

A Metodologia de Projetos aplicada ao Ciclo de Vida das Pás Eólicas

Albina Gonçalves Filipe

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2751-6356>

Felipe Yamazaki

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4021-1704>

Francisco del Moral Hernandez

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5655-1548>

Silvia Pierre Irazusta

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6856-4035>

Resumo

O Brasil possui 916 parques de produção de energia eólica, onde 10.178 aerogeradores estão em operação. Pode-se afirmar, portanto, através de simples cálculo de multiplicação que existem 30.534 pás eólicas em utilização. O presente trabalho teve como objetivo analisar como a Metodologia de Projeto pode contribuir para os estudos de Ciclo de Vida das Pás Eólicas, nas fases de fabricação, distribuição, operacionalização, manutenção e descarte. Para isso realizou-se um estudo bibliométrico, utilizando o aplicativo *Publish or Perish* nos bancos de dados da *Web of Science* e *Scopus*, selecionando-se as áreas da Engenharia de Produção e Geração de Energia, no período de 2013 a 2023, com as palavras-chave metodologia de Projetos, pás eólicas, ciclo de vida, energia, que resultou em nove publicações científicas que abordam a fabricação de pás eólicas, a partir das quais foi realizada a análise de conteúdo. Para complementar a análise, aplicou-se o método *survey*, onde 30 especialistas responderam às entrevistas com questões semiestruturadas. No questionário realizado de forma remota, 56,5% dos respondentes concordaram que é possível aplicar a Metodologia de Projeto em pesquisas científicas e detectou-se o seu crescimento em pesquisas aplicadas ao ciclo de vida das pás eólicas. Para 34,8% dos entrevistados, a Metodologia de Projeto pode ser bem utilizada na etapa de Estudo de Viabilidade e, 30,4% entendem que a Metodologia de Projetos pode ser útil na identificação de problemas no processo de utilização das pás eólicas. Concluiu-se, que a execução do processo de análise de ciclo de vida pode se beneficiar da utilização da Metodologia de Projeto, como método de trabalho, uma vez que proporciona um protocolo sequencial e lógico para planejamento e execução das etapas.

Palavras-chave: Metodologia de Projetos, Pás Eólicas, Ciclo de Vida, Energia.

Abstract

Brazil has 916 wind energy production parks, where 10,178 wind turbines are in operation. It can be stated, therefore, through a simple multiplication calculation that there are 30,534 wind blades in use. This work aimed to analyze how the Design Methodology method can contribute to studies of the Life Cycle of Wind Blades, in the manufacturing, distribution, operationalization, maintenance and disposal phases. A bibliometric study was carried out, using the Publish or Perish application in the Web

of Science and Scopus databases, selecting the areas of Production Engineering and Power Generation, in the period from 2013 to 2023, with the words-key Project methodology, wind blades, life cycle, energy which resulted in nine publications scientific studies that address the manufacture of wind blades, from which the content analysis was carried out. The survey method was applied, where 30 specialists answered the interviews. In the questionnaire carried out remotely, 56.5% of respondents agreed that it is possible to apply the Design Methodology in scientific research and its growth was detected in research applied to the life cycle of wind blades. The Project Methodology can be well used in the Feasibility Study stage for 34.8% and 30.4% understand that the Project Methodology can be useful in identifying problems in the process of using wind blades. It was concluded that the execution of the life cycle analysis process benefits from the use of the Project Methodology, as a working method, since it provides a sequential and logical protocol for planning and executing the steps.

Keywords: Project Methodology, Wind Blades, Life Cycle, Energy.

1 Introdução

A energia eólica é, juntamente com a energia hidráulica por roda d'água, a mais antiga fonte de energia aplicada pela humanidade. Existe evidência sólida histórica que a energia do vento tem sido utilizada dessa forma durante pelo menos mil anos (PINTO, 2013). Na Inglaterra entre os séculos XI e XII aparecem os moinhos de vento com sustentação por pedras. Nesse país, há registro de turbina eólica já em 1191, na Holanda, em 1439, para moagem. A Dinamarca em 1890, inicia o uso de vento para gerar eletricidade. Os avanços tecnológicos proporcionaram o desenvolvimento de novos materiais como fibra de vidro proporcionando em 1970, pás mais leves e o aerogerador passou a ser controlado por sistemas eletrônicos (ELIAS, 2023).

Segundo dados do mês de Agosto de 2023 da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA), o Brasil possui atualmente, 916 parques eólicos, nos quais 10.178 aerogeradores estão em operação. Através de simples cálculo de multiplicação, pode-se concluir que existem 30.534 pás eólicas em utilização. Considerando-se que foram implantadas no Brasil a partir da década de 1990 e, que sua vida média é de 35 anos uma parte considerável dessas pás encontra-se em fase de declínio dentro do seu ciclo de vida, o que suscita a necessidade de se pesquisar quais as possíveis destinações para elas dentro das premissas de sustentabilidade dos sistemas produtivos. Significa dizer que os projetos de desenvolvimento destas pás devem se basear em uma rigorosa análise de ciclo de vida de produto.

Neste trabalho busca-se responder a seguinte pergunta de pesquisa: Como a Metodologia de Projetos pode contribuir para os estudos de Ciclo de Vida das Pás Eólicas? Para se alcançar este objetivo, adotou-se uma pesquisa exploratória, utilizando um estudo bibliométrico em publicações científicas na área da Engenharia de Produção que abordam fabricação de pás eólicas e, também foi aplicada uma *survey* com profissionais, docentes e pesquisadores da área e entrevistas com especialistas.

2 Objetivo

Estudar o conceito de Metodologia de Projetos e como pode ser aplicado a análise de ciclo de vida de produto. O objetivo principal é amparado pelos objetivos específicos:

- a) Investigar, por meio de uma pesquisa exploratória, publicações científicas que dissertem sobre as aplicações da metodologia de projetos na área da engenharia de produção.
- b) Pesquisar, por meio de uma bibliometria e análise de conteúdo, procedimentos metodológicos utilizados na condução da metodologia de projetos nos artigos publicados.
- c) Verificar, por meio da *survey* e entrevista semiestruturada, a percepção dos especialistas da área da engenharia de produção sobre a evolução da aplicação desse método na avaliação do ciclo de vida (ACV) das pás eólicas.

3 Referencial Teórico

3.1 Energia do vento

A energia, nas suas mais diversas maneiras, tornou-se fundamental à sobrevivência da espécie humana. Dessa forma, o esgotamento, a escassez ou a inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outros. Em termos de provisão energética, a eletricidade se tornou uma das formas mais polivalentes e pertinentes de energia, passando a ser recurso essencial e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões (ANEEL, 2002).

Para explorar a energia eólica, como alternativa energética, é muito importante levar em conta as variações de velocidade do vento nos diversos locais. Terrenos

separados por poucos quilômetros podem estar sujeitos a condições de vento muito desiguais e têm implicações de projeto bem distintas para os fins de instalação de turbinas eólicas. A intensidade do vento também muda em diversas escalas temporais: sazonal, anual, diária, horária e de minutos, de acordo com as escalas meteorológicas com regimes anuais e sazonais, dirigidos principalmente por grandes escalas meteorológicas, como a sinótica e a circulação geral planetária, que apresentam considerável regularidade. Além disso, a direção e a intensidade do vento flutuam rapidamente em torno do valor médio em escalas temporais de minutos: é a turbulência, que representa importante característica do vento, uma vez que ocasionam flutuações das forças aerodinâmicas exercidas sobre as pás das turbinas eólicas, aumentando assim o desgaste e a redução de sua vida útil. Em terreno complexo, o nível de turbulência pode variar entre 15% e 20%, no mar aberto e zonas praianas esse valor encontra-se na gama de 10% a 14% (ALDABÓ, 2002).

