inserindo exemplos da aplicação cotidiana dos conceitos físicos. A ideia é fazer com que os alunos possam conectar os conhecimentos adquiridos com a realidade à sua volta. Essa nova metodologia de ensino de Física é uma forma de despertar o interesse dos estudantes e reforçar as habilidades que eles já possuem.

Outra mudança significativa na elaboração do novo currículo de Ensino de Física é a possibilidade de interconectar as disciplinas de Matemática e Ciências da Natureza nos itinerários formativos. Desse modo, os alunos serão expostos a uma nova abordagem que busca a conexão de ideias e conceitos que antes eram estudados separadamente. Essa metodologia visa a estimular o aprendizado interdisciplinar, formando estudantes capazes de aplicar o conhecimento em situações reais, tornando-se mais conscientes do mundo que os cerca.

Com essas mudanças, a ideia é tornar as aulas de Física mais dinâmicas e valorizar o lado prático do ensino, que por vezes passa despercebido por ser baseado em fórmulas e conceitos abstratos. A nova metodologia de ensino de Física no Novo Ensino Médio busca estimular a criatividade dos alunos, incentivando a busca pelo conhecimento e compreensão dos mecanismos da natureza.

Em resumo, a Nova BNCC do Ensino Médio foi elaborada de forma a adequar os currículos às necessidades dos estudantes e às demandas do mundo contemporâneo. O Ensino de Física nessa nova proposta deve ser mais dinâmico e prático, buscando conectar as teorias aos exemplos do mundo real. A nova metodologia proposta tem o objetivo de estimular a curiosidade e o interesse dos alunos, tornando o aprendizado mais eficiente e atrativo.

1.1 LDB e as Ciências da Natureza – Um breve histórico

Durante o governo de Getúlio Vargas (1930 – 1945) houve a Reforma Capanema que se tratava da reforma do Ensino Secundário, dividindo-o em Ginásial e Científico. Nesse período surgem as denominações das disciplinas de Ciências Naturais durante o Ensino Ginásial e a Física durante o Ensino Científico.

O surgimento da primeira Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) surgiu na década de 60. Um marco importante para os Estados, pois ganham mais autonomia de gerência a educação local. Na década de 70, surge a segunda LDB dividindo, assim, o Ensino nas escolas em 1º e 2º graus, com duração de 8 anos e 3 anos, respectivamente. Mais tarde, na década de 90, surge a necessidade de elaborar outra LDB. A Lei Nº 9.394/96, que está em vigor até os dias atuais, divide a educação básica em duas etapas. Sendo elas o Ensino Fundamental, com duração de 9 anos, e o Ensino Médio, com duração de 3 anos. Além disso, indica a criação da Base Nacional Comum Curricular em seu artigo 26, reforçando a previsão de sua criação na Constituição da República Federativa do Brasil (1988) em seu artigo 210.

Entretanto, a BNCC não foi criada de forma imediata. Então, para suprir a criação da BNCC, foram criados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) para o Ensino Fundamental (1998) e para o Ensino médio (2000). Os PCNs são um conjunto de documentos que serviriam para orientação do cotidiano escolar e orientar os principais conteúdos que deveriam ser trabalhados pelos professores.

O foco deste trabalho é tratar da Física e das Ciências da Natureza, temos que os PNC no Ensino Fundamental destaca 4 eixos temáticos nas Ciências Naturais. São eles: vida e ambiente; ser humano e saúde; tecnologia e sociedade; e terra e universo. Totalizando 28 documentos regulamentadores dos PCNs. Já no Ensino Médio, os PCN+ trata das Ciências da Natureza e Matemática (antes trabalhadas em conjunto). Já com a Física como disciplina isolada, temos que ela apresenta 6 temas estruturadores para o ensino, além de trazer exemplos de sequências para trabalhar no Ensino Médio. Os eixos

estruturadores são: movimentos: variações e conservações; calor, ambiente e usos de energia; som, imagem e informação; equipamentos elétricos e telecomunicações; matéria e radiação; universo, terra e vida.

1.2. A BNCC e as Ciências da Natureza – Um breve histórico

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento que define os direitos de aprendizagem de todos os alunos das escolas brasileiras. A partir de 2022, as instituições de educação infantil e de ensino fundamental devem implementar as diretrizes em seus currículos. Ela busca orientar a elaboração do currículo específico de cada escola, considerando as particularidades metodológicas, sociais e regionais de cada instituição de ensino.

A Base Nacional Comum Curricular tem seu texto preliminar elaborado em 2015, sendo abertas as contribuições públicas para seu desenvolvimento. Após, em 2016, tem sua segunda versão elaborada e sua divisão na Educação Básica, sendo em 2017 homologada BNCC para a Educação Infantil e o Ensino Fundamental. Para o Ensino Médio demorou mais um pouco para sua aprovação. Somente em 2018 foi aprovada pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) e homologada pelo Ministério da Educação.

O Ensino Fundamental, com nove anos de duração, é a etapa mais longa da Educação Básica, atendendo estudantes entre 6 e 14 anos. É dividido em cinco áreas do conhecimento que englobam componentes curriculares da LDB. Dentre essas componentes curriculares, ressaltamos a componente de Ciências. Para orientar a elaboração dos currículos de Ciências, as aprendizagens essenciais a ser asseguradas neste componente curricular foram organizadas em três unidades temáticas que se repetem ao longo de todo o Ensino Fundamental. São elas:

- 1) A unidade temática **Matéria e Energia** contempla o estudo de materiais e suas transformações, fontes e tipos de energia utilizados na vida em geral
- 2) A unidade temática Vida e Evolução propõe o estudo de questões relacionadas aos seres vivos;
- 3) A unidade temática **Terra e Universo**, busca a compreensão de características da Terra, do Sol, da Lua e de outros corpos celestes (suas dimensões, composição, localizações, movimentos e forças que atuam entre eles).

Já para o Ensino Médio, a proposta inicial da BNCC era dividi-lo em quatro áreas do conhecimento somente, Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas e Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Entretanto, após as mudanças do no Ensino Médio, foram criados os itinerários formativos, com o intuito de substituir o modelo único de currículo do ensino médio por um modelo diversificado e flexível, através da Lei nº 13.415/2017 (BRASIL, 2017). A formação geral deveria ter 1800 horas e os itinerários formativos continham 1200 horas.

Na área de Ciências da Natureza e suas tecnologias, a BNCC, para cada área do conhecimento, são definidas competências específicas e suas correspondentes habilidades. As competências são um conjunto de intenções harmonicamente desenvolvidas que caracterizam a área, ou seja, justifica a área, já as habilidades implicam no “saber fazer”, ação física ou mental que indica a capacidade adquirida. Então, dentro das habilidades entrarão as temáticas dos conteúdos para ter êxito no desenvolvimento da habilidade.

1.2.1 Disciplinas Eletivas em Itinerários Formativos

A reforma do novo ensino médio prevê a oferta de variados itinerários formativos, seja para o aprofundamento acadêmico em uma ou mais áreas do conhecimento (quatro áreas da formação geral), seja para a formação técnica e profissional. A implementação do Novo Ensino Médio foi iniciada no ano de 2022 com o 1º ano do ensino médio e se dará de forma progressiva. Em 2023 com os 1º e 2º anos e completando o ciclo de implementação nas três séries do ensino médio em 2024. Os itinerários formativos são o conjunto de disciplinas, projetos, oficinas, núcleos de estudo, entre outras situações de trabalho, que os estudantes poderão escolher no ensino médio (BRASIL, 2017).

O Novo Ensino Médio poderá ofertar até cinco itinerários formativos – podendo se estender para mais ofertas – que possibilitarão que o estudante escolha em qual área quer aprofundar seus conhecimentos ao longo do ensino médio. Eles podem variar conforme o contexto no qual a escola está inserida e de acordo com as necessidades e interesses dos estudantes. As redes de ensino terão autonomia para definir os itinerários ofertados.

1.3 A importância do estudo de energias renováveis

Conforme coloca Goldemberg e Lucon (2007) a água, o ar e a energia são elementos essenciais para a vida dos seres humanos. Nas sociedades arcaicas o valor destes elementos era nulo e a produção de energia era por meio da lenha proveniente das florestas que era utilizada para o aquecer e cozinhar. Transcorrendo o tempo, o consumo de energia foi ampliando o que ocasionou pela procura de novas fontes para a produção de energia. Após a Revolução Industrial, se tornou necessário a utilização de carvão, gás e petróleo para produzir energia, no entanto o custo para a produção de energia utilizando estes recursos ficou muito elevado.

O avanço socioeconômico e sustentável estão ligados de modo direto. Para o entendimento do que é energia, é necessário conhecer as fontes, suas limitações e as complicações devido uma aplicabilidade inadequada que pode gerar danos ao meio ambiente e a sociedade. A energia utilizada atualmente é proveniente de vários recursos naturais como, água, sol, vento, resíduos sólidos e combustíveis fósseis, como gás natural e petróleo, estas são as fontes primárias de energia. Já as fontes secundárias de energia são produzidas por meio das fontes de energias primárias. Como coloca Gatti (2018 p. 15):

O petróleo é a fonte de energia mais consumida no mundo e pode ser encontrado na natureza impregnado em rochas sedimentares. Nos diferentes pontos de ebulição das substâncias que estão no petróleo, ocorre a separação para converter em outros produtos. Entre os produtos obtidos estão o gás, a gasolina, o querosene e as ceras. Todos eles têm influência no desenvolvimento da vida humana e no progresso tecnológico e econômico.

A energia é fundamental para a evolução da sociedade, porém diante a probabilidade do esgotar as matrizes energéticas tradicionais e a degradação ambiental, se torna necessário a consciencialização do uso de novas fontes de energias renováveis para produzir energia. Nesse sentido, o governo brasileiro vem criando novas políticas públicas que tem o objetivo de incentivar novos tipos de matrizes elétricas (MARTINS, 2017).

Em concordância com Goldemberg e Lucon (2007), as energias renováveis são as originárias de ciclos naturais de conversão, tal como a oriunda da radiação solar que é uma fonte primária de energia e não agride o meio ambiente. Apesar disso, atualmente o consumo e produção de energia é apoiado em fontes fósseis, que causa grande emissão de poluentes que contaminam o meio ambiente e, que a um longo prazo, pode causar danos ao planeta. Perante ao exposto, é necessário modificar os meios de produção de

energia e criar incentivos para produção por meio de energias renováveis e neste sentido o Brasil manifesta condições favoráveis com relação ao resto do mundo.

Segundo Silva (2019) o consumo de energia em países que são considerados desenvolvidos é tido como exagerado, e isto está gerando uma instabilidade significativa. Um terço da população do planeta não possui os serviços de energia mais básicos. O autor ratifica que um dos grandes desafios do século XXI é como produzir energia de maneira sustentável. Segundo o autor, o desenvolvimento das sociedades está diretamente ligado com a habilidade de gerar e aproveitar a energia.

De acordo com Goldemberg, et al. (2010, p. 57):

(...) ao estimular o desenvolvimento de alternativas aos combustíveis convencionais de hoje, uma transição para energia sustentável poderia também ajudar a enfrentar as preocupações com a segurança energética, que estão novamente no topo da agenda de políticas nacionais e internacionais de muitas nações, reduzindo, dessa forma, a probabilidade de que a disputa por reservas de gás e petróleo, finitas e distribuídas de forma desigual, aumente tensões geopolíticas crescentes nas próximas décadas.

Com o Novo Ensino Médio, pode-se criar políticas de conscientização da importância da utilização das energias renováveis para os jovens estudantes da rede de ensino. A BNCC prevê, nas suas competências e habilidades, o estudo das energias renováveis para o desenvolvimento humano. Nesse sentido, apresentaremos a seguir a proposta em conjunto com a motivação do objeto de estudo.

1.4 Proposta do estudo

A energia eólica tem se destacado como uma fonte limpa e renovável de energia, desempenhando um papel cada vez mais importante no contexto energético global. Nesse sentido, é fundamental que os alunos do Ensino Médio no Brasil compreendam os princípios físicos por trás da geração de energia eólica, desenvolvendo uma consciência sobre sua importância e potencial como fonte sustentável de eletricidade. A proposta de estudo visa explorar a temática da energia eólica sob a perspectiva da Física, determinada ao currículo do Novo Ensino Médio no Brasil., a fim de entender os princípios físicos fundamentais relacionados à geração de energia eólica, investigar as tecnologias e os componentes envolvidos na produção de energia eólica, analisar o potencial e as limitações da energia eólica como fonte renovável de eletricidade, desenvolver de habilidades de pesquisa, análise crítica e apresentação de resultados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PARA O ENSINO

2.1 Utilização de Sequência Didática

Pesquisas desenvolvidas na área do ensino das ciências, no nosso caso, das ciências da natureza, abordam sobre propostas de organização e planejamento de atividades de intervenção em sala de aula, buscando elaborar estratégias que possibilitem planejar o ensino de um conteúdo ou de uma temática específica de forma sistematizada e coerente. Nesse sentido, se essas atividades são planejadas de forma organizada, então essas intervenções podem ser consideradas sequências de ensino e aprendizagem. Entre outros objetivos, essas propostas buscam avaliar diferentes abordagens de ensino, estratégias didáticas, processos de aprendizagem e aplicação de recursos didáticos, elaborados a partir de ações realizadas por professores e estudantes durante as atividades em sala de aula (FERREIRA e AMARAL, 2010).

