

**Faculdade de Tecnologia do Estado de
São Paulo**

**Estudo de viabilidade da transformação do
movimento do ar em energia para
automóveis**

Santo André

2020

Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo

Estudo de viabilidade da transformação do movimento do ar em energia para automóveis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à FATEC Santo André como exigência para a
obtenção do título de tecnólogo em eletrônica
automotiva.

Curso: Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Orientador: Orlando de Salvo Junior

Aluno: Jackson Reis dos Santos

Santo André

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

S237e

Santos, Jackson Reis dos
Estudo de viabilidade da transformação do movimento do ar em energia para automóveis / Jackson Reis dos Santos. - Santo André, 2020. – 64f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica automotiva, 2020.

Orientador: Prof. Orlando de Salvo Junior

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Eficiência energética. 4. Geração de energia. 5. Energia. 6. Desenvolvimento. I. Estudo de viabilidade da transformação do movimento do ar em energia para automóveis.

333.79

JACKSON REIS DOS SANTOS

**Estudo de viabilidade da transformação do movimento do ar
em energia para automóveis**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a FATEC SANTO
ANDRÉ como requisito parcial à
obtenção de título de Tecnólogo em
Eletrônica Automotiva

BANCA EXAMINADORA

Local: Fatec Santo André

Horário: 16:00

Data: 17/07/2020

Prof. Dr. Orlando de Salvo Junior
Presidente da Banca
Fatec Santo André

Prof. Fernando Garup Dalbo
Primeiro membro da Banca
Fatec Santo André

Prof. Msc. Cleber Gomes
Segundo Membro da Banca
Fatec Santo André

SANTO ANDRÉ
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo privilégio de poder chegar até aqui com saúde para superar as minhas dificuldades, com que me proporcionou um crescimento incrível, agradeço aos meus pais Antônio José dos Santos e Rosália Reis Nascimento Santos e ao meu irmão William Reis dos Santos que nunca deixaram de me apoiar em todos esses momentos, e por fim agradeço aos colegas e professores que me ajudaram durante todo esse processo.

“Quando você passar por momentos difíceis e se perguntar onde estará Deus, lembre-se que durante uma prova o professor está em silêncio.”

Aline Barros.

RESUMO

Atualmente todos os setores vem buscando a diminuição dos problemas ambientais atrelado a um aumento de performance e rendimento dos produtos anteriores e fortificado pelo o incentivo dos governos no mundo todo, as indústrias vão tentando desenvolver soluções viáveis e que tenham um resultado satisfatório. A indústria automotiva é uma das pioneiras a seguir o conceito de menor emissão e grande performance, um dos exemplos mais claros são os sistemas que foram criados e melhorados desde o início do século, podemos citar soluções como: motores de baixa cilindrada supereficientes, sistemas de injeção direta e estratificadas, introdução de motores turbo, comando variável de admissão e escape, melhoria no gerenciamento dos motores, introdução de motores híbridos e elétricos entre outras tantas inovações tecnológicas. Com a legislação cada vez mais rígida e com grandes restrições, os motores de combustão interna estão começando a deixar de ser o principal sistema de propulsão das indústrias automotivas, além de que cada mais vai aumentando a viabilidade dos veículos de propulsão elétrica. Essa monografia propõe um estudo de viabilidade da transformação do ar em energia para automóveis onde é mostrado o seu funcionamento, princípios de uso, eficiência e gerenciamento assim podendo avaliar a viabilidade, desempenho, durabilidade, eficiência e se realmente é uma inovação aplicável para aumentar o rendimento dos motores para uso em concepções híbridas ou com combustíveis renováveis. Esse trabalho de graduação visa dar bases técnicas sobre os conceitos de viabilização do uso do movimento do ar como fonte energética para automóveis, através da implementação de um sistema de turbinas acoplados a carroceria. Utilizando conceitos de mecânica e eletrônica e utilizando como base de estudo a energia eólica em residências e indústrias afim de integrar o conhecimento teórico necessário para a implementação dessa tecnologia em veículos.

Palavras-chaves: Eficiência energética. Geração de energia. Desenvolvimento energético.

ABSTRACT

Currently all sectors have been seeking to decrease the environmental problems linked to an increase in performance and yield of previous products and fortified by the incentive of governments worldwide, industries are trying to develop viable solutions that have a satisfactory outcome. The automotive industry is one of the pioneers following the concept of lesser emission and great performance, one of the clearest examples are all systems that have been created and improved since the beginning of the century, we can quote solutions such as: super-efficient low engines, direct and stratified injection systems, Turbo motors Introduction, variable admission and exhaust command, improvement in engine management, introduction of hybrid and electric motors among many other technological innovations. With the increasingly rigid legislation and with large restrictions, internal combustion engines are starting to cease to be the main propulsion system of automotive industries, and that each more is increasing the viability of electric propulsion vehicles. By this fierce competition with the new thrusters the internal combustion engines will need to increase their low efficiency even more. This monograph is a feasibility study of the transformation of air into energy for the individuals that are defined, principles of use, efficiency and efficiency, as well as performance, performance, performance and efficiency. increase or decrease engines for use in hybrid designs or with renewable fuels. This undergraduate work aims to provide technical bases on the concepts of enabling the use of air movement as an energy source for automobiles, through the implementation of a body-coupled turbine system. Using concepts of mechanics and electronics and using as a basis of study the wind energy in homes and industries in order to integrate the theoretical knowledge necessary for the implementation of this technology in vehicles.

Key words: Energy efficiency. Power generation. Energetic development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arrasto Aerodinâmico.....	25
Figura 2 - Pequeno gerador de 100mA.....	27
Figura 3 - Pequeno gerador de 400W.....	27
Figura 4 - Forças Atuantes no Veículo.....	30
Figura 5 - Bateria Ácido de Chumbo.....	31
Figura 6 - Bateria de Ions de Lítio.....	32
Figura 7 - Fluxograma de etapas do projeto.....	33
Figura 8 - Turbina para testes de curva Torque x Hz vs Torque x Potência.....	34
Figura 9 - Turbina para testes de curva Torque x Hz vs Torque x Potência.....	34
Figura 10 - Turbina 68mm de diâmetro e 70mm de profundidade.....	35
Figura 11 - Autodesk CFD.....	36
Figura 12 - Coletor de Ar de borracha.....	36
Figura 13 - Área de instalação da turbina.....	38
Figura 14 - Fluxograma detalhado.....	39
Figura 15 - Gerador Utilizado.....	40
Figura 16 - Molde de Isopor + Turbina de testes.....	40
Figura 17 - Anemômetro.....	41
Figura 18 - Turbina com dados já calculados.....	41
Figura 19 - Ambiente criado via software.....	42
Figura 20 - Materiais.....	43
Figura 21 - Boundary Conditions.....	44
Figura 22 - Initial conditions.....	44
Figura 23 - Mesh Sizing.....	45
Figura 24 - Função Enable.....	46
Figura 25 - Função Advanced.....	46
Figura 26 - Função Turbulência.....	47
Figura 27 - Processo de Simulação.....	47
Figura 28 - Solução da simulação.....	50
Figura 29 - Gráfico de velocidade eixo Z.....	50
Figura 30 - Gráfico de velocidade do fluxo de ar.....	51
Figura 31 - Gráfico de pressão.....	52
Figura 32 - Superfície para cálculo.....	53
Figura 33 - Gráfico de velocidade eixo Z.....	53
Figura 34 - Gráfico Força X Velocidade eixo Z.....	54
Figura 35 - Gráfico Pressão x Velocidade eixo Z.....	55