Ao levar em consideração um local para a instalação de uma turbina eólica, uma avaliação da quantidade e qualidade do recurso eólico é fundamental, nesse contexto Hallak e Pereira (2012) recomendam que uma torre anemométrica seja geralmente instalada no local, a fim de monitorar a velocidade e a direção do vento e os níveis de turbulência em alturas diferentes durante um ou mais anos. Apesar dos estudos de viabilidade econômica do projeto, bem como de sua eficiência, as instalações eólicas podem ser visíveis a grandes distâncias, produzindo impacto sobre a paisagem, bem como outros impactos ambientais do empreendimento que podem ser condicionantes para a instalação de parques eólicos.

É possível reduzir o impacto visual devido à presença das turbinas, adotando as soluções construtivas, tais como o uso de cores neutras para ajudar na integração com a paisagem. Uma vez que o solo efetivamente ocupado por turbinas eólicas é uma parte mínima da área de instalação do projeto eólico, é possível continuar a utilizar a área também para outros fins, como a agricultura ou pecuária. Além disso, o ruído das turbinas eólicas deve ser avaliado. Causado pelos componentes eletromecânicos e acima de tudo, pelos fenômenos aerodinâmicos ligados às pás, o problema do ruído pode tornar-se insignificante quando se consideram dois fatores. O primeiro está relacionado ao ruído perceptível próximo às turbinas eólicas, que por vezes é atribuído apenas aos aerogeradores. Na realidade em áreas com vento forte, o ruído de fundo causado pelo vento pode ser igual ou maior do que o barulho dos

aerogeradores, a algumas centenas de metros. O segundo fator é que, a uma distância curta das turbinas eólicas, o ruído perceptível tem uma intensidade baixa, igualável às de situações diárias comuns, e, portanto, níveis acústicos aceitáveis para qualquer pessoa que trabalhe na área onde turbinas eólicas estão instaladas (Hallak; Pereira, 2012).

O ruído aerodinâmico pode ser motivo de queixas por parte dos moradores do entorno dos parques eólicos. O barulho surge do movimento de rotação gerados nas pás em operação e quanto maior o diâmetro das pás, mais evidente é o ruído (Maia, 2012).

No Brasil, os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores específicos para energia eólica foram instalados primeiramente no Ceará e na ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, no início dos anos 1990. Sendo pioneiro na realização de programas de levantamento do potencial eólico por meio de medidas de vento com modernos aparelhos, o Estado do Ceará propiciou a descoberta de imenso potencial eólico inexplorado em diversos pontos do território nacional. Neste estado, no período entre a década de 1990 e o ano de 2001, houve a implantação das primeiras usinas eólicas no país, com novos estudos realizados em torres com alturas de 50 a 70 metros, os quais trouxeram resultados animadores, como no estado do Ceará, por exemplo, que revelou um potencial aproveitável de 12,0 TWh na altura de 50 metros e de 51,9 TWh na altura de 70 metros, com ventos médios anuais superiores a 7 m/s. Observou-se, no entanto que o consumo de energia e o PIB cresceram em taxas significativas, enquanto que a capacidade instalada para geração de energia pouco aumentou (AMARANTE et al. 2001).

O Governo brasileiro passou a investir em programas que incentivassem mais a produção de energia elétrica vinda de outras fontes limpas além da hidráulica. Mediante o cenário energético, em julho de 2001, a câmara de gestão da crise de energia elétrica criou o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), que determinou a implantação, até o final de 2003, de 1050 MW de geração de energia elétrica a partir da fonte eólica (FERREIRA, 2008).

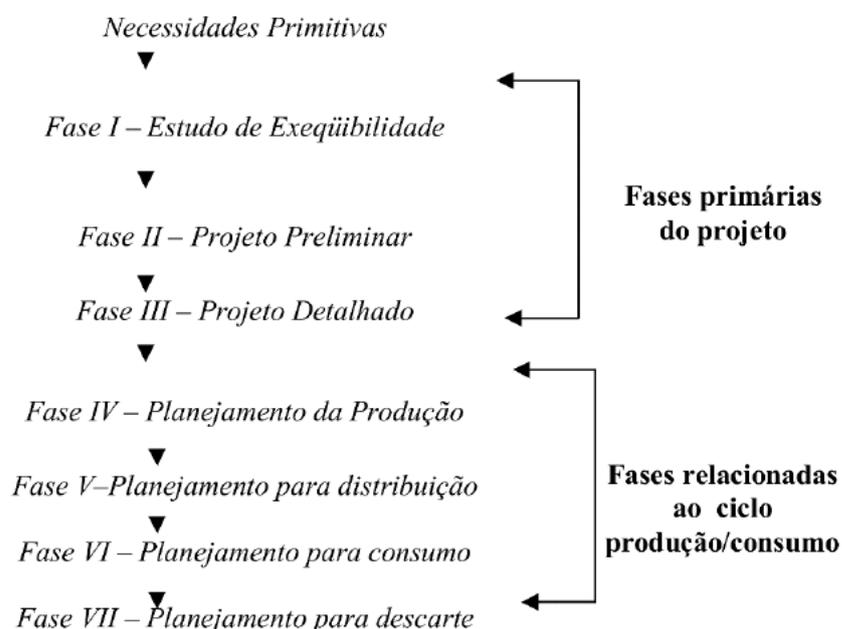
Conforme a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2023), em 2015, o montante investido em energia eólica foi cerca de US\$ 4,93 bilhões, valor equivalente a 66% do total aplicado em fontes renováveis pelo Brasil no mesmo ano. Quando considerado o período entre 2006 e 2015, por sua vez, ainda segundo a

ABEEÓLICA, o investimento acumulado foi de aproximadamente US\$28,13 bilhões, fator que aqueceu o mercado e contribuiu para que essa opção energética, antigamente a mais cara e menos desenvolvida daquelas incentivadas pelo PROINFA, passasse a figurar entre as principais opções (BRASIL, 2016)

3.2 Metodologia de projetos

A metodologia proposta por Asimov (1968), procura determinar de forma extensiva e encadeada todos os passos do desenvolvimento de um projeto ou produto. Apresenta grande importância histórica, por se tratar de um trabalho pioneiro no desenvolvimento de metodologias de projeto. Segundo o modelo, o projeto irá se desenvolver através de uma série de fases a serem apresentadas. Dentro do modelo proposto pelo autor uma nova fase não começará antes que a anterior esteja completa (Figura 1), embora determinação pode ser modificada para alguns casos.