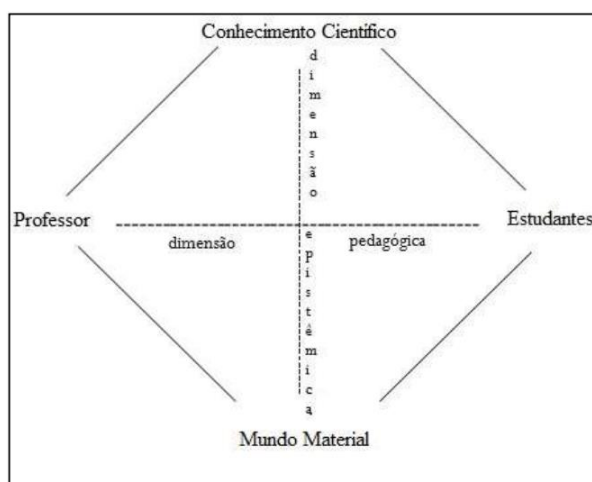
Uma sequência de ensino e aprendizagem (teaching-learning sequences - TLS) consiste, para Mehéut e Psillos (2004), como um conjunto de atividades com enfoque instrucional inspirado na pesquisa que têm o objetivo de contribuir para a compreensão do conhecimento científico pelos estudantes, potencializando diferentes metodologias, dentro de uma rede interligada de ações. Sendo assim, as sequências de ensino e aprendizagem se destacam como sendo uma ferramenta de suma importância para a concretização do trabalho docente dentro do contexto escolar.

O surgimento dessa ferramenta de planejamento de ensino e aprendizagem teve início ao final dos anos setenta e início dos anos oitenta. De acordo com Couso (2011), as primeiras sequências de ensino e aprendizagem foram publicadas no âmbito internacional, essas apresentavam propostas que procuravam analisar as concepções alternativas e o raciocínio espontâneo dos estudantes.

No decorrer do desenvolvimento das investigações envolvendo sequências de ensino e aprendizagem, Méheut e Psillos (2004), em conjunto com outros pesquisadores, buscaram elaborar propostas para estruturação dessas sequências. Com essa finalidade, Méheut (2005) propôs um modelo que apresentava, além dos elementos básicos, dimensões criadas das relações entre esses constituintes e seus compromissos diante dos objetivos de ensino.

Na opinião da autora, os componentes elementares que merecem destaque durante a elaboração de uma sequência de ensino e aprendizagem são: professor, aluno, conhecimento científico e mundo material. Com base nas relações existentes entre esses componentes, duas dimensões irão permear toda a sequência, a saber: a epistemológica e a pedagógica. No intuito de contribuir para uma melhor compreensão a respeito da proposta citada, apresentaremos na figura 1 o losango didático que descreve o modelo proposto para desenho de uma sequência de ensino e aprendizagem.

Figura . Modelo para descrever as possibilidades de desenho de uma TLS



Fonte: adaptada de Méheut (2005, p. 196).

A partir da representação, notamos que tanto a dimensão epistemológica quanto a pedagógica surgem da relação entre os quatro componentes mencionados, porém de diferentes maneiras. A dimensão epistemológica situada no eixo vertical está relacionada ao processo de construção do conhecimento científico, representa todos os processos necessários para interpretação do mundo material do aluno, isto é, envolvem os métodos científicos, processos de elaboração e validação do conhecimento científico na tentativa de torná-los significativos para os estudantes. Já o eixo horizontal representa a dimensão pedagógica, que se refere às interações existentes em sala de aula entre professor-aluno e aluno-aluno.

Além disso, nessa perspectiva, Méheut (2005) ressalta o importante papel do professor como motivador das interações promovidas entre os alunos durante as atividades propostas na sala de aula, valorizando a participação de cada estudante. Visto que, é responsabilidade do professor promover atividades capazes de proporcionar múltiplas formas de interação entre os elementos humanos: professor e aluno.

Diferentemente do caminho epistêmico, que tem sua atenção voltada para o conhecimento a ser desenvolvido e relacionado ao mundo real.

Portanto, espera-se que durante a proposição de TLS as dimensões epistêmica e pedagógica sejam consideradas igualmente no processo, pois, acreditamos que somente dessa forma iremos estabelecer um instrumento eficiente que torne possível cumprir com a complexa tarefa de projetar situações de ensino e aprendizagem no ensino de ciências.

Conforme Couso (2011), esse efeito de dicotomia presente entre o saber e as relações estabelecidas nas atividades em sala de aula tem ocasionado muitas discussões entre investigadores da área, na medida em que, se busca o foco dual entre as dimensões, de forma que ocorra a interrelação entre ambas. Esse tipo de abordagem pode ser demonstrado no modelo de Méheut e Psillos (2004) e Méheut (2005), como também em outros tipos de propostas encontradas na literatura, embora, apresentem concepções e objetivos diferentes relativos à proposição e elaboração de sequências de ensino e aprendizagem, sejam elas relacionadas ao desenho, desenvolvimento e aplicação. Acerca disso, realçaremos três perspectivas tradicionais europeias para desenho de sequências de ensino e aprendizagem que buscam contemplar as duas dimensões, epistemológica e pedagógica, durante o processo de construção, entretanto, enfatizando o construto teórico mais significativo para cada proposta.

O primeiro modelo é o de reconstrução educativa, que se apoia na investigação e problematização dos conteúdos a serem ensinados. Para Couso (2011), esse modelo considera a estrutura do conteúdo como sendo muitas vezes mais complexa do que mesmo o próprio conteúdo científico, visto que, é considerado não apenas a disciplina, mas também as reais necessidades dos estudantes. Este modelo se combina em três linhas de investigação: a de clarificação dos conteúdos de ciências, os resultados da investigação sobre as concepções dos alunos, e o ensino e aprendizagem dos conteúdos e seus respectivos resultados empíricos obtidos das atividades propostas.

Além do mais, nesse ponto de vista, destacamos a importância da seleção dos conteúdos, e o processo de transformação necessário para disseminação com a comunidade escolar, isto é, estamos nos referindo a redução da complexidade do conhecimento científico, em palavras de Chevallard o processo de transposição didática, que vai necessitar do real nível cognitivo dos alunos. Nesse contexto, a autora revela que

a seleção dos conteúdos programáticos irá depender não somente da escola, como também do modelo educativo do país e do currículo oficial predominante.

O segundo modelo é o de demanda de aprendizagem, que apresenta em suas propostas de atividades o favorecimento do papel do professor e das interações sociais presentes em sala de aula. De acordo com Leach e Scott (2002, apud COUSO, 2011), essa perspectiva apesar de não ser ignorada, encontra-se muito desfocada. A proposição desse modelo é desenvolver os conhecimentos científicos próprios da cultura científica escolar dos alunos por meio da interação social entre os membros participantes dessa cultura (professores, alunos entre outros) conquistando novas formas de pensar e agir, descobrindo como diferencial desse modelo a utilização dos conceitos, da epistemologia e da ontologia na busca por uma maior compreensão a respeito dos aspectos particulares da ciência escolar relativos à interação social.

Tendo em vista que apesar do modelo de reconstrução educativa fazer articulações baseados na problematização dos conteúdos e se preocupar com a aprendizagem dos estudantes, ainda assim está fortemente associado às propostas curriculares e com os conteúdos a serem trabalhados. Já o segundo modelo, o de demanda de aprendizagem, direciona-se para as interações sociais promovidas em sala de aula, juntamente com o importante papel do professor durante a proposta de sequências de ensino e aprendizagem.

O terceiro e último modelo apresentado por Couso (2011), tem como princípio a tradição francesa da engenharia didática. Segundo a autora o desenho de sequências de ensino e aprendizagem dentro dessa abordagem assume um processo complexo, podendo ser classificados em dois níveis diferentes: o nível macro (o qual deve apresentar o desenvolvimento de toda a sequência) e o nível micro (que está relacionado ao desenvolvimento de cada sessão, ou momento da sequência). Nesta circunstância, este trabalho se insere neste contexto, visto que Méheut e Psillos (2004) e Méheut (2005), consideram elementos desse modelo para análise e validação de sequências de ensino e aprendizagem.

Méheut (2005) considera três dimensões de análise à partida dentro da engenharia didática, sendo elas: a dimensão epistemológica, a didática e a psicocognitiva. Na dimensão epistemológica são analisados os conteúdos a serem aprendidos pelos estudantes e os possíveis problemas encontrados por eles para resolução. A dimensão

didática trata das limitações relacionadas à instituição (escola). E na dimensão psicocognitiva são analisadas as características cognitivas dos estudantes. Porém, todas as dimensões mencionadas estão envolvidas em um processo de análise a priori, onde os estudantes precisam tentar solucionar os potenciais problemas e limites encontrados.

Segundo Méheut (2005), a validação de sequências de ensino e aprendizagem pode ser realizada de duas maneiras: a validação externa ou comparativa e a validação interna, sendo que ambas se completam. A validação externa ou comparativa representa a visão macro do processo de análise, e resulta em avaliar aspectos apresentados durante a aplicação de TLS que possam se referir a fatores de sucesso alcançados através da inovação da prática escolar, com relação ao ensino tradicional. Além disso, a validação interna está relacionada a uma visão micro, que prioriza identificar e avaliar aspectos da trajetória de aprendizagem dos alunos ao longo de toda a sequência.

Diante da discussão dos autores (MÉHEUT e PSILLOS, 2004; MÉHEUT, 2005; COUSO, 2011; LEACH e SCOTT, 2002 apud COUSO, 2011 e FERREIRA e AMARAL, no prelo) verificamos que as sequências de ensino e aprendizagem têm sido muito discutidas e estudadas por pesquisadores da área de ensino de ciências, seja no ensino de física, química ou biologia, todos eles buscam colaborar com o processo de aprendizagem dos estudantes, fornecendo aos professores uma eficiente ferramenta de planejamento que possa facilitar o desenvolvimento de atividades e estratégias didáticas que deem suporte às reais necessidades da sala de aula.

No entanto, além das contribuições oferecidas por essa estratégia para o processo de ensino e aprendizagem, usamos para sistematização, estruturação e processo de análise das atividades propostas na sequência aspectos da teoria da atividade de Leontiev.

2.2 A Abordagem CTS e o ensino de Física

A perspectiva CTS teve sua origem nos Estados Unidos e na Europa na década de 1970, a partir do momento em que se passou a criticar que o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico não estava conduzindo ao bem-estar social. As críticas surgiram em razão a diversos acontecimentos no decorrer do século XX, sendo esse um período ligado a um grande avanço no desenvolvimento científico e tecnológico.

Entretanto, a implementação das novas tecnologias foi acompanhada de problemáticas ambientais que geraram tensões sociais em diversas partes do mundo.

Avanços tecnológicos proveniente das guerras, tais como bombas atômicas, armas químicas, os riscos ambientais causados pelos pesticidas agrícolas que, embora aumente a produção alimentícia, acarretava problemas de envenenamento e contaminação em animais e pessoas, potencializando o avanço de doenças como o câncer, além do persistente problema do lixo radioativo de novos materiais com impacto ambiental relevante, foram inspirações para que gerasse o movimento social CTS (GIL PÉREZ; VILCHHES; 2005).

O desenvolvimento da tecnologia, principalmente no período pós segunda guerra mundial, coloca o bem estar e enriquecimento da nação em contestação. Os persistentes desastres ambientais associados ao uso de tecnologias como, por exemplo, derramamento de petróleo, acidentes envolvendo radioatividade, excesso de poluição pelas indústrias, a contaminação por pesticidas, dentre outros, instituiu a necessidade de uma linha de pesquisa que tivesse um olhar crítico para a responsabilidade social e ambiental necessárias a inovações tecnológicas e a ciência (Santos, 2002).

Portanto, a partir desse movimento, a escola passou a ser criticada por não estar contribuindo com uma formação para a ciência e a tecnologia que cultive a atitude crítica e participativa com respeito a esses campos de saberes. Nesse sentido, fez-se necessário a aquisição de conhecimentos científicos e tecnológicos, de maneira que a população possa, não somente de ter acesso às informações sobre o desenvolvimento científico e tecnológico, mas também ter condições de avaliar e participar das decisões que venham a atingir o meio onde vive (BAZZO, 1998)

A fim de atender a lacuna entre a ciência ministrada na escola e as questões que emergem na vida cotidiana oriundas do desenvolvimento científico e tecnológico, surgiram diversas pesquisas e trabalhos com o enfoque CTS no ensino (SANTOS; MORTIMER, 2002).

O principal objetivo do enfoque CTS no Ensino Médio é desenvolver a alfabetização científica e tecnológica dos cidadãos, abrindo possibilidades para que o aluno construa conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões (AIKENHEAD, 1994).

No âmbito escolar, o CTSA não precisa ter que ser entendido como uma metodologia didática, pois o CTSA é uma abordagem orientada por valores de responsabilidade com o meio ambiente e com a sociedade. Para a educação, o enfoque CTSA tem dentre outros objetivos, o de desenvolver uma criticidade ao embasamento teórico do estudante, para que assim ele possa interagir com sociedade e exercer a cidadania. No Brasil a abordagem CTS foi tema da educação nos anos 90 e, atualmente, está essencialmente associada às competências gerais da Base Nacional Curricular Comum.

Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva. (Brasil, 2017, p.9).

A metodologia utilizada no modelo atual de ensino passa por algumas dificuldades, dentre elas a problemática de como repassar os conteúdos para os discentes de forma que atribua sentido prático e contextualizado a esses conteúdos, que possa integrar os diferentes assuntos ao campo da tecnologia, sociedade e meio ambiente seguindo assim uma perspectiva CTS e que ainda tenha capacidade de diminuir as dificuldades de investimento que a educação tem passado nos últimos tempos.

O ensino de física não foge dessas mesmas problemáticas: para a compreensão da matéria é preciso que o aluno traga consigo uma bagagem de conhecimentos matemáticos consideráveis e uma capacidade de abstração elevada, pois a matéria depende da utilização da matemática como linguagem e a abstração para a compreensão dos assuntos. Esses fatores somados a uma falta de preparo didático ou instrução dos docentes para o uso de outras ferramentas de ensino fora dos tradicionais, quadro e do pincel podem condenar o ensino de física ainda nos anos iniciais.

A disciplina de Física muitas vezes é rotulada como complicada pelos alunos, por ser ministrada de maneira distante, não correlacionada a sua realidade, não fazendo referência a sua utilização na tecnologia e na sociedade. Isso ocorre pelo fato de que muitos professores não dinamizam as suas aulas e mostram apenas a parte matemática e abstrata da disciplina, não abrangendo a importância dos seus conteúdos para o dia a dia do alunado, enfraquecendo assim o interesse pela disciplina.

Dessa forma, os professores não conseguem fazer com que os alunos fixem sua atenção e muito menos absorva de maneira satisfatória o conteúdo, como dizia *John*

Locke, grande estudioso dessa área, que o professor tem que ter a habilidade para despertar e manter a atenção do aluno. O aluno tem que se sentir motivado dentro do processo de aprendizagem e inserir experimentos nas aulas de física pode ajudar esse processo acontecer. Ausubel (1980) ressalta que o aluno na vivência com a programação da disciplina escolar apesar de estar sendo mais influenciado pelas atividades do ensino receptivo, ele também precisa ter em disponibilidade a possibilidade de interagir com atividades significativas que possam favorecer a descobertas.

Ainda, segundo Ausubel (1980), na aprendizagem significativa, o fator isolado que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno tem disponível como necessário para elucidar um fato novo. Assim, é preciso levar em consideração a bagagem que o aluno já adquiriu durante sua vida escolar e suas experiências de vida para relacionar com novos conteúdos a serem estudados.

Moreira (2003) também enfatiza que é preciso entender que a aprendizagem é significativa quando novos conhecimentos (conceitos, ideias, proposições, modelos, fórmulas) passam a significar algo para o aprendiz, quando ele ou ela é capaz de explicar situações com suas próprias palavras, quando é capaz de resolver problemas novos, enfim, quando compreende. Moreira (2003) também fala que essa aprendizagem se caracteriza pela interação entre os novos conhecimentos e aqueles especificamente relevantes já existentes na estrutura cognitiva do sujeito que aprende, os quais constituem. Assim a importância de inserir o aluno no contexto, mostrando em sua realidade o conteúdo trabalhado, é fundamental para o processo de aprendizagem.

Farias (2016), coloca nesse contexto que em nossa realidade de ensino receptivo praticado pela escola local vamos encontrar um aprendizado mais voltado para um processo de simples retenção mecânica. Esse fato exige da escola uma mudança de postura acadêmica. O professor precisa conhecer para levar em conta os pressupostos teóricos da aprendizagem significativa.

Para Araújo e Abib (2003), as dificuldades e problemas que afetam o sistema de ensino em geral e particularmente o ensino de Física não são recentes e têm sido diagnosticados há muitos anos, levando diferentes grupos de estudiosos e pesquisadores a refletirem sobre suas causas e consequências.

Entretanto, Laburú (2006) também entende que motivar para aprender implica lançar mão de recursos não exclusivamente pontuais que obedeçam a apenas um momento determinado, pois envolver os alunos num processo de estudo não é suficiente despertar a sua atenção, mas é necessário, também, mantê-la desperta.

Farias (2016) ressalta que um novo conhecimento só adquire significado a partir da interação com conhecimentos já estabelecidos na mente do aprendiz que tragam significados (subsunçores adequados mais alguns elementos de inferências com capacidades de enfrentar e dar significados explicitando em que consiste a nova situação de ensino). Com a interação, não só o novo conhecimento adquire significados, como também o conhecimento já existente usado como ancoradouro (que serviu de base), é aprimorada e ganha novos significados.

2.3 Teoria de aprendizagem significativa

Sequências didáticas são estratégias pedagógicas que permitem organizar e planejar o ensino de um determinado conteúdo de forma sequencial e articulada. Ao desenvolver uma sequência didática para a motivação de aprendizagem de energias renováveis na perspectiva da Física no ensino médio, é importante considerar o contexto atual, no qual a busca por soluções sustentáveis e a conscientização sobre os impactos ambientais se tornam fundamentais.

Para Ausubel,

A essência do processo de aprendizagem significativa, tal como já se verificou, consiste no fato de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam àquilo que o aprendiz já sabe (a estrutura cognitiva deste numa determinada área de matérias), de forma não arbitrária e não literal, e que o produto desta interação ativa e integradora é o surgimento de um novo significado, que reflete a natureza substantiva e denotativa deste produto interativo. Ou seja, o material de instrução relaciona-se quer a algum aspecto ou conteúdo existente especificamente relevante da estrutura cognitiva do aprendiz, i.e., a uma imagem, um símbolo já significativo, um conceito ou uma proposição, quer a algumas ideias anteriores, de carácter menos específico, mas geralmente relevantes e existentes na estrutura de conhecimentos do mesmo. (AUSUBEL, 2003, p. 73, grifos do autor).

Seguindo esse propósito, o autor justifica que o material instrucional respeite o princípio da “diferenciação progressiva”, que fundamenta em adotar uma sequência de abordagem do assunto apresentando primeiramente os conceitos mais abrangentes e inclusivos, a fim de, progressivamente, proporcionar que as novas ideias se ancorarem nesses conceitos mais abstratos, diferenciando-os.

Nesse sentido, se o aluno se possibilitar a aprendizagem significativa, o novo conceito poderá ser englobado de maneira essencial, não literal à estrutura cognitiva do estudante, possibilitando a ele compartilhar os significados da estrutura conceitual academicamente legitimada, através da intervenção do professor preparado para essa finalidade.

Parte do processo de “diferenciação progressiva” é equivalente ao que Ausubel (2003) denomina de “reconciliação integradora”, através da qual o sujeito cognoscente é capaz de fazer novas conexões entre os elementos de sua estrutura cognitiva, podendo delinear explicitamente as semelhanças e as diferenças entre os conceitos:

Os alunos que aprendem significativamente começam a formular (...) conexões cruzadas entre conceitos relacionados e acabam por desenvolver estruturas de conhecimento bem integradas e muito coesas, que lhes permite fazer o tipo de raciocínio inferencial e analógico, exigido para ter êxito nas ciências naturais (MINTZES; WANDERSEE, 2000, p. 52).

Um parâmetro utilizado com o fim de proporcionar essa diferenciação é o “organizador avançado” (AUSUBEL, 2003) ou “organizador prévio” (MOREIRA, 2006). Ausubel os caracteriza como:

[...] mecanismos pedagógicos que ajudam a implementar os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, estabelecendo a ligação entre o que o aprendiz já sabe e o que precisa de saber, caso pretenda apreender e reter, de forma eficaz, novos materiais de instrução. Em termos operacionais, definem-se os organizadores como introduções relativamente breves, que diferem em termos de visão geral e previsão, na medida em que as ideias que contêm (1) são quer mais abstractas, inclusivas e gerais do que o material de aprendizagem mais detalhado que as precede, (2) quer mais relacionais e explicativas do que as ideias relevantes existentes, já presentes na estrutura cognitiva. Como é óbvio, o último critério é necessário, caso se pretenda que o próprio organizador seja passível de aprendizagem. (AUSUBEL, 2003, p. 151, grifos do autor)

Em contrapartida, é importante observar o fato de que os organizadores avançados não são fundamentados no resumo do que será abordado. Ao contrário disso, esses organizadores devem enquadrar conceitos mais gerais, sobre os quais serão respaldados os conceitos mais específicos que devem dar sequência ao processo de ensino-aprendizagem.

Seguindo essa linha, para Novak, é fundamental que se reflita, na concepção curricular, sobre a estrutura de proposta que relaciona os conceitos:

[...] uma boa concepção curricular exige, em primeiro lugar, uma análise dos conceitos numa das áreas do conhecimento e, depois, uma apreciação de algumas relações entre estes conceitos, que podem servir para

ilustrar quais são os conceitos mais gerais e superordenados, e quais os mais específicos e subordinados. Uma das razões por que a instrução escolar e a dos programas de formação empresarial têm sido pouco eficazes, é que os autores dos currículos raramente escolhem os conceitos que esperam ensinar e, ainda mais raramente, tentam procurar relações hierárquicas possíveis entre estes conceitos. (NOVAK, 2000, p. 63).

Atentando aos princípios mencionados que constam na teoria de Novak, é possível observar criticamente as propostas de itinerários formativos, analisando-os segundo a organização sequencial, bem como segundo o tipo de aprendizagem que ele favorece: mecânica ou significativa. Assim, um itinerário formativo de qualidade, em seu desenvolvimento deve ter a preocupação de considerar aquilo que o aluno já sabe, a fim de proporcionar a possibilidade de relacionar os novos conhecimentos de forma substantiva e não literal àquilo que ele já conhece. Caso essa estratégia não seja pensada, restará ao educando apenas memorizar literalmente o que fora apresentado. Incluindo ainda que, segundo Ausubel (2003), para ocorrer aprendizagem significativa, o material produzido tem de ser potencialmente significativo para o aluno, ou seja, deve apresentar significado lógico e ter potencialidade de ser incorporado de forma não arbitrária à estrutura cognitiva preexistente dele.

Vale ressaltar ainda que nessa discussão, devido às suas experiências significativas no decorrer de sua vida, o aluno constrói relações importantes baseadas em sua observação através diretamente dos sentidos. Efetivamente, essas concepções são muito estáveis, dificilmente modificáveis e, conseqüentemente, devem ser exploradas e discutidas até que o sujeito cognoscente seja capaz de compreender as limitações presentes em suas ideias originais. Senão, poderá conviver com duas concepções em paralelo em sua estrutura cognitiva, de tal maneira que escolherá uma ou outra dependendo do contexto em que está inserido. No contexto da prova, poderá ser selecionada a concepção abordada em sala; no entanto, na situação cotidiana, é possível que o aluno dê continuidade ao uso daquela concepção equivocada. Por essa razão, enfatiza-se a importância de ressaltar as inconsistências presentes nesses modelos alternativos.

A aprendizagem significativa pode ser útil na formação de um indivíduo mais crítico e com responsabilidade social, pois como ela é um processo, as novas experiências vivenciadas em sociedade serão provavelmente questionadas e relacionadas com subsunçores, gerando uma nova aprendizagem significativa. Assim a visão contínua da constante implementação de um método para gerar o saber em conjunto com o convívio

com a responsabilidade social, fará um cidadão provavelmente mais próximo de um pensamento onde o saber científico e tecnológico se relaciona com o social e o ambiente, ou seja, a aprendizagem significativa tem um grande potencial para ser um gancho na abordagem de CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) nas escolas.

3 FÍSICA DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

3.1 A energia eólica

Na atualidade, a matriz responsável pela produção de energia elétrica mundial, é constituída, principalmente, por fontes que, de alguma maneira, provocam danos ao meio ambiente de forma direta ou indireta como as que utilizam combustíveis fósseis, energia nuclear e energia hidráulica (BONELLI, 2010). Devido à gradativa preocupação com o meio ambiente, há um empenho para que os danos causados pela geração de energia elétrica sejam reduzidos. Nesse sentido, existe um considerável aumento no número de pesquisas voltadas às fontes renováveis de energia (SOLTOSKI; SANTOS; FONT, 2016). Um exemplo dessas fontes renováveis de energia é a eólica que se tornou uma das principais fontes de geração de energia elétrica, pois ela é socialmente vantajosa, não poluente e inesgotável, além de ser economicamente competitiva frente as demais alternativas.

A energia eólica pode ser entendida como a energia abrangida nas massas de ar em movimento, sendo considerada uma forma de energia resultante indiretamente do sol, levando em conta que os ventos são consequência do aquecimento não uniforme da superfície terrestre (MARTINELLO, 2015). Recentemente, a energia eólica como fonte de geração de energia elétrica tem obtido ênfase com o crescimento na matriz de eletricidade no mundo. Maioria desse crescimento se deve principalmente às vantagens do uso da geração eólica, como sustentabilidade, relação custo-benefício atrativa e baixo impacto ambiental. Diversos países têm sido motivados a usar e investir fortemente em tecnologias relacionadas ao Sistema de Conversão de Energia Eólica (MOHAMMADI et al., 2018), tanto em pesquisas como em setores da indústria.