Figura 36 - Gerador da turbina de comparação.....	56
Figura 37 - Gráfico do Gerador - Azul: função da corrente de stall, preta: função do torque do gerador; rosa: função do gerador sem carga.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de capacidade de geração de energia eólica.....	19
Tabela 2 - Teste prático da turbina.....	49
Tabela 3 - Equação de percentagem	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1)	24
Equação (2)	25

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

A	Área Frontal do Veículo
C_a	Coefficiente adimensional de Resistência do Ar
ρ_a	Densidade do Ar
ρ	Densidade do Ar Ambiente
V_v	Velocidade do Vento
C_D	Coefficiente Adimensional de Arrasto
PMSM	Motor de Imã Permanente Síncrono
BLDC	Motor de Corrente Contínua sem Escovas

SUMÁRIO

1 – Introdução.....	15
1.1 – Apresentação do trabalho	16
1.2 – Justificativa	16
1.3 – Organização do Trabalho	17
2 – Referencial Teórico	18
2.1 – Energia Eólica no Brasil	18
2.2 – Potencial Eólico Brasileiro	19
2.3 – Aproveitamento da Energia Eólica no Brasil.....	20
2.4.1 – Densidade do Ar	21
2.4.2 – Área do Rotor.....	21
2.4.3 – Características dos Fluidos	21
2.5 – A Energia	22
2.5.1 – Dispositivos de Conversão de Energia	22
2.5.1.1 – Motor de Corrente Contínua com Escovas.....	23
2.5.1.2 – Motor Elétrico de Indução.....	23
2.5.1.3 – Motor de Corrente Contínua sem Escovas	23
2.5.1.4 – Motor Elétrico Síncrono de Ímãs Permanentes	23
2.5.1.5 – Motor de Relutância Magnética Variável	24
2.6 – Forças de Resistência ao Movimento em Função da Aerodinâmica	24
2.6.1 – Aerodinâmica Veicular:.....	24
2.7 – Geradores Eólicos	26
2.7.1 – Pequenos Geradores.....	26
2.8 – Simulação Fluidodinâmica Computacional (CFD)	27
2.9 – Consumo de Combustível e Dimensões Veicular.....	29
2.9.1 – Dimensões Veicular.....	29

2.10 – Acumuladores de Energia	30
2.10.1 – Acumuladores Ácido de Chumbo.....	30
2.10.1.1 – Acumuladores de Íons de Lítio.....	31
3 – Metodologia do Trabalho.....	33
3.1 – Diagrama de Blocos	33
3.2 – Desenvolvimento do Gerador e Testes pós Simulação.....	33
3.3 – Coletor do Fluxo de Ar.....	36
3.4 – Dispositivo de Conversão da Energia	37
3.5 – Área de Trabalho	37
3.6 – Sobre o Sistema	38
3.7 - Materiais e Métodos	39
3.7.1 – Desenvolvimento em Software.....	42
4 – Resultados e Discussões	49
4.1 – Resultados das Simulações	49
4.2 – Comparação de Resultados	55
5 – Conclusões.....	60
Referências.....	61

1 – Introdução

A busca por eficiência energética vem sendo priorizada com grande ênfase em todos os atuais processos sejam industriais e/ou ambientais, o uso de fontes limpas para obtenção de energia vem sendo amplamente estudado para desenvolvimento de novos produtos, como o sistema que está sendo desenvolvido pela WEG, produtora de equipamentos elétricos, em parceria com a Embraer para inovação ligada a área aeronáutica (OCP, 2019) .

Assim como as tecnologias no mundo foram sendo melhoradas, a indústria automotiva cada vez mais criou melhorias em busca de uma melhor eficiência, através de sistemas que ajudam a reduzir o consumo de combustível em veículos de combustão interna, sistemas de recuperação de energia em frenagem para recarregamento de bateria em veículos híbridos e\ou elétricos.

Através de estudos foram desenvolvidos sistemas que utilizam energia como forma de combustível em veículos, de forma parcial em híbridos e de forma total em elétricos.

Sistemas híbridos em veículos utilizam o princípio de junção da energia gerada através de um motor combustão com a energia produzida por um motor elétrico, a três tipos de veículos híbridos: serie, paralelo e misto, no hibrido serie apenas o motor elétrico gera tração no veículo, enquanto o motor a combustão serve para alimentar o motor elétrico, no hibrido paralelo o veículo trabalha com ambos os motores gerando tração ao veículo, e no hibrido misto um sistema eletrônico avalia todas as condições do veículo para que possa escolher qual dos motores deva ser utilizado em determinada condição.

Sistemas elétricos utilizam apenas o motor elétrico, na qual possui maior complexidade pelo fato de exigir uma maior bateria para garantia de uma boa autonomia, porém torna-se um projeto mais caro pois um dos pontos que mais eleva o preço desse sistema como também nos sistemas híbridos são as baterias, que custam em torno de 40% a 60% do preço do projeto em si (AUTOPAPO, 2018).

A partir de dificuldades relacionadas a custo estão sendo desenvolvidos novos estudos para obtenção de baterias de maior duração, capacidade de fornecimento de energia e menor preço de produção (CAMPOS, 2004).

Com o avanço de tecnologias capazes de diminuir custos e elevar o nível de durabilidade e desempenho de sistemas torna-se um incentivo a criação de novos projetos que visam um maior aproveitamento de energias disponíveis para uso em diversos locais, como de exemplo a energia eólica.

Esse trabalho de graduação trata de apresentar uma nova possibilidade de geração de energia para veículos, proveniente de um sistema semelhante ao de energia eólica na qual o intuito é aproveitar o fluxo de ar que passa sob o veículo durante sua movimentação e convertê-lo em energia para utilização veicular, tendo como meta principal a implementação em veículos híbridos e elétricos a fim de garantir um maior tempo de carga para uso.

1.1 – Apresentação do trabalho

Esse trabalho tem como objetivo dar bases técnicas sobre os conceitos de viabilização do uso do movimento do ar como fonte energética para automóveis, através da implementação de um sistema de turbinas acopladas a carroceria. A fim de garantir energia para utilização em veículos, a ideia é dimensionar a turbina e o coletor para que possa ser incluído dentro do para-choque do veículo e aproveitar as entradas dos faróis de milha já presentes na frente do veículo.

1.2 – Justificativa

A proposta sobre aproveitamento de energia em veículos é sempre levada em consideração, seja proveniente de combustíveis fósseis ou de outras formas como energia elétrica, de atrito, térmica entre outras, uma das formas de energia mais atuantes em um veículo em movimento é a de fluxo de ar, da qual gera uma energia contrária ao movimento do carro, essa força é amenizada ou acrescida conforme o design do automóvel, porém não é aproveitada de nenhuma forma, com isso o trabalho propõe um estudo sobre o aproveitamento de fluxo de ar durante a movimentação do veículo para a geração de energia elétrica visando gerar energia para sistemas híbridos, elétricos e a combustão variando as características de atuação em cada sistema na qual poderá ser utilizado como fonte primária ou secundária de energia no veículo.

1.3 – Organização do Trabalho

Este projeto de graduação está dividido em 5 por capítulos respectivamente temos:

Capítulo 1 apresenta-se a introdução do estudo.

No Capítulo 2 será apresentado os estudos sobre a energia eólica no Brasil, seu grande potencial eólico, tipos de aproveitamento dessa forma de energia, custo para produção e geração dessa energia, serão destacados estudos sobre as forças de resistências ao movimento, dispositivos de conversão e acumuladores de energia, respectivamente, aspectos como aerodinâmica veicular, dimensões e consumo de combustível de um veículo, e sistemas geradores, como destaque aos pequenos geradores.