Figura 1: Fluxograma de projeto proposto por Asimov (1968)



Fonte: Asimov (1968)

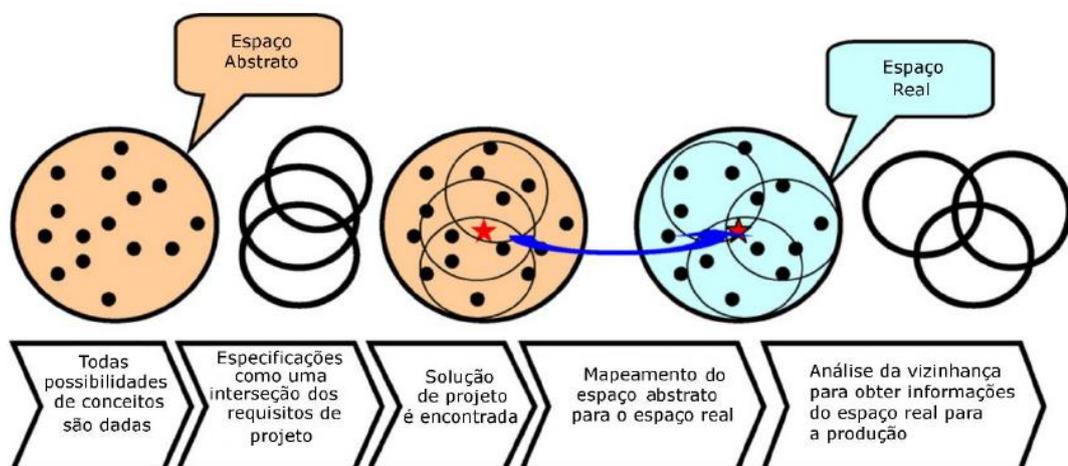
Os procedimentos metodológicos seriam aqueles relacionados com a forma de desenvolver todo o projeto, desde a identificação do problema até a sua solução final. Através de estágios estruturados, os quais mapeariam os caminhos a serem percorridos por uma equipe de projeto, os erros seriam minimizados e as questões

importantes seriam consideradas para o desenvolvimento do projeto (Maribondo 2000).

A Metodologia de Projetos se concentra nos resultados dos processos da pesquisa científica, como leis, teorias e explicações, focando-se na interpretação desses resultados e sua confiabilidade. Projetos assumem uma postura normativa e é muito orientado para o desenvolvimento de um artefato que possibilite a solução de um problema (Kroes, 2002).

Segundo Tomiyama *et al.* (2009), a ideia básica do processo de projeto, no âmbito do conhecimento humano, é descrita como (1) primeiramente, o conhecimento sobre a entidade a ser projetada deve existir. Para isso, conceitos abstratos devem ser categorizados; (2) A região em que a nova solução de projeto exista pode ser definida como o resultado da interseção dos requisitos de projeto. (3) o projetista encontra uma entidade que pode preencher estes requisitos com os conceitos abstratos. Se nenhuma solução é encontrada (falta de conhecimento), o processo retorna ao núcleo de síntese. Nesta situação, um número de estratégias pode ser possível. É notório que o passo 2 é uma condição necessária para qualquer novo projeto, visto que sem tal combinação conceitual a necessidade de um novo projeto pode ser contestada. (4) se a solução de projeto é obtida, é realizado o mapeamento das características do espaço abstrato para o espaço real, de atribuição. Sua vizinhança no espaço real é analisada de forma a se obter as informações necessárias para a efetivação, execução e produção do projeto. Tomiyama, *et al.*(2009) representa esse processo conforme Figura 2.

Figura 2 - Processo de projeto ideal no âmbito do conhecimento humano.



Fonte: Tomiyama, *et al.*, 2009 – adaptado.

Interessante observar na descrição dos modelos propostos pelos vários autores, que exceto no modelo mais antigo de Asimov (1968), nenhum dos autores menciona ou incorpora a questão do ciclo de vida dos materiais, sua durabilidade nos sistemas, sua obsolescência ou sua destinação final. Em que pese a inadequação do termo descarte usado por Asimov, uma vez que trata-se de um conceito originado na economia linear, este autor é o único onde se observa alguma preocupação com o fim de vida do produto.

3.3 Ciclo de vida

O Ciclo de Vida representa as etapas de fluxo que um material ou produto percorre. Segundo Pereira (2016), esse esquema relacionado a um artefato corresponde a um documento que objetiva auxiliar a equipe de projeto a levantar informações sobre a produção, consumo e descarte, reuso, reciclagem e remanufatura de produtos iguais ou semelhantes ao produto em estudo. Estas informações permitem aos projetistas que conheçam melhor seus concorrentes, descobrindo seus pontos falhos para explorá-los, visando gerar um produto mais competitivo. Geralmente é aplicado no início do processo de projeto.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é padronizada pela International Organization for Standardization (ISO), que elaborou a ISO 14040 sobre a ACV, publicada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT em ano 2009. De acordo com a ISO 14040 (2006), a ACV é a compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. A metodologia de ACV é dividida em fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados.

A ACV ainda é uma disciplina recente, desenvolvida principalmente a partir de meados da década de 1980 (Finnveden *et al.*, 2009). Quanto à sua evolução e maturidade, A ACV se tornou uma metodologia amplamente utilizada devido à sua forma integrada de tratar temas como estrutura, avaliação de impacto e qualidade dos dados.

Ter informações sobre a velocidade média dos ventos do local estudado para o implante da turbina eólica não é suficiente, é necessário acessar dados sobre a

frequência de ocorrência de velocidade do vento registrados continuamente pelo período de um ano no mínimo. Tais dados são elaborados por dezenas ou centenas de milhares de valores com médias extraídas de 1(um) ou 10 (dez) minutos, expresso em intervalos de 1 (um) segundo com anemômetros calibrados instalados em torres anemométricas (Silva, 2003). Os fatores que podem determinar a quantidade de eletricidade gerada são: (1) quantidade de vento que passa pela hélice, (2) do diâmetro da hélice, (3) a dimensão do gerador e (4) o rendimento de todo o sistema. O gerador é ligado através de um conjunto acionador a um rotor constituído de um cubo e duas ou três pás (Albadó, 2002).

A turbina eólica também é chamada de conversor de energia eólica (WEC-Wind Energy Converter), e sua performance é medida em termos da capacidade da energia eólica que ela pode converter da energia cinética do vento. Normalmente, essa energia é medida em quilowatts-hora (kWh) ou Megawatts-hora (MWh) durante um certo período de tempo, geralmente uma hora ou um ano (Albadó, 2002).

3.4 Natureza das Pás eólicas

As pás eólicas são fabricadas de múltiplos materiais e são basicamente compostos de polímeros reforçados com fibra de vidro e isso torna o processo de fabricação bem peculiar (Costa, 2021). A altura destas pás pode variar entre 60 e 120 metros, variando de acordo com cada projeto ou fabricante. As dimensões das pás eólicas podem variar entre 30 e 60 metros de diâmetro (Loureiro, 2014). Em sua fabricação são utilizados diferentes materiais, tais como: madeira balsa, espuma de policloreto de vinila (PVC), fibras de carbono, fibra de vidro e uma matriz polimérica é o PVC, já falou. Um dos fatores que é levado em consideração para a utilização desses materiais é o elevado fator resistência/peso, após sua montagem seu peso pode variar entre 65 e 90 toneladas (Mastbergen, 2004). Com relação ao seu ciclo de vida, a diversidade de materiais usados na construção das pás é um fator complicador no fim de vida, uma vez que sua descaracterização torna-se um processo complexo (citação)

4 Método

4.1 Pesquisa exploratória - Bibliometria

Para a investigar as publicações científicas que abordam as aplicações da Metodologia de Projetos na área da engenharia de produção, utilizou-se o método de

pesquisa exploratória, definiu-se a *string* de busca: (“windblades”) AND (“lifecycle”) AND (“methodology Project”) e como estratégia a busca de artigos científicos na base de dados Web of Science e Scopus, com publicação entre 2013 e 2023.