3.1.1 Aspectos positivos e negativos da energia eólica

A energia eólica oferece diversas vantagens, o que explica o seu rápido crescimento dentre as fontes mundiais de energia, as quais são (BONELLI, 2010; SALLES, 2009):

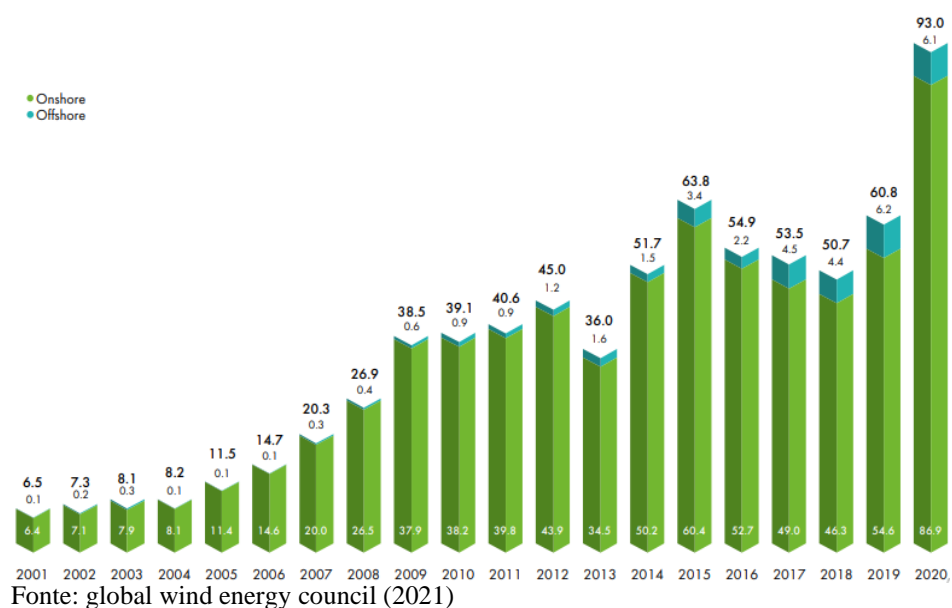
- Tempo de implantação do projeto reduzido em comparação com usinas hidráulicas, nucleares e térmicas;

- Custos de implantação e operação reduzidos em comparação com tecnologias convencionais;
- Maior segurança e sustentabilidade;
- Impacto ambiental;
- Não emite gases de efeito-estufa e chuva ácida;
- Compatibilidade com a utilização do solo para outras atividades, tais como a pecuária, agricultura etc.;
- Abundante potencial em várias partes do mundo. Por outro lado, existem alguns pontos negativos quanto a sua aplicação, tais como (SALLES, 2009):
- O fato de ela ser uma fonte de energia intermitente;
- Poluição visual;
- Ruído audível devido à rotação das pás;
- Dificil previsibilidade da velocidade do vento; • Instalação em rota de pássaros.

3.1.2 Cenário Mundial da Energia Eólica

Segundo com o relatório anual da GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (2021), o mercado global de energia eólica tem se desenvolvido, ano após ano, atingindo ao final do ano de 2020, um incremento do total de instalações 93,0 GW, como pode ser visto na Figura 2 abaixo.

Figura . Análise do o avanço da energia eólica em 2020

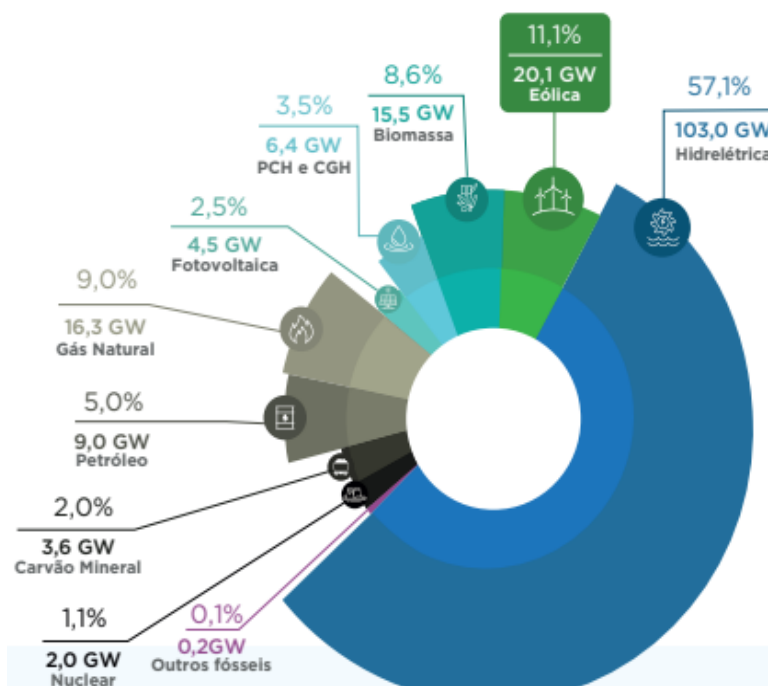


3.1.2 A energia eólica no Brasil

Os dados apresentados pela Associação Brasileira de Energia Eólica – ABEEólica (2021), em referência ao mês de novembro de 2021, o Brasil possui um total de

capacidade instalada de energia eólica de mais de 20 GW, distribuídos em 751 parques eólicos, com mais de 8.800 aerogeradores, totalizando 11,1% da matriz energética brasileira, sendo a segunda fonte mais significativa, atrás apenas da geração de energia através das hidrelétricas, com capacidade de 103,0 GW, correspondendo a 57,1% da matriz energética brasileira, como pode ser visto na Figura 3 abaixo.

Figura 3. Fontes de energias predominantes no Brasil.



Fonte: Associação Brasileira de Energia Eólica – ABEEólica (2021)

Há outros 965,89 MW em operação de testes, que devem entrar em operação nas próximas semanas, levando a energia eólica para 21 GW de capacidade instalada em breve. Até 2026, o País terá pelo menos 32 GW de capacidade instalada, considerando os contratos já assinados. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2021). A Figura 4 mostra a evolução da capacidade instalada no Brasil desde 2005 até o ano de 2026 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2021).

Figura 4. Evolução da capacidade instalada no Brasil desde 2005 até o ano de 2026.



Fonte: Associação Brasileira de Energia Eólica, 2021.

Compreendendo que a tendência mundial é um crescimento em grande escala da energia eólica, que deverá apresentar obstáculos quanto à integração nesse porte, mostra-se a necessidade de estudos contínuos a respeito dos Sistemas de Conversão de Energia Eólica (TAVEIROS, 2014).

Em vista disso, a obtenção de energia elétrica a partir do vento possui muitos benefícios. O funcionamento desse sistema envolve diversos conteúdos importantes da física. Os princípios básicos para a geração de energia elétrica a partir do vento se relacionam diretamente com grandes temas estudados pela física que pode servir como um apoio para o estudo desses conteúdos. O estudo da física que contempla a energia eólica atravessa temas como a formação dos ventos, energia mecânica produzida pelo vento, a transmissão dessa energia e a sua transformação em energia elétrica. Bem como um estudo mais aprofundado sobre o fluido em questão, o ar.

Este trabalho apresenta um estudo sobre os princípios teóricos básicos envolvidos na energia eólica, que possibilita uma vasta visão sobre essa forma de geração de eletricidade e que pode ser compreendida de forma descomplicada por alunos de ensino médio, assim como por professores. Os conceitos abordados neste trabalho possuem

relação direta com os conteúdos de física clássica representando uma interessante alternativa para o ensino de diversos tópicos desta disciplina.

3.2 Turbinas eólicas

As turbinas eólicas são dispositivos desenvolvidos para a obtenção da energia cinética disponível no vento. Esse aproveitamento da energia eólica é realizado pela conversão da potência do vento em potência mecânica, por meio de turbinas eólicas (CUSTÓDIO, 2013).

As turbinas eólicas atuais são decorrência do avanço tecnológico dos moinhos de vento ou cata-ventos tradicionais, operados há séculos para aplicações como bombeamento de água, moagem de grãos, entre outros. Em comparação com os moinhos de vento utilizados no passado, as turbinas eólicas modernas usam máquinas elétricas para geração de eletricidade (CUSTÓDIO, 2013).

Basicamente, temos dois tipos diferentes de turbinas eólicas: as que dependem principalmente da sustentação aerodinâmica (turbinas de sustentação) e aquelas que usam principalmente o arrasto aerodinâmico (turbinas de arraste). As turbinas eólicas de alta velocidade necessitam da força de sustentação para mover as lâminas, sendo a velocidade linear das lâminas, em geral, é várias vezes maior que a velocidade do vento. Entretanto, para as turbinas que utilizam arrasto aerodinâmico, a velocidade linear não pode ultrapassar a velocidade do vento, como resultado, são turbinas de baixa velocidade. Geralmente, as turbinas eólicas são divididas por estrutura em eixo horizontal e eixo vertical. As turbinas eólicas para utilização na geração de energia em parques eólicos, tanto instalado em terra (onshore) quanto no mar (offshore) são as de sustentação com eixo horizontal. Porém, será objeto de estudo deste trabalho somente as turbinas de eixo horizontal.

Figura . Aero geradores classificados de acordo com o eixo de rotação:

(a) eixo de rotação vertical e (b) horizontal

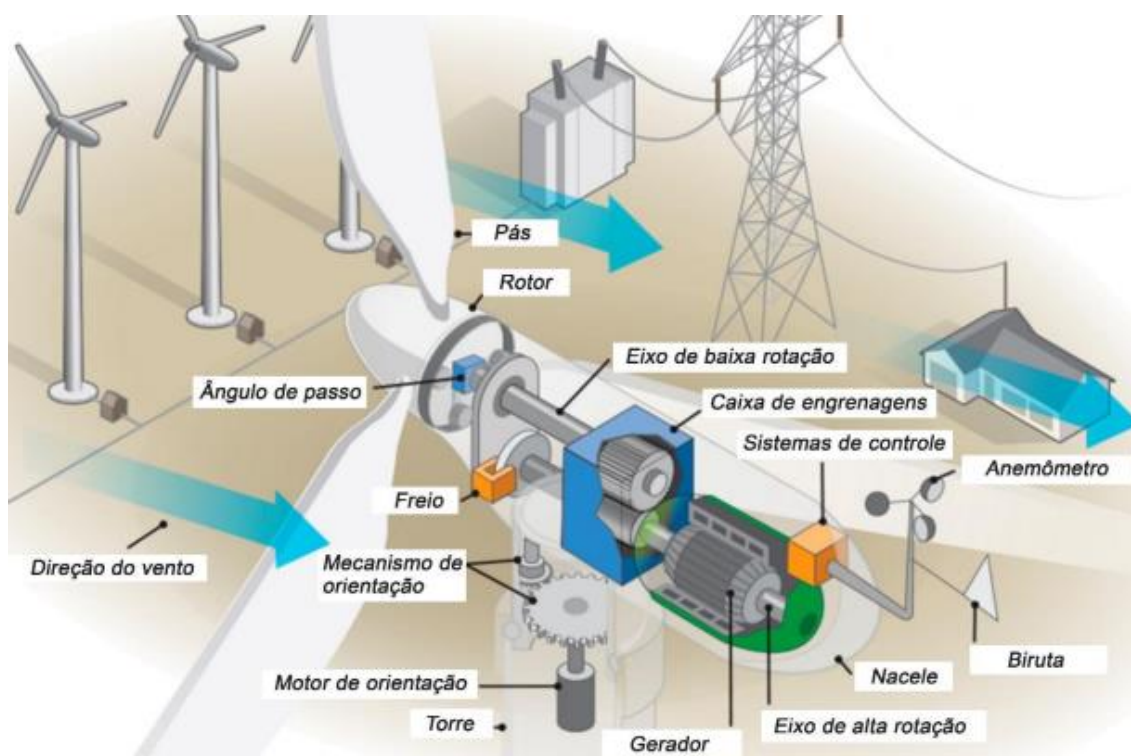


Fonte: <https://researchgate.net/>

3.2.1 Componentes de um sistema eólico

Grande parte das grandes turbinas eólicas atuais são turbinas de eixo horizontal com tipicamente três pás. Como mostrado na Figura 6, uma turbina eólica típica consiste no rotor (pás e cubo), dispositivo de elevação de velocidade (caixa de engrenagens), sistema de conversão, controles e torre.