No Capítulo 3 será apresentado a metodologia e os aspectos a serem considerado para desenvolvimento do sistema proposto, levando em consideração o desenvolvimento e os testes para obtenção da melhor eficiência do sistema.

No Capítulo 4 será apresentado os resultados obtidos através dos estudos via software, e sobre a simulação realizada na turbina adquirida.

No Capítulo 5 serão apresentadas as conclusões acerca da pesquisa e do desenvolvimento de testes através do sistema adquirido.

2 – Referencial Teórico

As seções seguintes atribuem conhecimentos prévios sobre energia eólica e os sistemas utilizados para sua transformação, assim como características importantes para a aplicação em um veículo como: armazenamento de energia, aerodinâmica veicular, consumo de combustível e resistências aplicadas ao movimento.

2.1 – Energia Eólica no Brasil

O Brasil é um dos 15 países dos quais mais se consome energia elétrica em todo mundo, consumo que pode ser comparado ao de Itália e Espanha.

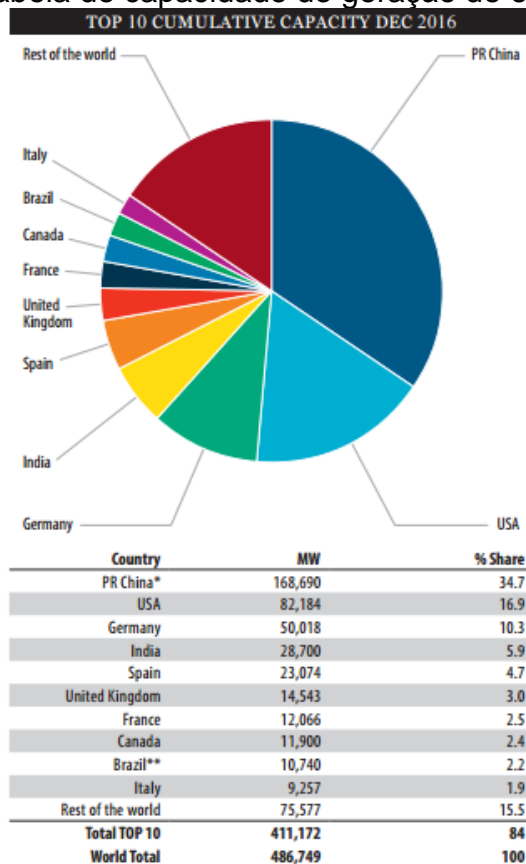
No país a diversas formas de geração de energia elétrica seja por usinas do tipo hidroelétrica, termoelétrica, nuclear e eólica, a maior porcentagem de geração de energia das usinas citadas é proveniente de usinas hidrelétricas onde representa 70% do total da produção nacional, tamanha a capacidade de geração de energia através desse tipo de usina que coloca o Brasil em terceiro lugar na lista dos países que mais produzem energia através de hidroelétricas.

Com isso é natural que os investimentos sejam direcionados a pesquisa e desenvolvimento de usinas desse tipo no país, mas estudos feitos para encontrar novas formas de geração de energia foi destacado a enorme capacidade para geração de energia através de usina eólicas, especialmente em regiões do nordeste dos país (SANTOS, 2006).

As excelentes condições de vento nas regiões tornaram estados como Ceará e Pernambuco, o ponto inicial para pesquisas e desenvolvimentos dessa fonte de energia no país, das quais foram expandidas a outras regiões, como em Minas Gerais. Atualmente o país produz cerca de 20MW de energia do tipo eólica, essa capacidade está associada a geradores de médio e grande porte. Pode-se citar também os geradores de pequeno porte dos quais são usados em fazendas e pequenas indústrias as quais são responsáveis por bombeamento de água e moagem de grãos entre outras pequenas atividades (DELGADO, 2009).

Dados de 2016 mostraram que o Brasil figurou entre os 10 países de maior geração de energia através de usinas eólica conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de capacidade de geração de energia eólica



Fonte: ABEEólica (2019)

2.2 – Potencial Eólico Brasileiro

Antes de qualquer investimento nessa área deve-se primeiro fazer uma avaliação com extrema precisão sobre o potencial de vento na região da qual deseja-se aplicar o gerador ou a usina eólica, levar em consideração a velocidade, intensidade e direção dos ventos é o passo inicial e principal nesse processo de avaliação. O que torna essa tarefa mais complexa é a falta de dados precisos sobre esse tipo de fenômeno, os primeiros sensores especiais para esta finalidade foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha.

Com os dados foi possível constatar a grande capacidade de vento presente naquelas regiões, ventos constantes, com velocidade média alta, baixa variação

pouca turbulência durante todo ano fatores de grande importância para um bom aproveitamento por parte do sistema (SANTOS, 2006).

2.3 – Aproveitamento da Energia Eólica no Brasil

Um dos grandes fatores para a diversificação é quando tomamos consciência de que recursos nem sempre serão infinitos, o que nos leva a pesquisar e desenvolver novos métodos para geração fontes de recursos. Nota-se a dependência de grande parte do mundo por fontes de energia provenientes de combustíveis fósseis, seja para geração de energia elétrica para residências e indústrias quanto para uso em todo e qualquer tipo de veículo, o que expõe tamanha dependência dessa fonte de energia.

Levando em consideração fontes de energia sustentáveis pode-se citar o uso da energia eólica, da qual o Brasil possui enorme potencial de desenvolvimento baseado em estudos, desempenho e produção das Usinas Eólicas de Taíba, Prainha e Mucuripe no Ceará, Palmas no Paraná e Bom Jardim da Serra em Santa Catarina (SANTOS, 2006).

O Fator de Capacidade das Usinas Eólicas em regiões de ventos médios anuais superiores a 8m/s, atinge 40% e, em alguns locais como no litoral nordeste do Brasil, em alguns meses chega a atingir até 60% (SANTOS, 2006).

Destaca-se que durante os períodos em que as usinas hidrelétricas apresentam suas menores capacidades em seus reservatórios coincide no período de maiores ventos (SANTOS, 2006).

No caso da energia eólica, o local de maior exploração desse tipo de fonte no Brasil é o litoral do Nordeste, onde a intensidade e direção do vento são constantes. O norte da Bahia e de Minas Gerais, o oeste de Pernambuco, o estado de Roraima e o Sul do país também são regiões propícias para a geração de energia a partir do vento (SANTOS, 2006).

2.4 – Fatores que Influenciam a Energia Proveniente do Vento

A energia que provém dos ventos é aproveitada conforme as pás atuam sobre o rotor. Essa energia transmitida ao rotor depende basicamente de alguns fatores das quais são densidade do ar, área do rotor e características dos fluidos

2.4.1 – Densidade do Ar

A densidade do ar possui um fator estratégico pois leva em consideração a massa de ar por volume presente no ambiente, quanto maior for a densidade maior será a energia na turbina do gerador. À pressão atmosférica normal a densidade do ar é de 1,225 kg/m³. A grandes altitudes a pressão do ar diminui e o ar é menos denso (DELGADO, 2009).

2.4.2 – Área do Rotor

A área de atuação física do rotor se faz importante pois é nela que se dimensiona o quanto de energia o sistema poderá captar. Dado que a área do rotor aumenta com o quadrado do raio, por exemplo, uma turbina duas vezes maior recebe quatro vezes mais energia (DELGADO, 2009).

2.4.3 – Características dos Fluidos

Considera-se um fluido a matéria que pode apresentar diferentes estados físicos, como por exemplo estado líquido e sólido, a partir de análises estruturais moleculares dos materiais observa-se que um material sólido apresenta menor espaçamento e estão sujeitos a força intermoleculares intensas e coesivas.