A partir da escolha da base de dados, definiu-se os métodos de busca e filtros da pesquisa utilizando o software *Publish or Perish*. O Quadro 1 retrata os procedimentos da busca dos artigos.

Quadro 1 – Procedimentos da busca dos artigos

String de Pesquisa	Base de Dados	Período	Idioma	Áreas de Pesquisa
TITLE-ABS-KEYWORDS(“methodology Project” AND “windblades”)	Scopus	2013 a 2023	Inglês	Engenharia de Projeto; Energia Eólica
(windblades) AND (lifecycle) AND (methodology Project)	Web of Science	2013 a 2023	Inglês	Engenharia de Projeto; Energia Eólica

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Por meio da análise bibliométrica é possível determinar a extensão da pesquisa em uma determinada disciplina em um determinado período e qual é o escopo e a finalidade das publicações científicas. Para realizar a bibliometria, pode-se analisar as palavras-chave, autores citados, cocitações e acoplamento bibliográfico (Pereira, 2019). A análise bibliométrica foi executada com uso do VOSviewer, pois, é a ferramenta com o maior conjunto de análises, atendendo a todos os critérios para apresentação dos estudos.

O protocolo da Revisão da Literatura foi utilizado para identificar nos artigos coletados na busca: a) quais as aplicações desse método nos artigos científicos na área da Engenharia de Produção e Energia Eólica; b) quais as principais características desse método; c) quais as justificativas dos autores para o uso desse método; d) quais exemplos de procedimentos metodológicos utilizados neste método; e) envolve estudos sobre avaliação de ciclo de vida; f) tem relação com pás eólicas ou usina eólica.

Foram definidos os critérios de inclusão e exclusão a serem analisados numa primeira etapa com base na leitura do título e resumo dos artigos. Os critérios de inclusão foram: aborda sobre a aplicação de Metodologia de Projetos; aborda sobre ciclo de vida; apresenta exemplos do método; artigos na área de engenharia; apresenta características do método. Os critérios de exclusão foram: trabalho aborda

outro método, documentos duplicados, documentos fora das áreas de pesquisa, documentos sem acesso gratuito, trabalho não acadêmico.

4.3 Survey

Uma *survey* trata de levantamento de dados em uma amostra expressiva relativo a um questionamento a ser levantado e na sequência, através de análise quantitativa, auferir os resultados dos dados coletados (Gil, 2009). Uma *survey*, quanto ao seu objetivo, classifica-se como pesquisa exploratória, pois o intuito será familiarizar-se com o assunto e observar os conceitos e como devem ser mensurados, no sentido de descobrir outras possibilidades e avaliar a população de interesse (Pinsonneaut; Kraemer, 1993). Para verificar a percepção dos especialistas da área de engenharia elétrica, com ênfase em geração de energia dos ventos sobre a aplicação da metodologia de projetos na análise do ciclo de vida das pás eólicas, utilizou-se a plataforma Google Forms.

4.4 Entrevista semiestruturada

Com objetivo de avaliar a percepção de especialista sobre a evolução da aplicação da metodologia de projetos na análise do ciclo de vida das pás eólicas, em maio de 2023 foram formuladas as entrevistas semiestruturadas e realizadas junto 03 (três) *experts* da área.

As perguntas são listadas a seguir: (Q1) Quando pode ser aplicada a Metodologia de Projetos em pesquisas sobre energia eólica? (Q2) Na sua opinião, quais são as principais vantagens e desvantagens do Método Metodologia de Projetos em pesquisas científicas? (Q3) Quais as colaborações que a metodologia de projetos pode agregar para o ciclo de vida das pás eólicas bem como para a sua destinação final sustentável? (Q4) Como a metodologia de projetos pode contribuir para a evolução dos processos de geração de energia eólica?

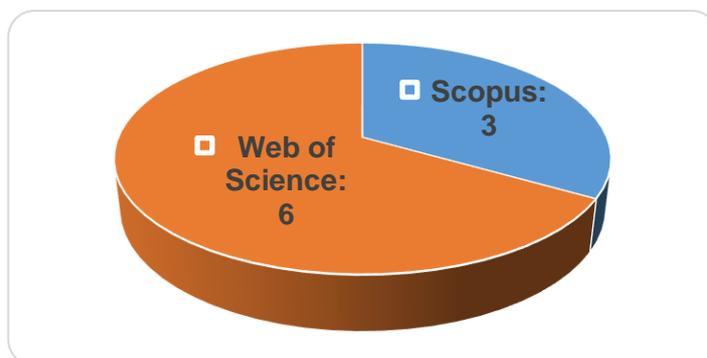
As entrevistas foram aplicadas de modo individual seguindo o roteiro: primeiro, contato com o entrevistado; segundo, apresentação da pesquisa; terceiro, explicação sobre o objetivo do trabalho; terceiro, aplicação das perguntas.

5 Resultados e Discussão

As buscas nas bases de dados retornaram um total de 9 artigos, proporcionalmente divididos entre as bases Web of science e Scopus, dos descritores Recursos Eólicos, Futuro Sustentável, Energia Renovável, Ciclo de Vida, Emissões

de GEE, Acústica, Ruído, Aerogeradores, Parques Eólicos, Níveis Sonoros, havendo inclusive sobre posição entre as bases de dados, conforme ilustrado no gráfico da Figura 3.

FIGURA 3: Representatividade das bases de pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

5.1. Resultado da análise dos dados da Revisão da literatura

Com base nos artigos selecionados e os resumos das descrições das metodologias, destacando os procedimentos, a aplicação, análise dos dados obtidos e a descrição das opções utilizadas para a realização da pesquisa, elaborou-se o Quadro 2 com o resumo das metodologias de projeto:

Quadro 2 – Resumo das Metodologias de Projeto.

Autor / Periódico	Descrição da Metodologia
(ASIMOW, 1968) Nome do livro/artigo Editora Mestre Jou	Determinar de forma extensiva e encadeada todos os passos do desenvolvimento de produtos. Apresenta grande importância histórica, por se tratar de um trabalho pioneiro no desenvolvimento de metodologias de projeto... Dentro do modelo proposto pelo autor uma nova fase não começará antes que a anterior esteja completa, podendo ser modificada para alguns casos.
(FINKELSTEIN E FINKELSTEIN, 1983)	. A metodologia de projeto não oferece uma receita para todos ou para qualquer problema de projeto específico. Ele fornece uma estrutura útil para a estruturação do processo

<i>IET Library Digital</i> <i>IEE Proceedings</i>	de projeto, a geração de conceitos de projeto e para avaliação e decisão em projetos.
(MARIBONDO, 2000) UFSC	Os procedimentos metodológicos seriam aqueles relacionados com a forma de desenvolver todo o projeto, desde a identificação do problema até a sua solução final. Através de estágios estruturados, os quais mapeariam os caminhos a serem percorridos por uma equipe de projeto, os erros seriam minimizados e as questões importantes seriam consideradas para o desenvolvimento do projeto.
(KROES, 2002) <i>Elsevier</i>	Projetos assumem uma postura normativa e é muito orientado para o desenvolvimento de um artefato que possibilite a solução de um problema
(TOMIYAMA et al., 2009) <i>Center Manufacturing Technology</i>	A ideia básica do processo de projeto, no âmbito do conhecimento humano é descrita por: (1) O conhecimento sobre a entidade a ser projetada deve existir. (2) A região em que a nova solução de projeto exista pode ser definida como o resultado da interseção dos requisitos de projeto. (3) O projetista encontra uma entidade que pode preencher estes requisitos com os conceitos abstratos. Se nenhuma solução é encontrada (falta de conhecimento), o processo retorna ao núcleo de síntese. . (4). Sua vizinhança no espaço real é analisada de forma a se obter as informações necessárias para a efetivação, execução e produção do projeto.
(ULLMAN, 2010) Nova York: McGraw-HillPublishingCompany	Apesar do custo de um projeto ser geralmente a menor parte do gasto total, um projeto pode reduzir os custos totais de um produto em até 75%