Figura 6. Esquema geral de funcionamento de um aerogerado



Fonte: ANEEL, 2005

- a) Anemômetro – Tem a função de medir a velocidade do vento e transmitir esses dados para o controlador eletrônico;
- b) Pás – As pás da turbina são comumente fabricadas a partir de poliéster ou resina epóxi e reforçado com fibra de vidro. No entanto, novos materiais, como a fibra de carbono, estão sendo introduzidos para fornecer a relação resistência-peso necessária para as pás de turbinas eólicas de maior dimensão.
- c) Freio – Para o rotor mecanicamente, eletricamente ou hidraulicamente, em emergências;
- d) Controlador eletrônico – Responsável pelo controle contínuo do gerador elétrico, como por exemplo, controle de potência ativa e reativa entregue à rede;

- e) Caixa de engrenagens – conecta o eixo de baixa rotação ao eixo de alta rotação;
- f) Gerador elétrico – Converte a energia mecânica presente no eixo de alta rotação em energia elétrica. Esse gerador pode ser de indução ou síncrono;
- g) Nacele – É o compartimento instalado no alto da torre e que abriga os componentes de um sistema eólico;
- h) Ângulo de passo – Gira as pás eólicas de forma a controlar a velocidade de rotação para elevadas velocidades de vento;
- i) Rotor – É o componente que efetua a transformação da energia cinética dos ventos em energia cinética de rotação. No rotor são fixadas as pás da turbina;
- j) Torre – Suporta a estrutura da turbina na altura onde os ventos possuem melhores condições para aproveitamento eólico;
- k) Biruta – Captam a direção do vento, de modo ao vento sempre estar perpendicular à torre para se obter um maior rendimento;
- l) Mecanismo de orientação (Yaw Mechanism) – Mecanismo de ajuste da direção do aerogerador de acordo com a direção do vento;

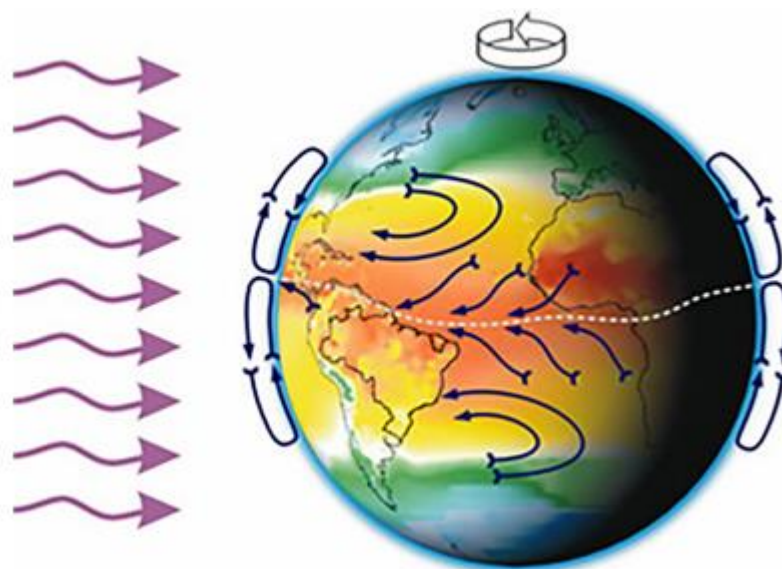
3.3 Formação dos ventos

A energia eólica é uma das formas manifestadas pela energia solar. O vento é o movimento do ar resultante de um aquecimento irregular da atmosfera pelo Sol.

A atmosfera terrestre é aquecida de maneira desigual em razão da radiação solar incidente sobre a superfície terrestre que não se distribui igualmente e aos movimentos de rotação do próprio planeta.

As regiões tropicais levam os raios solares quase que perpendicularmente e por isso são mais aquecidas do que as regiões polares. Essas partes da atmosfera mais aquecidas se tornam menos densas e mais leves tendendo a subir em direção às camadas superiores. O espaço deixado pela porção é logo ocupado por massas de ar menos aquecidas. O deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos. A Figura 7 mostra esse mecanismo.

Figura 7. Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar



Fonte: CRESESB, 2014

Esse sistema é conhecido como convecção térmica, onde a energia térmica se transmite mediante o transporte de matéria. Ocorre também em outros casos como, por exemplo, com as brisas. Durante um dia de sol, o ar se aquece em contato com a superfície terrestre e tende a subir, enquanto que na superfície da água de mares ou oceanos esse processo, no mesmo intervalo de tempo, é mais lento devido ao calor específico maior da água. Nesse sentido, durante o dia, os ventos sopram da água para o continente. Já durante a noite, a água demora mais para esfriar do que a terra, então ocorre o processo inverso e o ar atmosférico irá soprar da terra para a água.

O vento é muito volúvel, tanto geograficamente quanto temporalmente, sendo influenciado por diversos fatores que influenciam a sua intensidade, direção e sentido, como por exemplo, as condições do solo e do relevo, a presença de obstáculos, entre outros.

Existem muitas regiões climáticas diferentes em todo o mundo, algumas com uma maior frequência de vento que outras. Essas diferenças são, em grande parte, ditadas pela latitude, o que afeta a quantidade de insolação. Entre de qualquer região climática, há uma grande variação em uma escala menor, determinada pela geografia física - a proporção entre a terra e o mar, o tamanho de massas de terra, e a presença de montanhas ou planícies, por exemplo. O tipo de vegetação pode também ter uma influência expressiva

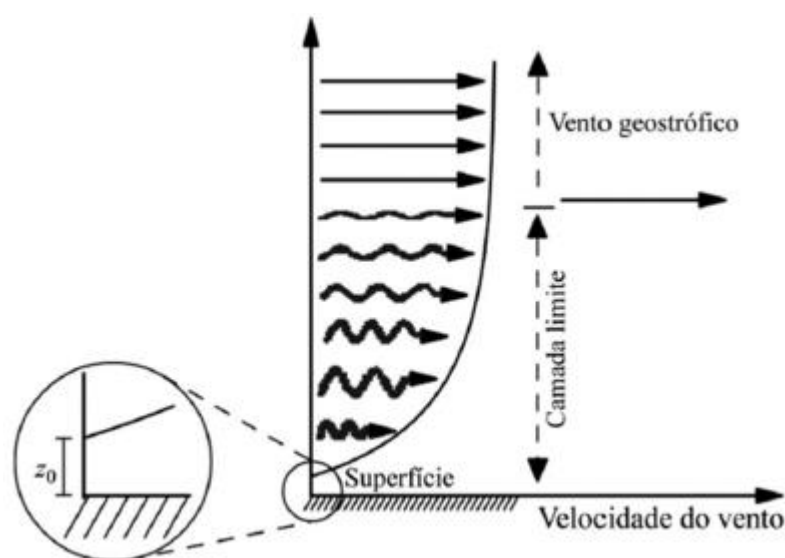
através dos seus efeitos sobre a absorção e reflexão da radiação solar, que afeta as temperaturas da superfície.

O escoamento de ar sobre a superfície terrestre é contornado pelo relevo e pela presença de obstáculos que também produz turbulências no fluxo. A rugosidade da superfície é a propriedade física que descreve a ação da superfície terrestre na redução do momento e na absorção do impacto dos ventos.

A agitação na movimentação de ar será maior conforme a forma do relevo e a altura dos seus componentes. Sendo assim, a velocidade do vento não será uniforme verticalmente, ampliando um perfil com valores menores próximos ao solo que vão crescendo na medida em que são consideradas alturas maiores.

O comprimento da rugosidade z_0 próximo à superfície terrestre é a altura onde a velocidade é nula. Acima dele, encontra-se a camada limite atmosférica que representa uma região com uma altura variável entre 100 e 3000 m de altura e que sofre as interações superfície-atmosfera. O vento adiante de alguns quilômetros da superfície que, teoricamente, não sofre influência do atrito da superfície, é chamado de vento geostrófico. A Figura 8 representa o perfil vertical da velocidade do vento desde a superfície até a altura do vento geostrófico.

Figura 8. Perfil vertical da velocidade do vento desde a superfície até a altura do vento geostrófico.



Fonte: Distribuição vertical da velocidade do vento (CARVALHO, 2003).

Na camada superficial, que é a zona de interesse para as turbinas eólicas, a topografia do terreno e a rugosidade do solo condicionam fortemente o perfil de

velocidades do vento, que pode ser representado pela lei logarítmica de Prandtl, apresentada na Eq. (1).

$$v(z) = \frac{v_*}{k} \ln \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (1)$$

Em que a variação da velocidade v com a altura vertical z , é dada em função da velocidade de fricção (v_*), da constante de Von Karmán (k), e do comprimento de rugosidade z_0 .

O comprimento de rugosidade z_0 é definido por uma escala de comprimento utilizada para caracterizar a rugosidade do terreno. Ele deve ser considerado como um parâmetro temporal, pois está diretamente associado às mudanças naturais da paisagem. A tabela 1 mostra valores característicos para o comprimento característico da rugosidade do solo (z_0).

Tipo de terreno	z_0 (m) mínimo	z_0 (m) máximo
Lama/gelo	0,00001	0,00003
Mar calmo	0,0002	0,0003
Areia	0,0002	0,001
Neve	0,001	0,006
Terreno com árvores	0,1	0,3
Floresta	0,1	1
Povoação com subúrbios	1	2
Centro de cidade	1	4

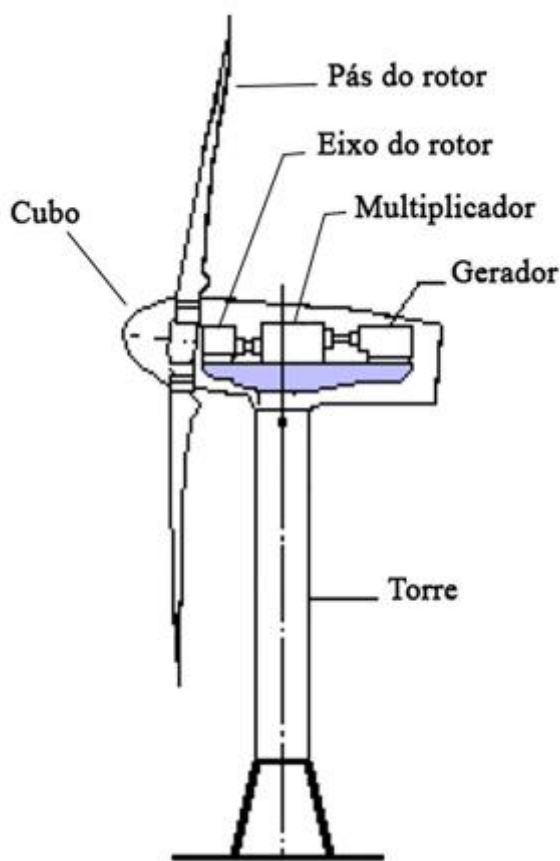
Tabela 1: valores característicos para o comprimento característico da rugosidade do solo

3.4 Energia eólica para geração de eletricidade

Sabe-se que a energia compreendida no vento pode ser utilizada para a geração de eletricidade. Um sistema eólico pode ser operado em sistemas isolados, sistemas híbridos ou sistemas interligados à rede elétrica. Os sistemas híbridos exibem a utilização de mais de uma fonte associadas para a geração de energia elétrica, tais como turbinas eólicas, módulos fotovoltaicos, geradores a diesel, entre outras. Os sistemas isolados são de pequeno porte utilizado para alimentar certas regiões, nas áreas rurais, em fazendas ou residências. Os sistemas interligados à rede, como, por exemplo, nos parques eólicos, correspondem a sistemas em que toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica.

Os conversores de energia eólica que têm os seus eixos de rotação na posição horizontal caracterizam ao princípio de design predominante na tecnologia de energia eólica na atualidade. Na figura 9 são representados os principais componentes, de forma simplificada, que serão objetos de nosso estudo neste trabalho.

Figura 9. Componentes principais de um aerogerador.



Fonte: Picolo et al, 2014

Os benefícios desse projeto são consequência do fato de que, utilizando modelos de hélice, a velocidade do rotor e a potência de saída podem ser controladas pelo sistema de lâminas do rotor sobre o seu eixo longitudinal (controle de inclinação das pás). Além de que, a forma da pá do rotor pode ser aprimorada aerodinamicamente para obtenção de maior eficiência.

As pás do rotor, de modo ideal, devem possuir uma massa pequena, alta resistência e uma boa aerodinâmica. Esses componentes estão presos no cubo que transmite as forças aerodinâmicas que incidem nas pás na forma de torque para eixo do rotor.

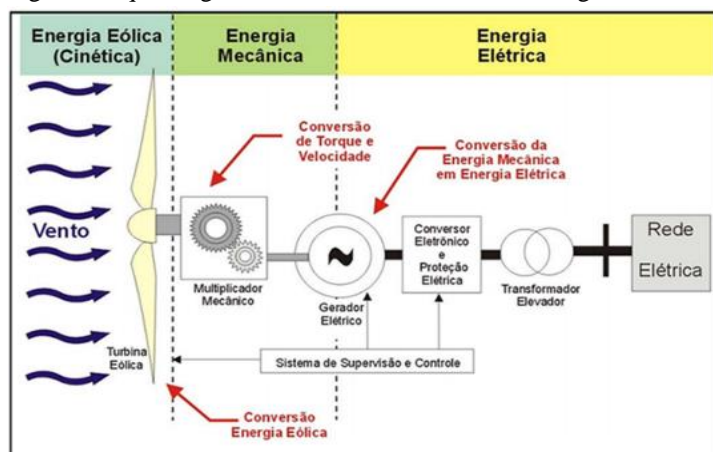
Em geral, as turbinas em operação são constituídas por três pás. A energia capturada ao vento é cerca de 3 a 5% maior quando se passa de duas para três pás, mas esta percentagem diminui à medida que se aumenta o número de pás. Isso ocorre, pois a maior estabilidade e aerodinâmica proporcionada pelo design composto por três pás. Entretanto, a análise da aerodinâmica das turbinas eólicas não será objeto de nosso estudo neste trabalho.