É essa característica que garantem maior resistência a deformação do material. No caso de matérias líquidas o espaçamento entre moléculas é maior e a força intermolecular é menor, o que garante maior facilidade na movimentação das moléculas do material, tornando assim mais fácil a sua deformação (JOHN WILEY E SONS, 2004).

Os materiais em estado gasoso possuem espaços entre moléculas ainda maior se comparado a líquidos, e as forças intermoleculares são desprezíveis, tornando ainda maior a movimentação de moléculas se comparada a fluidos líquidos (JOHN WILEY E SONS, 2004).

A partir desta característica os gases podem ser facilmente deformados e comprimidos, e sempre ocuparão totalmente o volume de qualquer reservatório (JOHN WILEY E SONS, 2004).

2.5 – A Energia

Um dos aspectos das quais não se pode ter certeza é do comportamento dos ventos, isso torna necessário que durante grande geração de energia seja armazenada para uso em períodos de pouca geração. Em um sistema que usa a energia eólica como maior gerador de energia deve-se dimensionar um sistema capaz de armazenar a energia, como as baterias (DELGADO, 2009).

Essa energia pode ser armazenada em outras formas de energia armazenável, como por exemplo em conversão a energia mecânica, das quais podemos citar:

- Bomba hidráulica: Armazena a energia eólica através da elevação de água para um reservatório, sob a forma de energia potencial. Quando necessário, com a queda da água, aciona-se uma turbina hidráulica, para a utilização da energia.

- Compressor mecânica: Armazena, sob a forma de ar comprimido (50-100 atmosferas). Após a utilização do compressor, o ar comprimido é armazenado em recipientes próprios ou em estruturas geológicas.

- Calor efeito joule: Armazena sob a forma de calor, através do movimento de “pás”, dentro de recipiente, isolado termicamente. O atrito ocasionado pelas pás e a resistência da água em movimento, eleva a temperatura, transformando, dessa maneira, a energia eólica em térmica

- Volante mecânica: Chamado de “*Flywheel*” ou “volante mecânico”. Baseia-se na conversão da energia mecânica em energia cinética, no movimento de rotação do volante (DELGADO, 2009).

2.5.1 – Dispositivos de Conversão de Energia

A função principal de um motor elétrico é a conversão energética, aplicando uma tensão e corrente, é produzido torque. Porém, também pode operar de maneira contrária, funcionando como gerador, recarregando as baterias. (ALEIXO, 2018)

Os motores elétricos são classificados a partir da presença ou não de escovas e por sua tensão, sendo contínua ou alternada. Em motores que possuem escovas existe apenas motor de corrente contínua, já para motores sem escovas, conhecidos como indução, corrente contínua sem escovas

(*Brushless DC motors* (BLDC)), e ímãs permanentes síncronos (*Permanent magnet motor* (PMSM)) e relutância magnética variável (ALEIXO, 2018).

2.5.1.1 – Motor de Corrente Contínua com Escovas

Esse tipo de motor possui uma característica importante, gera alto torque em baixas velocidades, na qual sua velocidade é controlada através da tensão. Pode-se ter até 6 polos, dependendo da potência de saída e da tensão de enrolamento do campo em serie ou derivação. (ALEIXO, 2018)

Porém esse motor possui baixa eficiência e requer manutenção devido a presença das escovas.

2.5.1.2 – Motor Elétrico de Indução

Opera através de corrente alternada, com isso não é necessário o uso de escovas ou comutador, podendo atingir maiores velocidades em relação ao motor de corrente contínua.

Esse motor possui baixa manutenção, custo razoável e construção simples. A velocidade é controlada através da variação da frequência da tensão aplicada (ALEIXO, 2018).

2.5.1.3 – Motor de Corrente Continua sem Escovas

Com esse tipo de motor pode-se eliminar a aplicação de tensão e corrente para a produção de polos magnéticos, com isso é possível alcançar uma eficiência maior que em outros motores. (ALEIXO, 2018)

Esse tipo de motor requer dispositivos com alta potência nos controladores de velocidade, o que resulta em controladores mais caros.

2.5.1.4 – Motor Elétrico Síncrono de Ímãs Permanentes

Esse tipo de motor possui uma alta eficiência, pois não requer potência durante o funcionamento para indução de corrente no rotor. O fator limitante para o uso desse tipo de motor é o custo dos ímãs, e a eletrônica complexa para os controladores (ALEIXO, 2018).

2.5.1.5 – Motor de Relutância Magnética Variável

Possui simples construção e com baixa inércia no rotor, oferecendo alta dinâmica e um torque alto durante a partida. Com estrutura básica, não possuindo enrolamento, ímã, escovas e comutadores, a sua tolerância é baixa. Sua desvantagem está ligada a ondulação no torque e no ruído acústico que apresenta (ALEIXO, 2018).

2.6 – Forças de Resistência ao Movimento em Função da Aerodinâmica

Durante a movimentação um veículo está sujeito a diversas formas de forças resistências entre elas pode-se citar a força aerodinâmica.

A força aerodinâmica é função da velocidade relativa do veículo frente a velocidade do ar, agindo no sentido contrário do movimento (ALEIXO, 2018). Essa força depende da densidade do ar (ρ), em Kg/m^3 , do coeficiente adimensional de resistência do ar (C_a), da área (A) frontal em m^2 do veículo e da velocidade do vento (V_v), em m/s , como mostra a Equação 1:

$$R_a = \frac{1}{2} \rho_a C_a A (V - V_v)^2 \quad (1)$$

(ALEIXO, 2018)

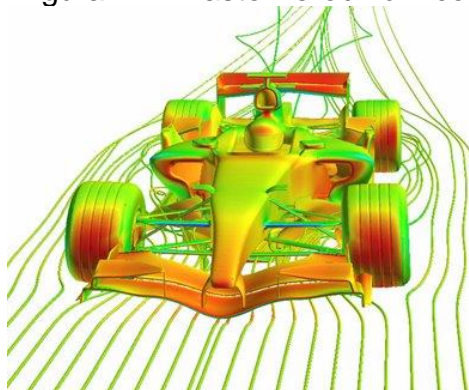
O coeficiente adimensional de resistência do ar é definido de acordo com a geometria do veículo.

2.6.1 – Aerodinâmica Veicular:

O arrasto aerodinâmico, que são as forças geradas pelo ar em um veículo, são responsáveis por parte consumo de combustível, dependendo do modelo, clima, tipo de asfalto e dimensões (ROSILHO, 2013).

A Figura 1 demonstra o arrasto aerodinâmico sobre um veículo

Figura 1 - Arrasto Aerodinâmico



Fonte: AUTOentusiastas (2019).

O arrasto aerodinâmico é proporcional ao quadrado da velocidade V do veículo. Além da velocidade, temos fatores influenciadores de arrasto o: Coeficiente adimensional de arrasto (C_D), área frontal do veículo (A), em m^2 e a densidade do ar ambiente (ρ), em Kg/m^3 , conforme a Equação 2:

$$D = C_D * A * \frac{\rho}{2} * V^2 \quad (2)$$

(ALEIXO, 2018)

A partir dessa equação, observamos os seguintes termos:

A densidade do ar deve ser considerada a densidade em relação ao mar, segundo a ISO.

$$\rho = 1,2250 \frac{Kg}{m^3}$$

A velocidade é um parâmetro imposto pelo motorista do veículo.

Tornando-se a área frontal do veículo e o seu coeficiente de arrasto fatores de grande representação no resultado obtido para o valor de arrasto aerodinâmico. É possível que se obtenha valores otimizados de arrasto quando se mantem a área frontal do automóvel constante, melhorando apenas o coeficiente de arrasto em si. Tornando o veículo mais suscetível a passagem de ar, sem criar uma maior intervenção durante sua passagem, assim diminuindo seu consumo e aumentando sua performance, visto que terá menos interferência durante seu deslocamento. (ROSILHO, 2013)

2.7 – Geradores Eólicos

São responsáveis por tornar a força cinética do vento em eletricidade, são dimensionados conforme a necessidade de geração.