FONTE: Elaborado pelos autores (2023)

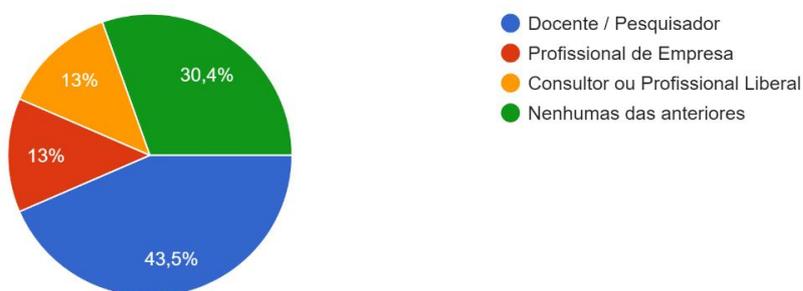
5.2. Resultado da análise dos dados da *Survey*

A pesquisa *Survey*, para verificar a percepção dos especialistas da área da engenharia de produção sobre a evolução da aplicação desse método na avaliação

do ciclo de vida de pás eólica, foi realizada no período de 01/06/2023 a 22/06/2023, sendo enviado o *link* via LinkedIn, *e-mail* e *WhatsApp* para uma população de 100 potenciais indivíduos da área específica de interesse objeto desse artigo. Retornaram à pesquisa 30 respondentes que concordaram com o termo de consentimento livre e esclarecimento.

A Figura 4 apresenta a área de atuação dos respondentes. Pode-se afirmar que 43,5% dos respondentes são docentes e/ou pesquisadores, 13% são profissionais de empresa, 13% são consultores ou profissionais liberais e 30,4% dos respondentes não se enquadraram nas classificações apresentadas.

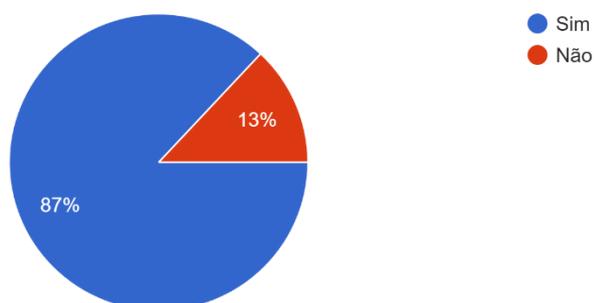
Figura 4 – Atuação dos respondentes



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 5 representa a utilização da metodologia de projeto em atividades profissionais ou acadêmicas. Pode-se afirmar que 87% dos respondentes já utilizaram a metodologia de projeto e 13% não utilizaram o método.

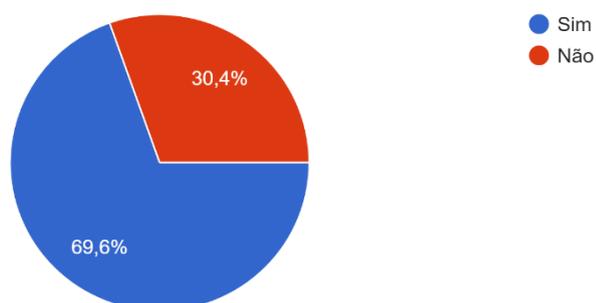
Figura 5 – Percentual dos respondentes que já utilizaram a Metodologia



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 6 representa a participação ou implementação de projetos na área de energia ou engenharia de produção. Pode-se afirmar que 69,6% dos respondentes já implementaram projetos na área de energia.

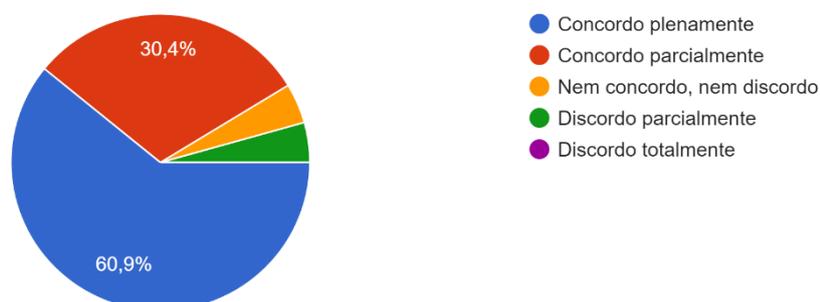
Figura 6 – Percentual de Participação em implementação de projetos em energia



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 7 representa a avaliação quanto a aplicação da Metodologia de Projeto para estudos na área de energia. Pode-se afirmar que 60,9% dos respondentes concordam plenamente e 30,4% concordam parcialmente com essa afirmação.

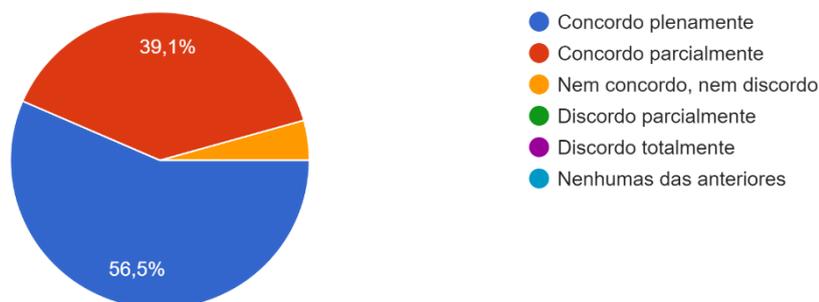
Figura 7 – Avaliação da aplicação da metodologia de projetos na área de energia.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 8 representa a avaliação quanto a aplicação da Metodologia de Projeto para estudos de componentes e seu ciclo de vida. Pode-se afirmar que 56,5% dos respondentes concordam plenamente e 39,1% concordam parcialmente com essa afirmação.

Figura 8 – Avaliação da Metodologia de Projetos no Análise de Ciclo de Vida.

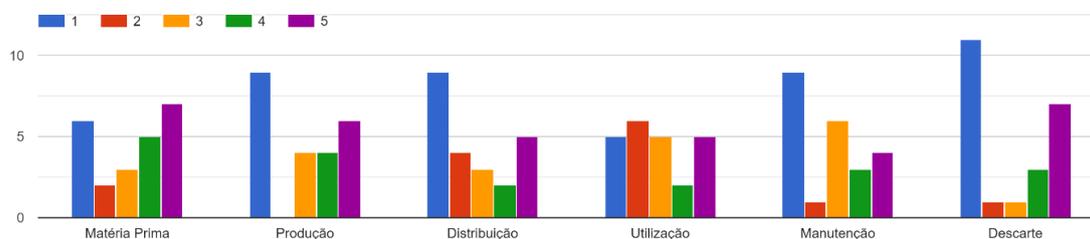


Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 9 representa a avaliação das etapas do ciclo de vida das pás eólicas. Pode-se afirmar que a metodologia de projeto é muito frequentemente aplicável na etapa de descarte de produtos ou tecnologias.