A caixa multiplicadora é usada quando precisa aumentar a frequência produzida, para ser transmitida ao gerador elétrico. O gerador elétrico transforma a energia mecânica em energia elétrica. A torre é necessária para erguer os demais componentes do aerogerador até uma altura suficiente para obtenção do vento com maior potencial. As torres atuais podem ter dezenas de metros de altura. A estrutura tem que sustentar cargas significativas e resistir a uma exposição constante às condições naturais do local ao longo de toda a sua vida útil - que é estimada em cerca de vinte anos.

3.4.1 Transformações de energia

Segundo o princípio de conservação de energia, considerando algumas perdas entre os processos, basicamente um aerogerador converte energia a partir de dois processos. Primeiramente, a energia cinética do vento é transformada em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica que será distribuída para rede elétrica. Esses processos estão demonstrados na Figura 10 abaixo.

Figura . Esquema geral de funcionamento de um aerogerador.



Fonte: Pico, 2014.

O vento atinge as pás do rotor que se movimentam. Esse movimento é transferido para um sistema de engrenagens que multiplicam a frequência do rotor. Essa velocidade é transmitida para o gerador elétrico responsável por produzir a eletricidade por meio do fenômeno de indução eletromagnética. Destacamos que a necessidade do multiplicador mecânico e do conversor eletrônico depende da tecnologia utilizada pelo aerogerador.

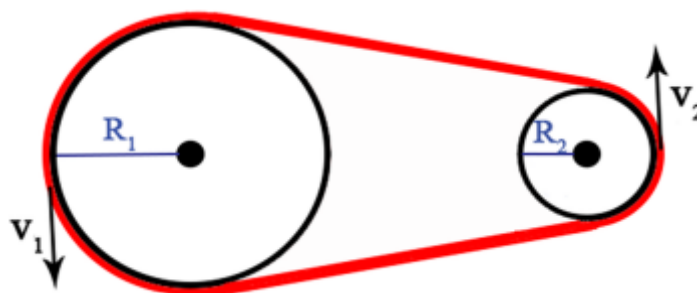
3.4.2 Transmissão e caixa multiplicadora

A transmissão, que engloba a caixa multiplicadora, tem por finalidade transferir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até o gerador. A caixa multiplicadora tem a função de realizar o ajustamento entre a baixa frequência do rotor e a elevada frequência

do gerador. A frequência do rotor está entre, aproximadamente, 20 e 150 rpm enquanto que a frequência dos geradores está situada entre, aproximadamente, 1000 rpm e 3000 rpm. Com isso, uma caixa de frequências (multiplicador) é, em geral, colocada, nesses casos, entre o eixo do rotor e o eixo do gerador.

A caixa multiplicadora é constituída por eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos. A Figura 11 apresenta um sistema simplificado de associação de polias de diâmetros diferentes. A caixa multiplicadora, como dita, é um sistema de maior complexidade, entretanto a simplicidade do sistema da figura 11 ilustra a relação existente de frequência entre engrenagens de diferentes diâmetros.

Figura 11. Esquema de duas polias ligadas por corrente.



Fonte: Pícolo, 2014.

Através da associação de engrenagens de características diferentes, é possível transmitir movimentos e ampliar ou reduzir forças. Para esse tipo de acoplamento, a velocidade linear v nos pontos como mostram na Figura 11, em contato com a correia ou polia, tem o mesmo valor, demonstrada n Eq. (1). A velocidade linear está, de modo direto, relacionada com a velocidade angular, conforme a Eq. (2). Combinando a Eq. (1) e a Eq. (2), pode-se encontrar a Eq. (3). Tendo em vista que a velocidade angular pode ser escrita como função da frequência f , obtém-se Eq. (4). E, por fim, pode-se obter a relação entre as frequências e os raios, conforme Eq. (5).

$$v_1 = v_2 \quad (2)$$

$$v = \omega \cdot R \quad (3)$$

$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_2 \cdot R_2 \quad (4)$$

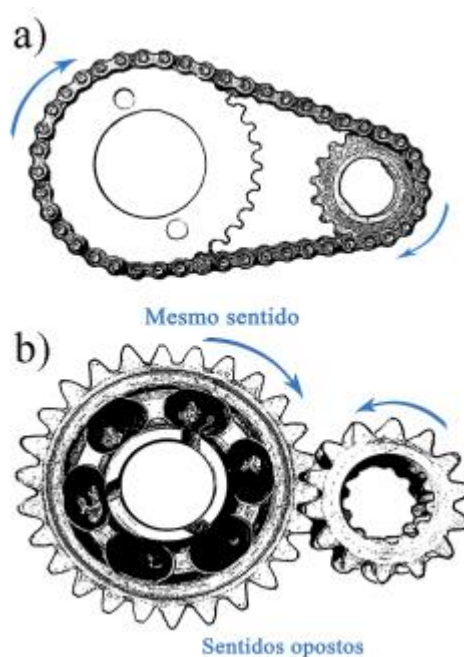
$$2\pi \cdot f_1 \cdot R_1 = 2\pi \cdot f_2 \cdot R_2 \quad (5)$$

$$f_1 \cdot R_1 = f_2 \cdot R_2 \quad (6)$$

onde ω é a velocidade angular; R é o raio da polia e f a frequência da polia.

Fundamentando-se na Eq. (5), conclui-se que para que haja um aumento da frequência da polia e consequentemente da velocidade angular, é necessário que a polia movida, tal que fornece o movimento, tenha um raio maior do que a polia motora que recebe o movimento. As engrenagens, quando acopladas por uma corrente, giram no mesmo sentido e enquanto que se estiver em contato direto, giram em sentidos opostos. Como pode ser observado na Fig. 12.

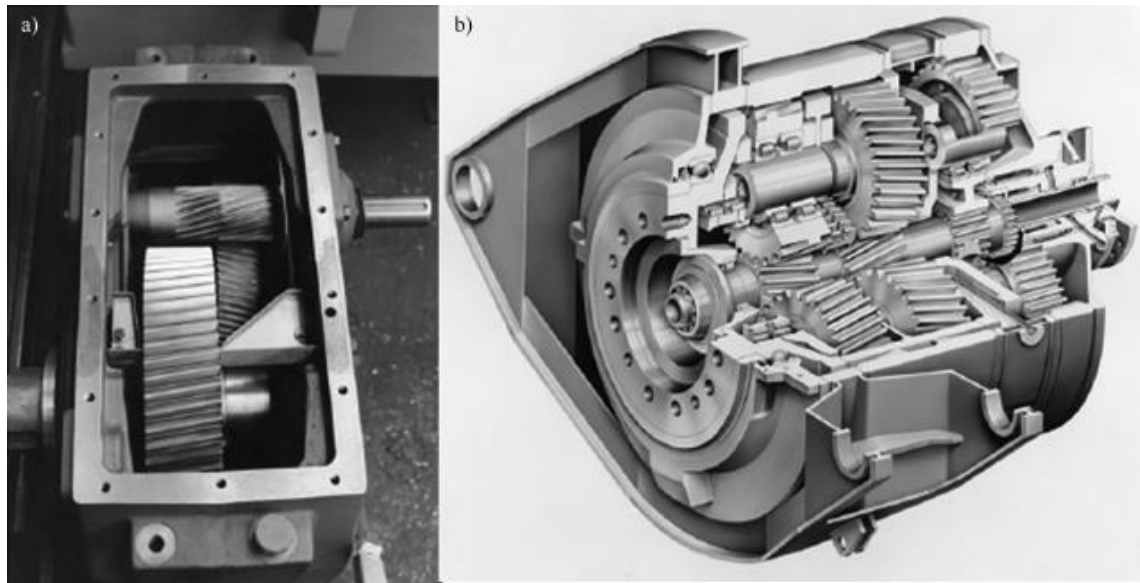
Figura 12. Engrenagens acopladas por corrente (a) e em contato direto (b).



Fonte: Pico, 2014.

Nos aerogeradores, esse princípio é muito utilizado, produzindo engrenagens de vários tamanhos e formatos de acordo com a potência desejada, como mostrado na Figura 13.

Figura 13. Caixa multiplicadora de duas fases para aerogeradores de eixo paralelo da classe de potência de 200 a 500 kW (b) caixa multiplicadora planetária de três estágios da classe de potência 2 a 3 MW.

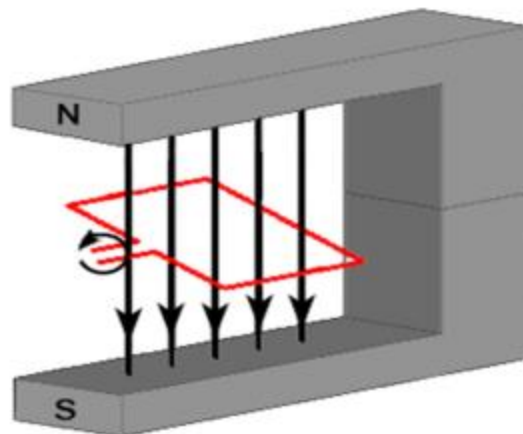


Fonte: Pico, 2014

3.5 Gerador

O princípio básico de operação de um gerador consiste em uma turbina que produz um movimento de rotação em uma espira. Essa espira gira em torno de um eixo perpendicular à direção das linhas de força de um campo magnético que pode ser gerado por ímãs ou bobinas. Isso faz com que o fluxo do campo magnético através da espira varie com o tempo e então é produzida uma força eletromotriz induzida ϵ . Portanto, a força eletromotriz resulta do movimento relativo que há entre a espira e o campo magnético. A Fig. 9 representa o princípio básico desse equipamento.

Figura 14. Princípio básico de um gerador elétrico.



Fonte: Pico, 2014.

O fluxo magnético (Φ) representa o produto entre a indução magnética, a área da superfície plana e o cosseno do ângulo formado, como apresentado na Eq. (6).

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta \quad (7)$$

Em que B é a intensidade do campo magnético; A é a área da espira; e θ é o ângulo formado entre o condutor e as linhas de fluxo magnético.

Dependendo da posição da espira, a intensidade da corrente varia assim como o sentido da corrente se inverte o que dá origem a corrente alternada.

Observando a Eq. (6), temos que o fluxo magnético será máximo quando o cosseno do ângulo for 0° e a espira estiver na posição horizontal, em que as linhas do campo magnético não a cruzam, e será mínimo quando o cosseno do ângulo for 90° como no caso da espira estiver na vertical, em que as linhas de campo atravessam toda a sua área. Supondo que o fluxo magnético através de um circuito fechado tenha sofrido uma variação $\Delta\phi$ em um intervalo de tempo isso provocará nesse circuito uma corrente induzida. Portanto, no circuito foi estabelecida uma *fem* responsável pelo aparecimento da corrente que é denominada *fem* induzida.

A *fem* induzida é diretamente proporcional à taxa de variação do fluxo, então para aumentar o seu “pico” é necessário aumentar essa variação. Isso será possível aumentando a velocidade de rotação da espira. Nota-se que, segundo a lei de Faraday-Neumann-Lenz, o sentido da corrente elétrica induzida é tal que o efeito que ela produz (campo magnético induzido) se oponha ao efeito que a gerou.

Em um intervalo de tempo Δt o fluxo magnético $\Delta\phi$ varia e, sendo assim, a *fem* (ε) será a razão entre variação do fluxo magnético e a variação do tempo, como demonstra a Eq. (7).

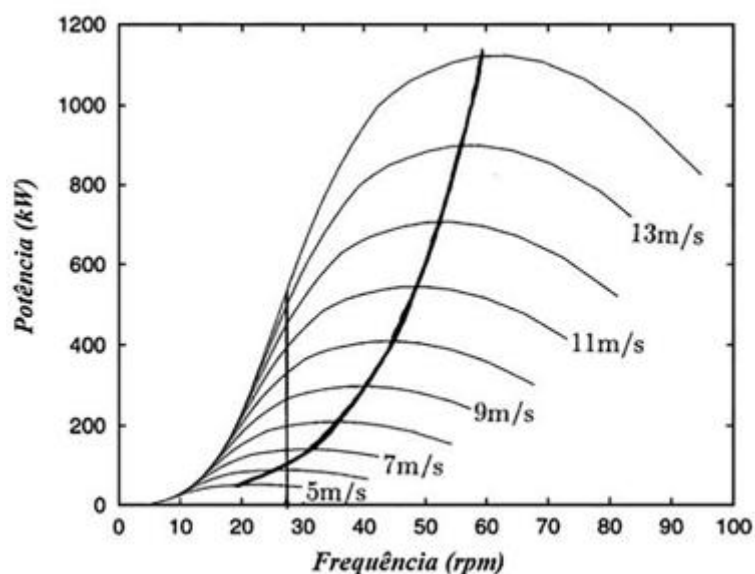
$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (8)$$

A intensidade da corrente induzida na espira depende da velocidade relativa entre o campo magnético e esse condutor. Nesse sentido, podemos concluir que a potência produzida pelo aerogerador depende, além de outros fatores, da rotação dessa espira. O aumento da rotação proporciona um aumento da potência, mas só até certo ponto.