Existem 3 grupos de geradores, são elas: Pequeno, Médio e Grande Porte, a abordagem mais detalhada será aos pequenos geradores.

Geradores de pequeno porte podem gerar potências até 100kW, os de médio porte são classificados com geração máxima até 300kW, e geradores de grande porte geram a partir de 300kW de potência (ELETROVENTO, 2018).

Os geradores são divididos em dois tipos de eixos, são eles: Horizontal e Vertical.

O gerador horizontal é fisicamente menor e mais eficiente, grande parte dos geradores fabricados possuem 3 pás, pois oferece melhor relação custo-benefício e maior facilidade no balanceamento das pás.

O gerador vertical pode ter maior quantidade de pás pois o balanceamento é mais simples e menos crítico, baseia-se a quantidade de pás com a necessidade de energia a ser produzida pelo sistema (ELETROVENTO, 2018).

2.7.1 – Pequenos Geradores

Para considerar que um gerador seja de pequeno porte ele segue algumas características em relação a sua potência, os valores devem variar entre 0,1kW até 100kW (ELETROVENTO, 2018).

Suas dimensões podem variar, assim como a quantidade de pás que ele possuirá e quanto ao seu formato, observando-se sempre a necessidade de utilização do consumidor.

A Figura 2 refere-se a um pequeno gerador que possui as seguintes características: Corrente de energia: 0.01 - 100mA; velocidade nominal: 100 RPM a 6000 RPM; Nº de pás da hélice: 4; Diâmetro do motor: 24,5mm; Dimensões totais (LxA): ~100mmx95mm, montado; Peso: 65g. (USINAINFO, 2019)

Figura 2 - Pequeno gerador de 100mA



Fonte: Usinainfo (2019)

Na Figura 3 é apresentado um gerador de pequeno porte com as seguintes características: Tamanho: 71 cm x 28 cm x 20,5 cm (CxLxA); Peso: 7500g; Relação do poder: 400W; Tensão fixa: 12V / 24V; Velocidade do vento: 55m/s; Diâmetro da roda do vento: 1,2m; Número de folhas: 3 peças (ELETROVENTO, 2018).

Figura 3 - Pequeno gerador de 400W



Fonte: Eletrovento (2019)

2.8 – Simulação Fluidodinâmica Computacional (CFD)

Realizar testes de veículos em condições próximas da realidade é uma tarefa delicada, pois pode apresentar diferentes condições ambientais, o que torna o estudo aerodinâmico mais difícil (BOSCH, 2016).

A partir dessas dificuldades foram desenvolvidas tecnologias para melhores estudos aerodinâmicos, em locais onde pode-se controlar as condições a serem submetidas ao veículo. Desenvolvendo-se assim tuneis de vento, que se tornaram ferramentas de extrema importância para as indústrias. Apesar de uma boa precisão, o sistema possuiu alto custo operacional, devido as características específicas para que se possa simular as condições próximas a real (BOSCH, 2016).

A necessidade de garantir maior dinamismo aos estudos e projetos aerodinâmicos levaram ao desenvolvimento de uma nova forma de simulação das condições reais de tráfego de um automóvel. A partir da Análise Fluidodinâmica Computacional (CFD) é possível simular condições de um ambiente real e transformá-lo em computacional, através de desenhos tridimensionais, o que torna mais rápido o manejo de fatores cuidadosamente tratados em ensaios em túnel de vento. (BOSCH, 2016)

Devido a facilidade na manipulação de condições de teste e geometria, tornou-se a análise computacional uma ferramenta de grande importância no desenvolvimento e estudo aerodinâmico, principalmente na fase inicial do projeto, onde se busca a otimização do projeto (RAMOS, 2012).

Apesar de grande vantagem, a ferramenta é considerada como complementar ao túnel de vento, sua maior contribuição está ligada ao acesso de dados quantitativos acerca das linhas de corrente que envolvem o modelo estudado.

Utiliza-se o CFD por exemplo em regiões de difícil escoamento, como por exemplo o compartimento do motor. Avaliou-se o escoamento interno na refrigeração do motor e o escoamento sob o veículo. Assim foi possível avaliar zonas de arrasto e propor modificações e melhorias no coeficiente de arrasto (BOSCH, 2016).

A simulação computacional é consiste na divisão entre volume de controle e da superfície do modelo em inúmeros volumes infinitesimais. A partir desse volume são aplicados cálculos numéricos para solucionar equações de *Navier-stokes* (equação da Continuidade, conservação do momento e da Energia), determinando-se a pressão e os esforços aerodinâmicos em cada célula geométrica com formato definido.

A indústria automotiva utiliza de métodos específicos para análise, são eles: Lineares e não lineares.

Os métodos lineares podem ser: *Vortex Lattice* e o método dos painéis. Nestes métodos o fluido é considerado incompressível, inviscido e irrotacional. A partir de simplificações sobre as equações de *Navier-Stokes*, obtém-se um sistema linear chamado de equação de Laplace (RAMOS, 2012).

2.9 – Consumo de Combustível e Dimensões Veicular

Tendo como princípio uma maior performance e um menor consumo, os projetos automotivos são desenvolvidos e testados diversas vezes, para que se alcance os objetivos propostos. Um dos desafios está em adequar o veículo a um bom consumo e uma menor emissão de poluentes.

Tendo papel importante para estes temas a aerodinâmica veicular contribui para uma menor ou maior emissão de gases e consumo.

No Brasil o INMETRO realiza os testes em veículos, visando aferir os valores de consumo e emissão do veículo em questão, seguindo os requisitos ABNT, que regulamenta como devem ser feitos os testes, a norma utilizada é a NBR 7024, que define os ciclos urbanos e de estrada que devem ser feitos. (ABNT, 2017)

Atualmente normas estabelecem parâmetros para que as montadoras se adequem aos valores permitidos de emissão de partículas, um fator que pode ser alcançado através do menor consumo de combustível por parte do veículo, na qual baseia-se na relação como é utilizado o veículo (RAMOS, 2012).

Um dos fatores importantes para a melhora no consumo é aerodinâmica veicular, na qual tende-se a desenvolver um veículo com o menor arrasto aerodinâmico, o que exige menos força para que posasse superar a resistência com o ar.

A partir do princípio aerodinâmico de que são avaliados a implementação de características de design específicos e sistemas nas quais poderão ser utilizados como itens de segurança e/ou conforto para os ocupantes (ROSILHO, 2013).

2.9.1 – Dimensões Veicular

Um dos fatores importantes sobre o consumo de combustível está relacionado as dimensões do veículo, características como peso, largura, altura e comprimento podem alterar os valores de consumo de um veículo (RAMOS, 2012).

Para desenvolvimento de veículos com menor consumo, teoricamente, deve-se evitar o acúmulo de peso e procura-se desenvolver uma carroceria com menores dimensões (ROSILHO, 2013).