Figura 9 – Avaliação da aplicação por etapa do ciclo de vida das pás eólicas

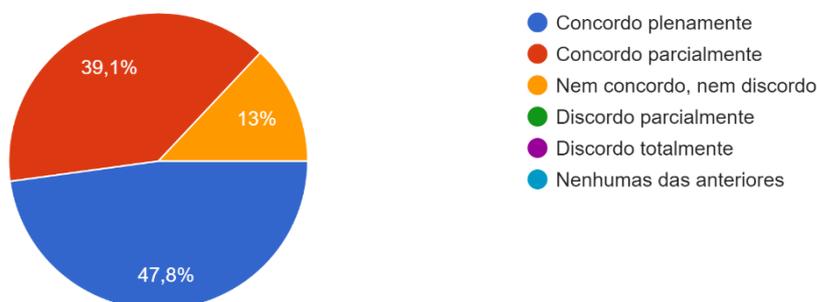
Avalie as etapas do ciclo de vida das Pás Eólicas quanto a aplicabilidade da utilização da Metodologia de Projeto, sendo 1 (Muito Frequentemente Aplicável); 2 (Frequentemente Aplicável); 3 (Ocasionalmente Aplicável); 4 (Raramente Aplicável); 5 (Nunca Aplicável).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 10 avalia como a metodologia de projeto pode ser uma solução no processo criativo no descarte das Pás Eólica. Pode-se afirmar que 47,8% dos respondentes concordam plenamente, 39,1% concordam parcialmente e 13% não concordam e nem discordam dessa afirmação.

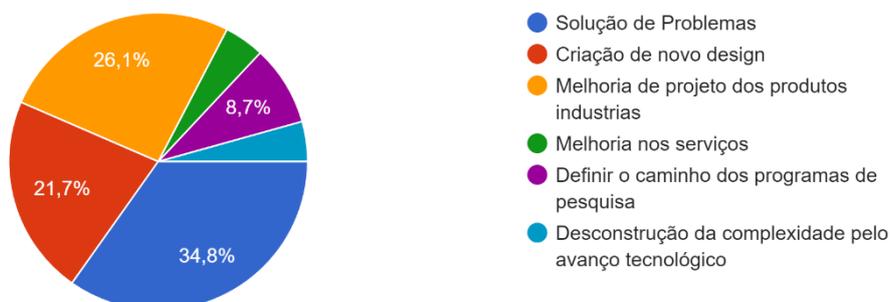
Figura 10 – Aplicação da metodologia de projetos no processo de descarte.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 11 avalia a aplicação da Metodologia de Projeto na análise do ciclo de vida das Pás Eólica. Pode-se afirmar que 34,8% dos respondentes consideram que o método pode ser aplicado na solução de problemas, 21,7% na criação de novo design, 26,1% na melhoria de projeto dos produtos industriais, 8,7% na definição do caminho dos programas de pesquisa e 4,35% na melhoria nos serviços ou na desconstrução da complexidade pelo avanço tecnológico.

Figura 11 – Temas para a aplicação da Metodologia de Projeto.

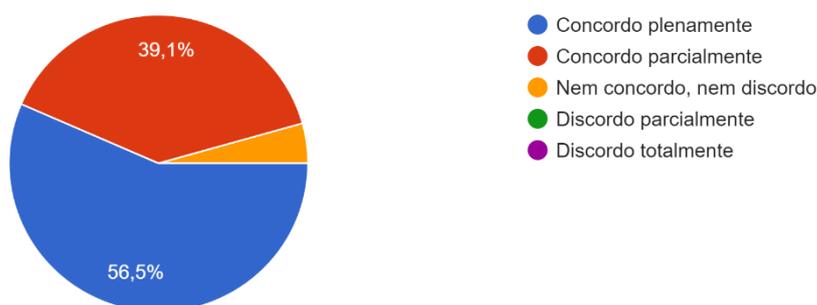


(*) os temas mais escolhidos para a utilização da metodologia de projetos são: solução de problemas, criação de novo design, melhoria de projetos dos produtos industriais, melhoria nos serviços, definição de caminhos dos programas de pesquisa.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 12 avalia a aplicação da Metodologia de Projeto e em desenvolvimento de novos produtos. Pode-se afirmar que 56,5% dos respondentes concordam plenamente e 39,1% concordam parcialmente com essa afirmação.

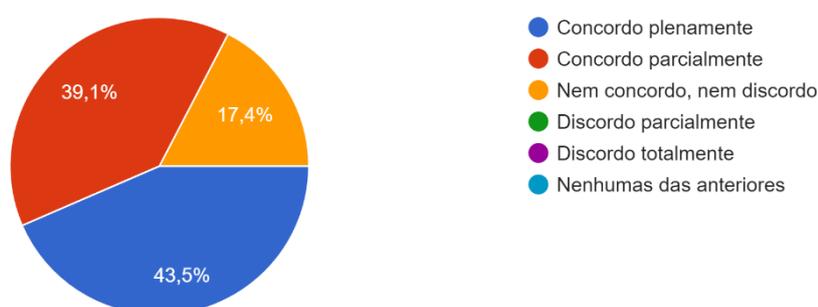
Figura 12 – Avaliação da aplicação da metodologia de projetos em desenvolvimento de novos produtos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 13 avalia a aplicação da Metodologia de Projeto como o processo criativo que inicia a partir de um requisito, define uma invenção e os métodos de sua realização ou implementação para satisfazer o requisito. A Metodologia de Projeto define o método e as ferramentas na Análise do ciclo de vida das pás eólicas. Pode-se afirmar que 43,5% dos respondentes concordam plenamente, 39,1% concordam parcialmente e 17,4% não concordam e nem discordam dessa afirmação.

Figura 13 – Avaliação da metodologia de projetos no processo criativo.

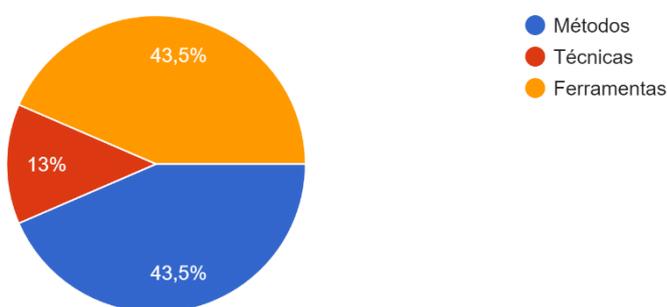


Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 14 avalia a aplicação da Metodologia de Projeto na elaboração de estudo por meio de um processo esquematizado objetivando o aperfeiçoamento ou o desenvolvimento de uma solução, seja de um produto ou serviço. Por meio desse método podemos trabalhar vários temas em diferentes cenários. Ao final dos estudos devemos construir um artefato oferecendo um suporte com maior abrangência na

avaliação do ciclo de vida das Pás Eólicas. Pode-se concluir que 43,5% dos respondentes consideram que a metodologia de projeto é considerada um método e/ou ferramenta de um processo esquematizado e 13% consideram que a metodologia de projeto é uma técnica aplicável.