Acontece que se a rotação for muito intensa, então haverá uma dificuldade da passagem do vento através da turbina, o que implica que mesmo aumentando a rotação, a potência diminui depois de certa velocidade.

O desempenho do sistema gerador-turbina será estabelecido pela relação entre a velocidade do vento e a potência fornecida pelo aerogerador, que é conhecida como curva de potência ou curva característica do aerogerador. Ela pode ser obtida teoricamente pelos pontos de intersecção da Fig. 15. Veja que a figura 15 representa a curva característica do gerador elétrico para diferentes frequências e curvas características da turbina eólica em diferentes velocidades de vento, válida para algumas topologias de aerogeradores.

Figura 15. Curva característica do gerador elétrico para diferentes rotações e curvas características do aerogerador em diferentes velocidades do vento.



Fonte: Picolo, 2014

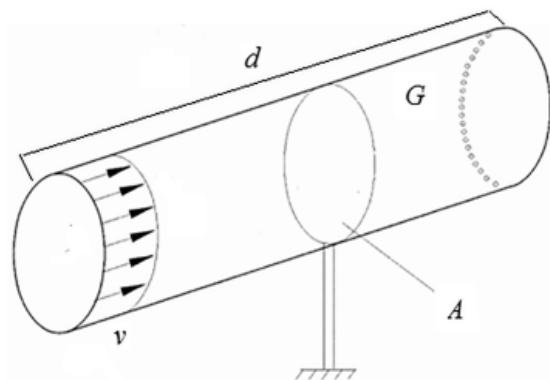
3.5.1 Energia e potência extraída do vento

Suponha uma massa de ar (m) com uma velocidade v se deslocando, assim temos associado uma energia cinética (E_c), dada por

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (9)$$

Considere uma geometria G constituída por um cilindro de área transversal A e comprimento d , como mostra Figura 16 abaixo:

Figura 16. Geometria G atravessada por um fluido com velocidade v .



Fonte: Picolo, 2014

O volume V da geometria G é o produto entre a área transversal A e o comprimento d . Considerando que esta geometria está sendo atravessado por um fluido com velocidade v , o volume de fluido que atravessa o mesmo é dado pelo produto entre a área transversal A , a velocidade v do fluido e o tempo t , conforme a Eq. (9):

$$V = A \cdot d = A \cdot v \cdot t \quad (10)$$

A vazão Q do fluido é a taxa de variação temporal do volume V de fluido que atravessa a geometria G de área transversal A e comprimento d é dada por:

$$z = \frac{\Delta V}{\Delta t} = A \cdot v \quad (11)$$

Em um regime de escoamento permanente e incompressível, o fluxo de massa que atravessa a geometria G pode ser determinado pela Eq. (11).

$$\Phi_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \cdot v \cdot A \quad (12)$$

Em que Φ_m é o fluxo de massa; ρ é a massa específica do ar.

Veja que a energia cinética E pode ser rescrita a partir da Eq. (13).

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2 \quad (13)$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot t \cdot v^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot t \cdot v^3$$

Estamos interessados em determinar a potência que essa massa de vento carrega. Como a potência é definida como a variação de energia com tempo, supondo um intervalo de tempo pequeno, tem-se que a potência disponível no vento que passa por uma seção transversal de área A será:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (14)$$

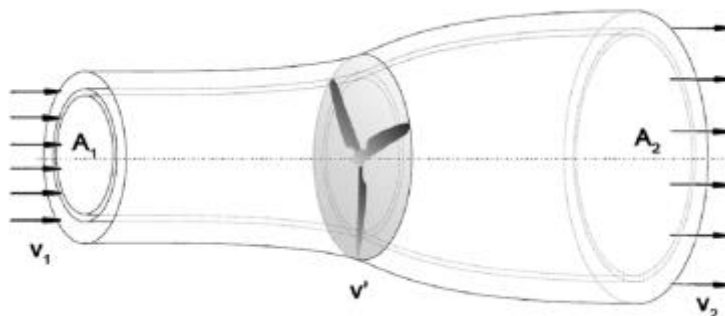
Como queremos a potência disponível por unidade de área, vamos chamá-la de P_d . Portanto, temos

$$P_d = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (15)$$

Entretanto, a potência disponível no vento não pode ser totalmente aproveitada pela turbina eólica para a geração de eletricidade. Em 1919, o físico alemão Albert Betz demonstrou cientificamente que a eficiência dos conversores eólicos na extração da energia do fluxo de ar está limitada. A questão é a quantidade de energia mecânica que pode ser extraída da corrente de ar livre de fluxo por um conversor de energia. Como a energia mecânica só pode ser extraída com o custo da energia cinética contida no vento, o que significa que, com um fluxo de massa inalterada, a velocidade de escoamento por trás do conversor de energia eólica deve diminuir. Reduzir a velocidade, no entanto, significa ao mesmo tempo um aumento da seção transversal, enquanto que o mesmo fluxo de massa deve passar através dele. Assim, é necessário considerar as condições à frente e atrás do conversor.

A massa de ar que passa pelo rotor forma um tubo circular de corrente, entre o ar anterior e o posterior ao rotor do aerogerador. A corrente de ar antes da passagem pelo disco do rotor forma um tubo com diâmetro menor que o disco do rotor e a posterior, um tubo com diâmetro maior que o disco. Esse princípio está demonstrado na Figura 17, considerando que v_1 (processo de montante) é a velocidade antes de passar pela turbina eólica e v_2 é a velocidade após a passagem (processo de jusante).

Figura 17. Tubo imaginário circular de corrente do ar anterior e posterior ao rotor.



Fonte: Picolo, 2014

A potência extraída da corrente de ar corresponde à diferença de potência do fluxo de ar antes e depois do conversor.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3) \quad (16)$$

Considerando um escoamento em regime permanente e incompressível, de acordo com a equação da continuidade, para manter o mesmo fluxo de massa deve haver uma mudança na velocidade v .

$$\rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 A_2 \quad (17)$$

Concluimos que

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1 \cdot A_1 (v_1^3 - v_2^3) \quad (18)$$

A partir da Eq. (17) podemos constatar que se v_2 for igual a zero, a potência seria máxima, ou seja, todo o ar é retido pelo aerogerador. No entanto, este resultado não faz sentido fisicamente. Se a velocidade de v_2 escoamento por trás do conversor for zero, então a velocidade de entrada v_1 deve também tornar-se zero, o que implica que não haveria mais o fluxo através do conversor. Então o resultado fisicamente significativo consiste em uma determinada relação numérica de v_2/v_1 onde o poder extraível atinge o seu máximo.

Sabe-se que a velocidade referente ao máximo de potência extraída é um valor entre v_1 e v_2 . Este valor pode ser calculado se a velocidade no rotor v' for conhecida. Assim, a velocidade de fluxo através do conversor é igual à média aritmética das v_1 e v_2 .

$$v' = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (19)$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \left\{ \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right] \left[1 + \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \right\} \quad (20)$$

Mas qual seria a eficiência máxima dessa conversão, visto que ela não atinge 100%. Vamos fazer algo semelhante a máquina de Carnot em máquinas térmicas, chamado Limite de Betz (1939). Betz fez uma suposição razoável que a velocidade na secção do rotor era dado simplesmente pela média das velocidades de montante e jusante. Há uma demonstração formal com base no teorema da mecânica de fluidos, conhecido como Teorema de Rankine - Froude, mas não será objeto do nosso estudo no momento. Na Eq. (19), o termo entre colchetes é chamado coeficiente de potência c_p , é a relação entre a potência mecânica extraída pelo conversor e a da corrente de ar não perturbado. O coeficiente de potência e a potência extraída da corrente de ar só dependem da relação entre as velocidades do ar antes e depois de passar pelo rotor. Esse coeficiente de potência atinge o valor máximo quando a relação entre as velocidades v_2/v_1 for igual a 1/3, chegando, assim, no Limite de Betz

$$c_{p\max} = \frac{16}{27} = 0,593. \quad (21)$$

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS COM APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS DE FÍSICA.

A sequência didática é uma estratégia pedagógica que visa organizar e sequenciar os conteúdos a serem vistos, estabelecendo uma conexão lógica entre eles e promovendo uma aprendizagem significativa. Nesse sentido, uma sequência didática para o ensino de energias renováveis com aprofundamento de conhecimentos de Física pode fornecer aos estudantes uma base sólida de compreensão sobre essas fontes de energia e as leis físicas envolvidas em seu funcionamento. A sequência didática proposta pode ser dividida em diferentes etapas, permitindo que os alunos avancem gradualmente em seus

conhecimentos. Cada etapa pode ser desenvolvida de forma prática e teórica, envolvendo atividades experimentais, pesquisas, discussões em grupo e reflexões individuais. A seguir, apresentaremos uma sugestão de sequência didática para o ensino de energias renováveis com aprofundamento de conhecimentos de Física.

4.1 Plano de Aula I

Plano de aula I

Disciplina: Ciências/Física

Professor: Anderson

Tema abordado: Energia Eólica

Série: 3º Ano do Ensino Médio

Número de aulas: 02 aulas

Objetivos: Levar o aluno a compreender sobre as diferentes fontes de transformação de energia elétrica.

Conteúdo:

- 1- Introdução motivacional ao assunto: importância da produção de energia elétrica, energias renováveis, papel da física.
- 2- Requisitos: revisão de conceitos de trabalho e energia, corrente elétrica, circuitos, indução.
- 3- A energia eólica no Brasil e no mundo.

Recursos didáticos: a aula consistirá na utilização de recursos como: quadro, piloto, computador e datashow para a projeção do vídeo.

Desenvolvimento metodológico do tema:

a) Problematização inicial: Introduzir o tema perguntando aos alunos:

1. Quais são as fontes geradoras de energia elétrica?
2. O que são fontes alternativas de produção de energia?
3. Como a Física nos ajuda a compreender os processos de geração de energia elétrica?
4. Quais são as principais fontes de energia do Brasil?

PRÁTICAS AVALIATIVAS:

Exercícios e participação em aula.

Bibliografia

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. Física. São Paulo: Cortez, 1992.

<https://www.ageradora.com.br/tipos-e-fontes-de-geracao-de-energia-eletrica/>

<https://www.youtube.com/watch?v=c0EvXIQZudM>

https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes

4.2 Plano de Aula II

Plano de aula II

Disciplina: Ciências/Física

Professor: Anderson

Tema abordado: Energia Eólica

Série: 3º Ano do Ensino Médio

Número de aulas: 04 aulas

Objetivos: Revisar fundamentos da Física tais como trabalho e energia mecânica.

Conteúdo:

- 1- Fundamentos de física: trabalho, energia cinética e potencial gravitacional.
- 2- Exemplos: conversão de energia potencial gravitacional para cinética numa barragem, conversão de energia potencial eletrostática de um elétron entre duas placas metálicas carregadas.

Recursos didáticos: a aula consistirá na utilização de recursos como: quadro, piloto, computador e datashow para a projeção do vídeo.

Desenvolvimento metodológico do tema:

a) Problematização: Os conceitos Físicos

1. O que se entende por Trabalho de uma Força ?
2. Defina Energia Mecânica em termos da Energia Cinética e Potencial.
3. Qual a relação do Trabalho com a Energia Mecânica?
4. Como a altura de queda d'água está relacionada com a energia elétrica que chega às residências?

PRÁTICAS AVALIATIVAS:

Exercícios e participação em aula.

Bibliografia

1. Ramalho, Nicolau e Toledo. Moderna Plus - Física - Os Fundamentos da Física - Parte III - 3º Ano - 11ª Ed. 2015.
2. Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Física (Ensino Médio), Vol.3, 1ª Ed. Editora Scipione, 2012.
3. NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica. São Paulo: Blucher, 2013.
4. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da física. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

4.3 Plano de Aula III:

Plano de aula III

Disciplina: Ciências/Física

Professor: Anderson

Tema abordado: Energia Eólica

Série: 3º Ano do Ensino Médio

Número de aulas: 06 aulas

Objetivos: Trabalhar conceitos de carga elétrica e seu movimento; diferença de potencial elétrico (d.d.p); Leis de Ohm; e reconhecer componentes eletrônicos de um circuito elétrico.

Conteúdo:

- 1- Carga elétrica, campo elétrico e força eletrostática;
- 2- Conceito de potencial elétrico e diferença de potencial elétrico; energia potencial elétrica.
- 3- Corrente elétrica alternada e contínua.
- 4 - Leis de Ohm: definição de resistência elétrica, resistividade, corrente elétrica e d.d.p.
- 5 - Circuitos elétricos: fio, resistores, geradores, receptores.
- 6 - Experimentação: potência elétrica e consumo de energia elétrica.

Recursos didáticos: a aula consistirá na utilização de recursos como: quadro, piloto, computador e datashow para a projeção do vídeo e o boleto de uma conta de luz.

Desenvolvimento metodológico do tema:

a) Problematização:

1. O que é a carga elétrica e como é a sua interação no universo?
2. Na tomada, qual é a relação entre a d.d.p e a energia potencial elétrica?
3. Explicar as principais diferenças entre a corrente elétrica alternada e contínua.
4. Qual é o papel da resistência elétrica em um circuito?
5. Descrever componentes elétricos no cotidiano que funcionam como gerador e receptor.
6. Calcular a energia elétrica consumida por mês na residência e comparar com a energia elétrica gerada por um gerador eólico.