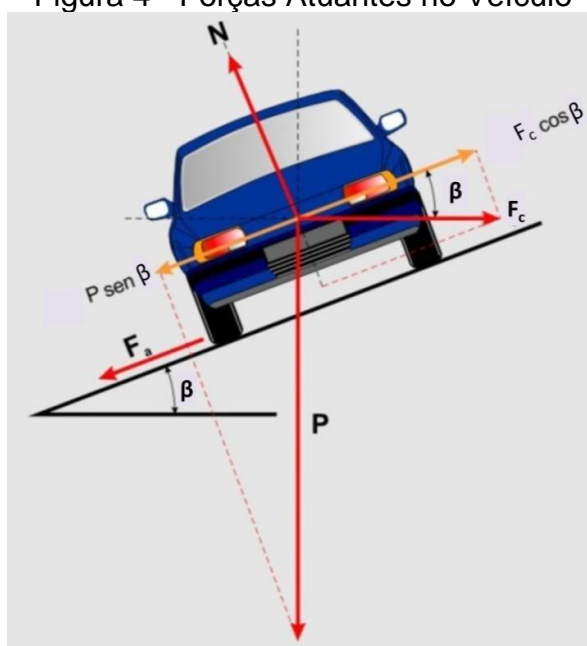
A influência é direta: quanto mais pesado estiver o veículo, maior será o gasto de combustível para uma mesma rota e perfil de condução.

Se aumentado em 20% a massa total de um veículo com o acréscimo de carga ou passageiros, o sistema de propulsão, trem de força = motor + transmissão, deverá proporcionar 20% a mais de força nas rodas para que seja atingida a mesma aceleração (QUATRO RODAS, 2017).

Em veículos compactos há uma redução da ordem de 4,6% no consumo de combustível para cada 10% de redução de massa total de veículo, carro, passageiros e carga (LAB, 2017).

A Figura 4 demonstra as forças atuantes sobre um veículo.

Figura 4 - Forças Atuantes no Veículo



Fonte: ResearchGate (2019)

2.10 – Acumuladores de Energia

A energia que é produzida nem sempre é utilizada quando foi gerada, para que essa energia não seja desperdiçada torna-se necessário a implementação de um acumulador de energia.

Diferentes tipos de acumuladores estão disponíveis, podendo citar entre eles as baterias de ácido de chumbo e as baterias de íons lítio. (MENDONÇA, 2008)

2.10.1 – Acumuladores Ácido de Chumbo

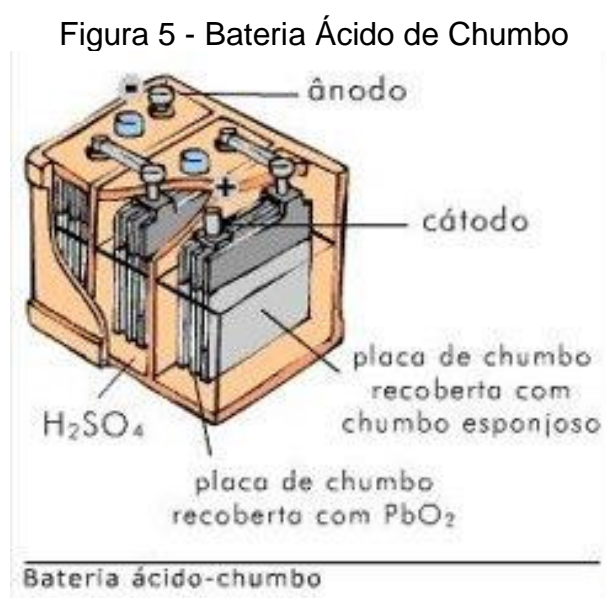
É o tipo de acumulador mais conhecido, é usado em veículos elétricos.

Uma das melhores características deste tipo de acumulador é a baixa resistência interna, o que garante maior quantidade de ciclos, mantendo uma energia específica (MENDONÇA, 2008).

Um dos fatores negativos está associado ao contato do chumbo com o ácido, que não é muito estável, devido sua decomposição ao longo do tempo.

Esse fator depende da temperatura dos elementos, tendo uma rápida degradação em altas temperaturas (MENDONÇA, 2008).

Figura 5 demonstra a composição de uma bateria de ácido de chumbo.



Fonte: ColadaWeb (2019)

2.10.1.1 – Acumuladores de Íons de Lítio

Esse tipo de material vem sendo muito utilizado na indústria automotiva, pela necessidade de oferecer boa performance, boa propriedade energética e redução de custos aliado a melhoria de segurança e durabilidade (LARMINIE, 2003).

Nesse tipo de acumulador é necessário que haja um rigoroso controle de tensão, durante o carregamento dos elementos.

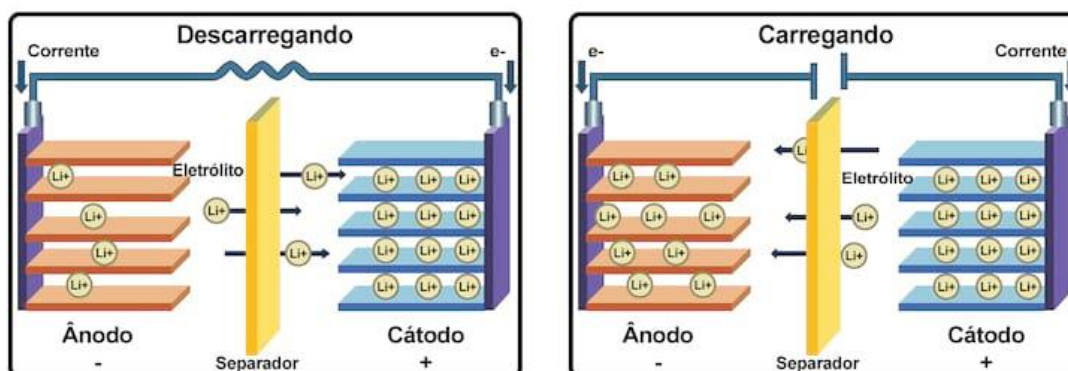
Esse tipo de acumulador já é utilizado em veículos, como por exemplo o Mini *Battery Electric Vehicle* (BEV).

Os elementos deste tipo de acumulador possuem melhor potência e energia específica, pelo fato de funcionarem a uma tensão maior, em média de 3,3V a 4,3V, que se comparada ao acumulador de ácido de chumbo, que possui tensão entre 1,2V por exemplo (MENDONÇA, 2008).

Esse tipo de acumulador ainda está em fase de desenvolvimento, mas espera-se que possa atingir até 300Wh/kg em pouco tempo, a exemplo de comparação, acumuladores de níquel hidreto metálico (NIMH) que também funcionam a uma tensão máxima de 1,2V gera em torno de 75Wh/kg (MENDONÇA, 2008).

A Figura 6 demonstra o processo de carregamento e descarregamento de uma bateria de íons de lítio.

Figura 6 - Bateria de Íons de Lítio



Fonte: OficinaNet (2019)

3 – Metodologia do Trabalho

A seção a seguir tratara sobre o sistema da qual pretendesse criar para aproveitamento desta forma de energia, com base no veículo Volkswagen Gol.

3.1 – Diagrama de Blocos

Será demonstrado a partir do fluxograma aspectos importantes que serão considerados na criação desse sistema, demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma de etapas do projeto



Fonte: Autor (2019)

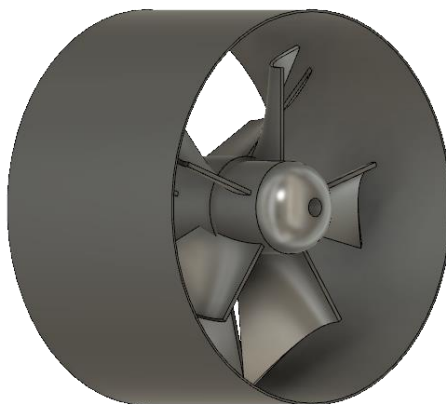
3.2 – Desenvolvimento do Gerador e Testes pós Simulação

Através de estudos prévios observa-se a necessidade da criação de um sistema próprio para que posasse aproveitar da forma mais eficiente o fluxo de ar que passará pelo veículo, levando em consideração os fatores de curva de pressão, rotação e velocidade de alguns geradores estacionários.