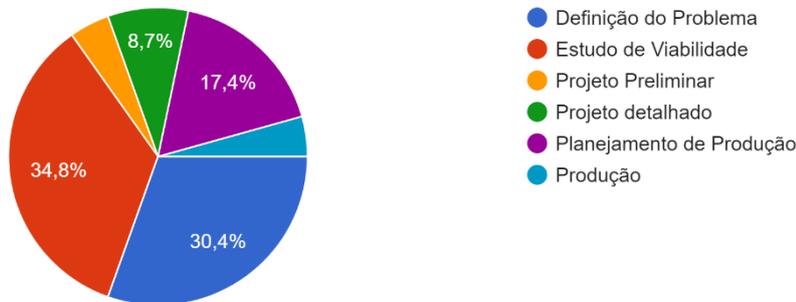
Figura 14 - Aplicação da Metodologia de Projeto na elaboração de estudo por meio de um processo esquematizado



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 15 avalia a etapa de maior relevância na análise do ciclo de vida com a utilização da Metodologia de Projeto. Pode-se afirmar que 34,8% dos respondentes avaliam que a Metodologia de Projeto pode ser utilizada na etapa de Estudo de Viabilidade, 30,4% entendem que o método pode ser utilizado na identificação de problemas no processo de utilização das pás eólicas, 17,4% defendem que o método pode auxiliar na etapa de planejamento de produção e 8,7% na etapa de projeto detalhado.

Figura 15 - Avalia a etapa de maior relevância na análise do ciclo de vida com a utilização da Metodologia de Projeto.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A primeira entrevista foi aplicada no dia 20/06/2023, de forma presencial e teve duração aproximada de 15 minutos. A entrevistada é Engenheira de Materiais e Doutora em Engenharia Produção. A entrevista foi transcrita e feita a análise de conteúdo. A segunda entrevista foi aplicada no dia 22/06/2023, de forma presencial e teve duração aproximada de 40 minutos. O entrevistado é um Doutor em Energia pela Universidade de São Paulo. As duas entrevistas passaram por análise de conteúdo através do software Iramuteq. As representações gráficas estão na Figura 16.

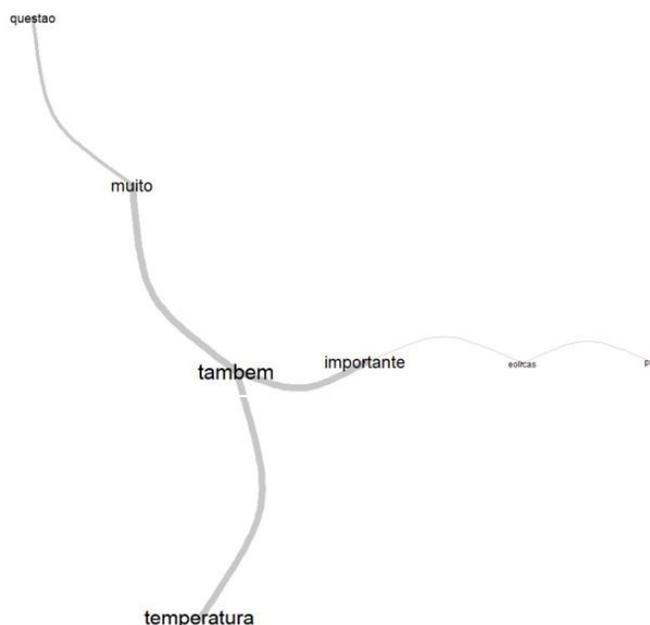
Figura 16: Palavras mais mencionadas nas entrevistas



Fonte: Imagem extraída do software Iramuteq pelos autores (2023)

A Figura 17 destaca as palavras mais utilizadas pelos entrevistados durante as duas entrevistas.

Figura 17: Caminho das palavras e ideias dos entrevistados



Fonte: Imagem extraída do software Iramuteq pelos autores (2023)

Foram realizadas análises dos conteúdos das entrevistas, onde se observou uma conciliação de ideias entre os conceitos teóricos e os relatos, que estão detalhados no Quadro 3.

Quadro 3 – Conciliação entre conceitos teóricos e relatos das entrevistas.

Conceitos	Detalhamento dos Relatos
I) Série de fases: uma nova fase não começará antes que a anterior II) Inicia de um requisito e define uma invenção ou sistema e os métodos de sua realização ou implementação para satisfazer o requisito	i. O formato de projeto é comum na área de energia eólica ii. Trabalho em etapas estruturadas iii. Utiliza elementos de concepção de viabilidade iv. Mais chance de sustentação nos resultados v. Entrega final do produto ou serviço vi. Projetos tem começo, meio e fim vii. Discussão para uma reflexão viii. Abarca várias teorias da área de projetos ix. A própria teoria de projetos cruza o ciclo de vida do projeto x. A metodologia de projetos pode usar o PDP (Processo de Desenvolvimento do Produto) xi. O conceito de ciclo de vida é considerado nas suas etapas xii. Oferece um roteiro para quem é pesquisador na área xiii. Traz confiabilidade para a pesquisa por ser sistemático xiv. Os resultados são organizados xv. Conformidade da ideia inicial de projeto xvi. Seleciona e define o design nas fases iniciais xvii. Estratégia da construção dos protótipos para o modelamento xviii. Prototipagem, viabilidade e exequibilidade xix. Idealização de design e seleção de materiais xx. Estudos de biodegradação de alguns elementos e recuperação material xxi. Destinação final ambientalmente mais amigável xxii. Desenvolvimento de produto

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Pode-se concluir que as contribuições com a Metodologia de Projeto são listadas a seguir:

- a) O formato de projeto é comum na área de energia eólica e esse método trabalha com etapas estruturadas;
- b) O método utiliza elementos de concepção de viabilidade, traz mais chances de sustentação nos resultados e entrega final do produto ou serviço;
- c) Os projetos têm começo, meio e fim e trazem discussão para uma reflexão há cerca de outras teorias da área de projetos;
- d) A própria teoria de projetos cruza o ciclo de vida do projeto e pode usar o PDP (Processo de Desenvolvimento do Produto);
- e) O conceito de ciclo de vida é considerado nas suas etapas e oferece um roteiro para quem é pesquisador na área;
- f) Traz confiabilidade para a pesquisa por ser sistemático;
- g) Os resultados são organizados e dão conformidade da ideia inicial de projeto;
- h) Seleciona e define o design nas fases iniciais e elabora estratégia da construção dos protótipos com viabilidade e exequibilidade para o modelamento além facilitar a Prototipagem;
- i) Facilita a idealização de design e seleção de materiais nos estudos de biodegradação de alguns elementos e recuperação material, destinação final ambientalmente mais amigável e desenvolvimento de produto.

6 Considerações finais

O estudo permite concluir que a Metodologia de Projeto pode contribuir para os estudos de Ciclo de Vida das Pás Eólicas de maneira concreta uma vez que os estudos abordados neste trabalho ratificaram essa afirmação.

No questionário, 56,5% dos respondentes concordam plenamente que é interessante aplicar a Metodologia de Projeto em pesquisas científicas e é possível detectar o seu crescimento quanto à frequência da utilização desse método em pesquisas aplicadas ao ciclo de vida das pás eólicas. Adicionalmente, 34,8% dos respondentes avaliam que a Metodologia de Projeto pode ser utilizada na etapa de Estudo de Viabilidade e 30,4% entendem que o método pode ser utilizado na

identificação de problemas no processo de utilização das pás eólicas, 17,4% defendem que o método pode auxiliar na etapa de planejamento de produção e 8,7% na etapa de projeto detalhado.