PRÁTICAS AVALIATIVAS:

Exercícios e participação em aula.

Bibliografia

1. Ramalho, Nicolau e Toledo. Moderna Plus - Física - Os Fundamentos da Física - Parte III - 3º Ano - 11ª Ed. 2015.
2. Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Física (Ensino Médio), Vol.3, 1ª Ed. Editora Scipione, 2012.
3. NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica. São Paulo: Blucher, 2013.
4. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da física. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

4.4 Plano de aula IV

Plano de aula IV

Disciplina: Ciências/Física

Professor: Andrerson

Tema abordado: Energia Eólica

Série: 3º Ano do Ensino Médio

Número de aulas: 05 aulas

Objetivos: Trabalhar conceitos de magnetismo (campo magnético, fluxo magnético), indução eletromagnética e entender o funcionamento de um gerador elétrico.

Conteúdo:

- 1- Ímãs e imantação, campo magnético de um ímã e campo magnético terrestre.
- 2- Campo magnético gerado por uma carga elétrica em movimento e força magnética.
- 3- Campo magnético em um fio retilíneo, espira, bobina e solenóide
- 4- Indução eletromagnética: fluxo magnético, leis de Faraday e Lenz.
- 5- Transformadores

- 1- Princípios de funcionamento de um gerador elétrico.
- 2- Esquema de uma turbina eólica.

Recursos didáticos: a aula consistirá na utilização de recursos como: quadro, piloto, computador e datashow para a projeção do vídeo.

Desenvolvimento metodológico do tema:

a) Problematização:

1. Como funciona uma bússola e como ajudou nas navegações?
2. Explicar o experimento de Oersted: o eletromagnetismo.
3. Como a energia elétrica é transformada em energia mecânica: explicar o funcionamento dos motores das turbinas eólicas.
4. Qual é o papel do transformador?

PRÁTICAS AVALIATIVAS:

Exercícios e participação em aula.

Bibliografia

1. Ramalho, Nicolau e Toledo. Moderna Plus - Física - Os Fundamentos da Física - Parte III - 3º Ano - 11ª Ed. 2015.
2. Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Física (Ensino Médio), Vol.3, 1ª Ed. Editora Scipione, 2012.
3. NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica. São Paulo: Blucher, 2013.

4. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da física. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

4.5 Plano de Aula V

Plano de aula IV

Disciplina: Ciências/Física

Professor: Anderson

Tema abordado: Energia Eólica

Série: 3º Ano do Ensino Médio

Número de aulas: 03 aulas

Objetivos: Compreender os princípios básicos da energia eólica e sua aplicação na geração de eletricidade por meio da construção de uma maquete simples de mini usina eólica.

Conteúdo:

- 1- Como acontece a indução eletromagnética no gerador/motor
- 2- Montagem de um circuito elétrico simples: gerador, resistor, fio e lâmpada.
- 3- Explicar as vantagens e desvantagens do uso de energia do páteo eólica.

Recursos didáticos:

- Materiais de baixo custo: papelão, palitos de churrasco, papel alumínio, fita adesiva, garrafa PET vazia, tesoura, cola, régua, lápis.
- Ventilador ou secador de cabelo.
- Slides ou imagens para apresentação do conceito de energia eólica.

Desenvolvimento metodológico do tema:

a) Problematização:

1. Entender o funcionamento do gerador elétrico.
2. Montar o circuito elétrico simples
3. Apresentar a maquete e explicar o funcionamento da conversão de energia eólica em energia elétrica.

b) Procedimento

1. Apresentar o conceito de energia eólica e sua importância como fonte de energia renovável.
2. Explicar como a energia eólica pode ser transformada em eletricidade e como é usada em usinas eólicas.

3. Mostrar imagens ou slides para ilustrar o funcionamento básico de uma usina eólica.
4. Discutir as vantagens e proteção da energia eólica em comparação com outras fontes de energia.

5. Divida a turma em grupos de 3 a 4 alunos e distribua os materiais necessários.

Explique o objetivo da atividade: construir uma maquete simples de uma mini usina eólica que demonstre o funcionamento básico do sistema.

Forneça instruções passo a passo para a construção da maquete, conforme descrito a seguir:

- a. Use o papelão como base da maquete, recortando-o em um tamanho adequado.
- b. Faça um pequeno furo no centro da base de papelão e insira o palito de churrasco.
- c. Recorte as pás do rotor da usina eólica em papelão ou cartolina e fixe-as no topo do palito de churrasco, formando uma hélice.
- d. Fixe o palito de churrasco verticalmente no centro da garrafa PET vazia, que servirá como torre da usina.
- e. Envolve uma garrafa

PRÁTICAS AVALIATIVAS:

Participação em aula, confecção da maquete e apresentação.

Bibliografia

1. Ramalho, Nicolau e Toledo. Moderna Plus - Física - Os Fundamentos da Física - Parte III - 3º Ano - 11ª Ed. 2015.
2. Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Física (Ensino Médio), Vol.3, 1ª Ed. Editora Scipione, 2012.
3. NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica. São Paulo: Blucher, 2013.
4. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da física. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Ao elaborar uma sequência didática baseada no itinerário formativo da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do Brasil, com foco no estudo da física da energia eólica no ensino médio, é possível concluir que essa abordagem tem grande conexão para a formação dos estudantes. A energia eólica é uma fonte renovável e sustentável de grande importância no contexto atual, e seu estudo contribui para a compreensão dos princípios científicos subjacentes, bem como para a conscientização sobre a importância da sustentabilidade e da preservação ambiental.

A sequência didática deve abranger diversos aspectos, começando pela apresentação dos conceitos fundamentais da física relacionados à energia eólica, como força, trabalho, energia cinética e potencial, e o princípio de conservação de energia. Em seguida, os estudantes devem explorar os princípios da conversão de energia, analisando como a energia cinética do vento pode ser transformada em energia elétrica por meio de aerogeradores.

É importante que a sequência didática inclua atividades práticas, experimentos e simulações computacionais, permitindo aos alunos vivenciar na prática os conceitos teóricos aprendidos em sala de aula. Além disso, é recomendado que os alunos tenham acesso a recursos audiovisuais, como vídeos e documentários, que mostrem exemplos reais de parques eólicos e suas aplicações.

A perspectiva da sequência didática é despertar o interesse dos estudantes pela física e pela energia eólica, promovendo uma curiosidade científica e incentivando-os a refletir sobre o papel das fontes renováveis de energia na sociedade atual. Além disso, a abordagem contribui para o desenvolvimento de competências e habilidades previstas na BNCC, como a capacidade de investigação, análise crítica e resolução de problemas.

Através dessa sequência didática, os alunos têm a oportunidade de compreender a importância da energia eólica como alternativa aos combustíveis fósseis, promovendo uma reflexão sobre as questões socioambientais e estimulando atitudes mais reflexivas. Além disso, uma abordagem da física da energia eólica no ensino médio pode despertar o interesse de alguns estudantes para áreas relacionadas, como engenharia de energias renováveis e desenvolvimento tecnológico.

Portanto, ao desenvolver uma sequência didática baseada no itinerário formativo da BNCC sobre o estudo da física da energia eólica no ensino médio, podemos concluir

que essa abordagem oferece uma oportunidade valiosa para a formação integral dos estudantes, promovendo a compreensão científica, a conscientização socioambiental e interesse por áreas de conhecimento e carreiras relacionadas à sustentabilidade e à energia renovável.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, MS T; ABIB, MLVS Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes abordagens, diferentes intenções. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.25, n.2, p.176-194, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a07v25n2.pdf> . Acesso em 22 de junho de 2022.

ARAÚJO, Mauro ST; ABIB, Maria Lúcia VS. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes abordagens, diferentes propósitos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n.2, p. 176, junho de 2003.

AUSUBEL, DP Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

AUSUBEL, DP; NOVAK, JD; HANESIAN, H. Psicologia educacional. Trad. Eva Nick e outros. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BONELLI, Artur Fernando. Modelagem e simulação de unidade eólica para estudos de indicadores de qualidade da energia elétrica. 2010. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

BONELLI, AF Modelagem e simulação de usina eólica para estudos de indicadores de qualidade de energia elétrica. 2010. 199f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2019. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf Acesso em: 20 de novembro de 2022.

CAVALCANTI, MARCELLO HENRIQUE DA SILVA; RIBEIRO, MATHEUS MARQUES; BARRO, Mário Roberto. Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS. Ciência e Educação, Bauru, v. 24, n. 4, pág. 859-874, 2018.

CACHAPUZ, António et al. A necessidade renovação do ensino das ciências. . São Paulo: Cortez, 2005.

CRUZ, Maria Eduarda de Brito; SIMÕES NETO, José Euzébio. UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE PERFUMES E ESSÊNCIAS PARA O ENSINO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS OXIGENADAS.. Revista Dynamis, [SI], v. 24, n. 1, pág. 3-19, jul. 2018. ISSN 1982-4866. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/6522> . Acesso em: 15 de outubro de 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.7867/1982-4866.2018v24n1p3-19> .

CUSTÓDIO, RS Energia eólica para produção de energia elétrica. Edição: 2. Brasil: Synergia Editora, 2013.

CONSELHO GLOBAL DE ENERGIA EÓLICA, Relatório Eólico Global – Atualização Anual do Mercado (Conselho Global de Energia Eólica, Bruxelas, 2014).

EGC Neves, RCF Damé, CFA Teixeira e R. Munchow, Introdução ao Estudo de Energia Eólica. Caderno Didático (Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009).

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE), Balanço Energético Nacional 2022– Ano Base 2021: Relatório Síntese (EPE, Rio de Janeiro, 2022).

FARIAS, Antonio J. Ornellas. A psicologia educacional da aprendizagem aplicada significativamente a programação escolar. Psicologia & Saberes, v.7, n. 8 de 2018.

GATTI, André. Energias renováveis na matriz energética: comparação Brasil e Estados Unidos. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/1885506> . Acesso em: 10 de novembro de 2022.

GOLDEMBERG, J., & LUCON, O. (2007). Energias renováveis: um futuro sustentável. Revista USP, (72), 6-15. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i72p6-15>

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da física. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

LEACH, J.; SCOTT, P. Projetando e Avaliando Sequências de Ensino de Ciências: Uma Abordagem Baseada no Conceito de Demanda de Aprendizagem e uma Perspectiva Social Construtivista sobre a Aprendizagem. *Estudos em Educação em Ciências*, v. 38, n. 1, pág. 115-142, 2002.

MARTINELO, Diana. Sistema de emulação de aerogeradores para aplicação em geração distribuída de energia elétrica. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

MÉHEUT, M., & PSILLOS, D. (2004). Sequências de ensino-aprendizagem: Objetivos e ferramentas para a investigação em educação científica. *Jornal Internacional de Educação em Ciências*, 26(5), 515-535.

MOREIRA, MA (2000). Aprendizagem crítica significativa. *Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, Lisboa (Peniche).

MOREIRA, MA (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1): 7-29. <http://www.if.ufrgs.br/ienci>

NUSSENZVEIG, Herch Moisés. *Curso de Física Básica*. São Paulo: Blucher, 2013.

NOVAK, JD (2000). Aprender, criar e utilizar o conhecimento. Mapas conceituados como ferramentas de facilitação em escolas e empresas. Lisboa, Plátano Edições Técnicas.

PICOLO, AP, BUHLER, AJ, RAMPINELE, GA Uma abordagem sobre energia eólica como alternativa de ensino de recursos de Física Clássica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 36, nº 4. 4306, 2014. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/364306.pdf> . Acessado em 08/09/2017.

SALLES, MBC Modelagem e análises de geradores eólicos de variável de velocidade conectados em sistemas de energia elétrica. texto—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2 out. 2009.

SANTOS, WP; MORTIMER, EF Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CT-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências. v. 2, n. 2, dez. 2002.

SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. (1994). Educação CTS: perspectivas internacionais sobre a reforma. Nova York: Teachers College Press.

SOLTOSKI, JCF; SANTOS, PTP; FONT, CHI Desenvolvimento de um workbench emulador de turbina eólica em pequena escala. 2016 12ª Conferência Internacional IEEE Sobre Aplicações da Indústria (INDUSCON), [sl], p.1-8, nov. 2016. IEEE.

TAVEIROS, FEV Sistema de conversão de energia eólica baseado em gerador de indução duplamente alimentado: análise e contribuição ao controle da máquina. 2014. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins e E. Bossanyi, Wind Energy Handbook (John Wiley & Sons, Ltd, Inglaterra, 2001).

VELOSO, Mário Vinicius Virginio; SILVA, Fabrício Marchado. Energia renovável: Desenvolvimento ambiental sustentável. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 11, n. 14, pág. e08111432467-e08111432467, 2022.

ZAKER, B.; MOHAMMADI, M. Operação ótima probabilística de uma rede inteligente incluindo unidades geradoras de energia eólica. In: Smart Grids (ICSG), 2012 2ª Conferência Iraniana sobre. Teerã, Irã: IEEE, 2012. p. 1–5.