Uma previa do sistema será desenvolvida através do aplicativo Fusion inventor, na qual deverá ser aplicado o teste de performance para obter as curvas citadas acima através de um *software* CFD.

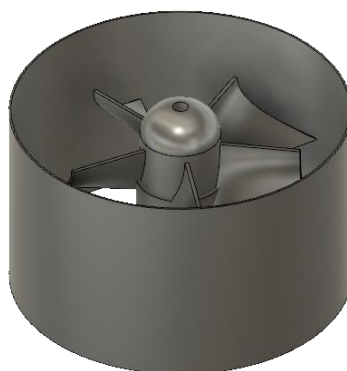
As Figuras 8 e 9 demonstram a turbina desenvolvida para aplicação de testes no *software*.

Figura 8 - Turbina para testes de curva Torque x Hz vs Torque x Potência.



Fonte: Autor (2020)

Figura 9 - Turbina para testes de curva Torque x Hz vs Torque x Potência



Fonte: Autor (2019)

A partir desse protótipo da turbina pretende-se elaborá-lo na melhor concepção para a criação de um dispositivo eficiente energeticamente e aplicável levando em consideração aspectos como tamanho, durabilidade e segurança.

Simultaneamente foi adquirido uma turbina já existente, essa turbina atende as características do veículo que será utilizado como protótipo de

experimento, levando em consideração as medidas de diâmetro entre 8 a 10 centímetros, e profundidade de 15 a 17 centímetros.

A Figura 10 demonstra a turbina adquirida com base nas medidas próximas as medidas de um farol de neblina veicular.

Figura 10 - Turbina 68mm de diâmetro e 70mm de profundidade



Fonte: FúriaHobby (2019)

3.2.1 – Simulador

Para os testes do gerador proposto será utilizado o programa Autodesk *CFD*, o *software* foi desenvolvido pela ALGOR, trata-se de um programa capaz de realizar testes fluidodinâmicos em diferentes materiais.

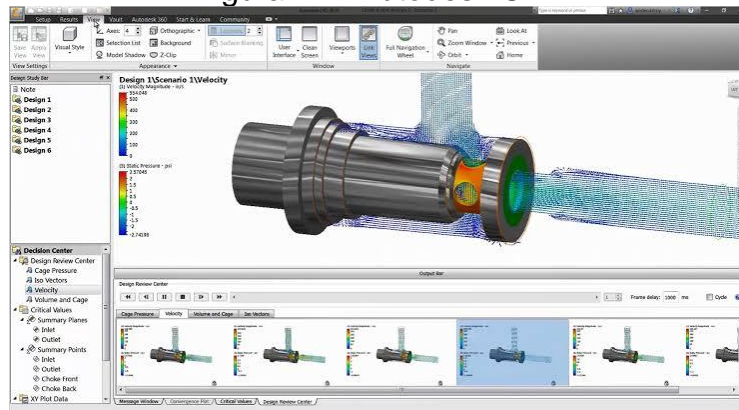
Esse *software* ajuda a prever de forma inteligente o desempenho dos fluidos sobre o material desenvolvido.

Ferramentas que serão utilizadas no *software*:

- Aplicação de controle de fluxo: Para otimização da queda de pressão e distribuição do fluxo;
- Modelagem de superfície livre: Para simulação entre líquidos e gases.
- Rastreamento de partículas: Utilizado para percepção da circulação e seu fluxo.

A Figura 11 refere-se a área de trabalho do *software*:

Figura 11 - Autodesk CFD



Fonte: Autodesk (2019)

3.3 – Coletor do Fluxo de Ar

Através dos resultados obtidos através da turbina será dimensionada a estrutura de coleta desse fluxo de ar, essa à qual será feita para intensificar o máximo do fluxo de ar que passará sobre o coletor afim de obter maiores velocidades do ar dentro do sistema e maior capacidade de geração de energia.

No desenvolvimento será levado em consideração uma única via de entrada maior e um corpo dimensionado especialmente afim de intensificar a velocidade da passagem de ar, como por exemplo um coletor de ar, como na Figura 12.

Figura 12 - Coletor de Ar de borracha



Fonte: ParaMotos (2019)

Esse coletor pode ser usado, pois é pequeno, o que pode ser ideal para o uso no farol de neblina sem que ocupe muito espaço para a turbina.

3.4 – Dispositivo de Conversão da Energia

Outro aspecto a ser considerado será o dispositivo que permite a transformação do movimento do ar em energia elétrica, esse dispositivo deve levar em consideração aspectos importantes tais como: segurança, durabilidade, desempenho e conforto.

Nos sistemas de conversão de energia eólica utiliza-se conversores assíncronos e síncronos das quais será avaliado o melhor formato para a conversão no sistema veicular.

As máquinas assíncronas apresentam melhor custo-benefício, construção simples, ampla disponibilidade, alta relação peso potência e boa robustez. Um sistema que deve ser considerado é o de um gerador assíncrono de indução com rotor bobinado de anéis que apesar de ter um custo maior a relação ao custo total tende a ser melhor levando em consideração todo o conjunto máquina-conversor.

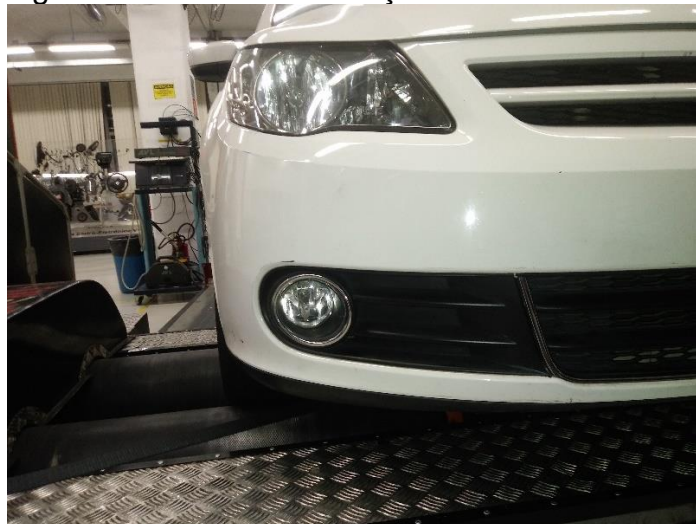
Deve se analisar qual o tipo de concepção de uso será atribuído ao sistema, da qual pode ser de uso regular ou ocasional, em regimes de uso regular, ou seja, quando a energia gerada já será utilizada no sistema não se fará necessário o armazenamento de energia.

Já em sistemas das quais a energia deverá ser armazenada para outros momentos como por exemplo: fornecer energia para recarregamento de bateria de automóveis elétricos ou híbridos em determinadas circunstâncias, a proposta é que o armazenamento seja feita em baterias como as já presentes nos veículos híbridos e elétricos, similar ao sistema que é aplicado no conceito de regeneração de energia através do freio.

3.5 – Área de Trabalho

A proposta é que o sistema seja instalado na região frontal do veículo, visto que é nela a região de maior incidência do fluxo de ar que atua sobre o veículo, o a entrada do coletor será instalada na região do farol de neblina do veículo de teste da Fatec na Figura 13.

Figura 13 - Área de instalação da turbina



Fonte: Autor (2019)

Nessa região é possível que seja instalado em diversos veículos pois a entrada é presente em diversos modelos diferentes.

As medidas das turbinas devem respeitar as medidas originais do farol de neblina do veículo, que possui aproximadamente 100mm de diâmetro e 170mm de profundidade.