Por meio desse método pode-se trabalhar vários temas em diferentes cenários. Ao final dos estudos devemos obter um artefato oferecendo um suporte com maior abrangência na avaliação do ciclo de vida das Pás Eólicas.

A Metodologia de Projeto define um método e as ferramentas na Análise do ciclo de vida das pás eólicas. Nas entrevistas 43,5% dos respondentes concordam plenamente, 39,1% concordam parcialmente e 17,4% não concordam e nem discordam dessa afirmação.

Na pergunta aberta sobre as colaborações da metodologia de projeto na avaliação do ciclo de vida das pás eólicas a resposta mais frequente foi que o método pode colaborar desde as etapas iniciais do ciclo de vida para que seja pensado a melhor forma de projetar e construir um produto de qualidade aumentando a sua vida útil. Outro ponto destacado, é que a metodologia de projeto servirá para auxiliar na definição do problema e identificar as suas possíveis soluções e, portanto, na definição da de viabilidade, pois nessa etapa irá entender melhor o quão é recomendado e até onde compensa utilizar as pás eólicas. Nesse sentido o método foi citado como colaborador na etapa de projeto preliminar, como na seleção de materiais, utilizados na produção das pás eólicas, até a destinação final, pois uma pá eólica não é homogênea e possui vários componentes que utilizam matérias como espuma, madeira, elementos sintéticos agregados, que podem ser separados ou não, e, também no estudo de biomateriais, que podem colaborar para uma destinação final ambientalmente mais amigável. para o teste de novos materiais a serem utilizados no processo de fabricação das pás eólicas.

Assim, a metodologia de projeto como ferramenta, pode selecionar e definir o design nas fases e elaborar estratégias para a construção dos protótipos com viabilidade e exequibilidade para o modelamento, bem como nos estudos de biodegradação de alguns elementos e recuperação material, destinação final ambientalmente mais amigável.

Referências

ALDABÓ, Ricardo. **Energia Eólica**. São Paulo: Atiber, 2002. Amarante, O. A. C., Brower, M., Zack, J., & Sá, A. L. Atlas do potencial eólico brasileiro (2001).

ANEEL, **Atlas de Energia Elétrica do Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica**. – Brasília: ANEEL, 2002.

AREND, Lucas. **Sistematização das fases de projeto preliminar e detalhado do Desenvolvimento de produtos e sua aplicação no projeto de um Multicultor modular**. Florianópolis: 2003.

ASIMOW, M. **Introdução ao projeto de engenharia**. São Paulo: Mestre Jou, 1968.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEÓLICA, 2023. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/>>. Acesso em: 16, junho de 2023 às 20h52.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2016). **Energia eólica no Brasil e no mundo ano de referência – 2015**.

COSTA, Hallan de Cassio Carvalho da. **Dimensionamento e fabricação de Pás de torres eólicas**. Jaboatão dos Guararapes, Brasil: UniFG, (TEEH). 2021.

FERREIRA, H. T. (2008). **Energia eólica: barreiras a sua participação no setor elétrico brasileiro**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo

FINKELSTEIN, L.; FINKELSTEIN, A. C. W. **Review of Design Methodology**. IEE Proceedings, v. 130, 1983.

FINNVEDEN, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., & Suh, S. (2009). **Recent developments in Life Cycle Assessment**. Journal of Environmental Management, 91, 1-21. PMid:19716647. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Atlas Eólico do Estado de São Paulo**. Secretaria de Energia. São Paulo, 2012

HALLAK, Ricardo. PEREIRA, Augusto José Filho. **Análise de desempenho de índices de instabilidade atmosférica na previsão de fenômenos convectivos de**

mesoescala na região metropolitana de São Paulo entre 28 de janeiro e 04 de fevereiro de 2004. 2012

KARINKA, Shashikantha; RAKESH, AniketanBekal; ACHARYA, Santhosh. **Reduction_of_Production_Cycle_Time_of_Wi** . 2019.

KLOPFER, W. (2006). **The role of SETAC in the development of LCA.** International Journal of Life Cycle Assessment, 11, 116-122. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>

KROES, Peter. **Design methodology and the nature of technical artefacts.** Design Studies, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 287-302, maio 2002. Elsevier.

LEÃO, L. M. **Metodologia do estudo e pesquisa: Facilitando a vida dos estudantes, professores e pesquisadores.** [s.l.] Editora Vozes, 2019.

LOUREIRO, Mário António Fonseca. **Dimensionamento de torre eólica de 90m.** 2014.

MAIA, Daniel Sérgio Névoa. **Ruído de parques eólicos: análise e caracterização.** 2010.

MASTBERGEN, Daniel Blair. **Simulation and testing of resin infusion manufacturing processes for large composite structures.** 2004. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Montana State University-Bozeman, College of Engineering, 2004.

MARIBONDO, J. D. F. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidade de processamento de resíduos sólidos domiciliares.** Florianópolis: Tese de Doutorado. UFSC, 2000.

MARTINEZ,E.;SANZ,F.;SÃOPELEGRINI,E.Jimenez;BLANCO.J.**Life_cycle_assessment_of_a_multi_megawat**

MAZZON, José A. **Formulação de um modelo de avaliação e comparação de modelos em marketing.** 1978. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIAS. **Expansão da Geração - Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil – situação Atual e Alternativas Futuras.** 2021

NETO, G. G. D.; DEDINI, F. G. **Sistemática e Metodologia de Projeto: uma abordagem para o desenvolvimento de produtos.** VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Capina Grande, Paraíba, 2010.

PEREIRA, Jean Carlos. **Metodologia de projeto aplicada à concepção de sistemas mecatrônicos a partir da elaboração de um modelo prescritivo de desenvolvimento** [manuscrito] / Jean Carlos Pereira. – 2016. 94 f., enc.: il.

PEREIRA, R. S. et al. **Meta-analysis as a research tool: A systematic review of bibliometric studies in administration**. RAM. Revista de Administração Mackenzie, v. 20, 23 set. 2019.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos da energia eólica**. LTC: Rio de Janeiro. 2013.

RODA, Cesar. **Large Wind Farm Life Cycle Assessment**. Michigan Technological University, 2013.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Brazilian Journal of Physical Therapy, v. 11, p. 83–89, fev. 2007.

SILVA, Gustavo Rodrigues. **Características de Vento da Região Nordeste – Análise, Modelagem e aplicações para Projetos de Centrais Eólicas**. Recife, Agosto, 2003.

SILVA, Ranaildo Gomes da. **Estudo do efeito de intempéries regionais na deterioração de pás eólicas** / 2018. 85f.: il.

TOMIYAMA, T. et al. **Design Methodologies: Industrial and educational applications**. Manufacturing Technology, v. 58, p. 543-565, 2009.

ULLMAN, D. G. **The Mechanical Design Process**. 4^a. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2010.

VASCONCELOS, L.A.L. **Uma Investigação em Metodologias de Design**. Recife, 2009.

VASCONCELLOS, Celso dos S. **(In)Disciplina: Construção da Disciplina Consciente e Interativa em Sala de Aula e na Escola**, 18^a ed. São Paulo: Libertad, 2012a.

WILLERS, C. D. et al. **Avaliação do ciclo ... bases científicas nacionais**. Produção, v. 23, n. 2, p. 436-447, abr./jun. 2013.