3.6 – Sobre o Sistema

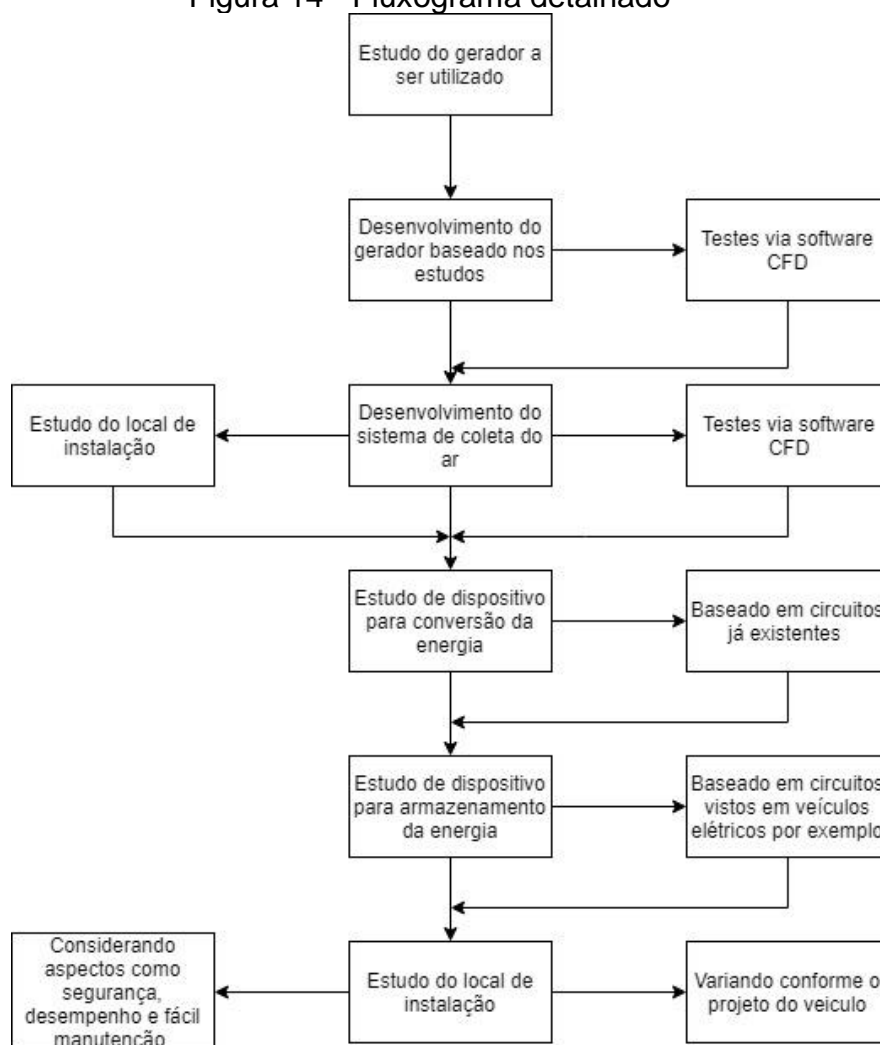
O princípio inicial contempla um sistema que consiga realizar o maior aproveitamento do fluxo que por ele passar, levasse em consideração também um sistema que ocupe um menor espaço possível para que não sejam necessárias muitas mudanças no para-choque do veículo, e não seja necessário a grandes adaptações no veículo.

Visto que quanto mais compacto for o sistema melhor pois abre a possibilidade de se trabalhar não com apenas um gerador, mas com 2 ou mais que possam trabalhar em áreas diferentes.

Na concepção o sistema poderá ser usado como gerador de energia para itens de conforto do veículo, como por exemplo luzes de cortesia, sistemas de entretenimento entre outros ou também como forma de geração de energia para armazenamento em bateria para fins de uso para abastecer circuitos híbridos ou elétricos conforme a necessidade (BOSCH, 2016).

A Figura 14 demonstra o fluxograma detalhado dos passos a serem seguidos no projeto.

Figura 14 - Fluxograma detalhado



Fonte: Autor (2019)

3.7 - Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento dos testes utilizou-se:

- Gerador
- Isopor para molde
- Ventilador do dinamômetro
- Anemômetro
- Espaço físico, laboratório automotivo da Fatec
- Veículo
- Ferramentas

O gerador é uma turbina com 64 mm de diâmetro que foi adquirido, como protótipo de testes, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Gerador Utilizado



Fonte: Autor (2020)

Para que a turbina possa ser encaixada ao farol de neblina do veículo será utilizado isopor, como função de suporte da turbina, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Molde de Isopor + Turbina de testes



Fonte: Autor (2020)

Os testes com velocidades controladas de ventilação serão feitos na praça técnica da Faculdade de Tecnologia de Santo André (FATEC).

Utilizou-se as seguintes ferramentas: Ventilador do dinamômetro de modelo *Dynotech 720i* e Anemômetro modelo *Extech Hot Wire 407412*.

O ventilador serviu como fonte de movimentação de ar, o anemômetro serviu para medição das características do fluxo de ar, tais como temperatura e velocidade durante a passagem do fluxo de ar.

O Anemômetro é demonstrado conforme a Figura 17.

Figura 17 - Anemômetro



Fonte: Autor (2020)

Apenas um teste prático foi desenvolvido no projeto físico, os testes seguintes foram interrompidos devido à indisponibilidade do espaço físico.

Como forma de obtenção dos dados utilizou-se uma turbina com os valores já fornecidos, apresentados na subseção 3.2, como demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Turbina com dados já calculados



Fonte: GTEPTYO

As características apresentadas desse produto demonstram semelhança ao protótipo adquirido e testado via *software*.

A turbina citada utilizou um micro motor DC como gerador, esse motor tem capacidade de tensão de operação na faixa de 6 V a 18 V.

E apresentou uma velocidade de rotação em carga máxima de 15700 RPM, com torque de 390 Gf/cm.

Sua tensão nominal é de 12 V, e possui um peso de 213 g.

3.7.1 – Desenvolvimento em Software

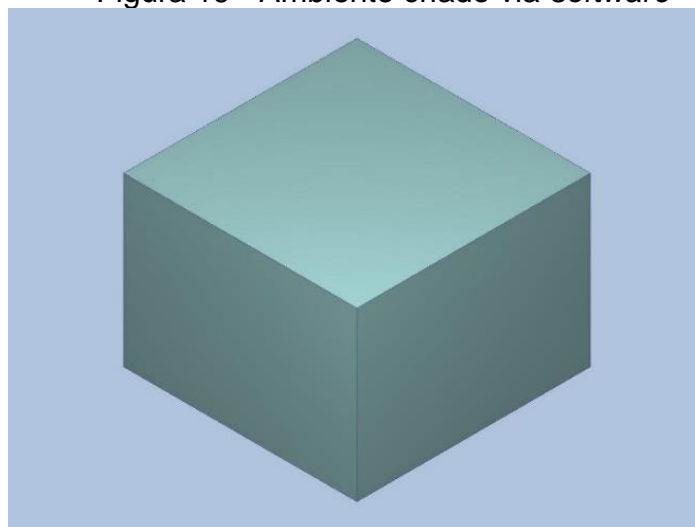
Através do *software* Autodesk CFD 2019, serão analisados os seguintes parâmetros: A força exercida sobre as pás da turbina, os valores de rotação conforme a quantidade de fluxo de ar que passará sobre as pás da turbina.

Para que fosse realizada a simulação foi necessário a criação de um ambiente controlado este processo é feito através da criação de uma caixa em torno da turbina a ser simulada.

Com esta função é possível criar as características da simulação desejada, como por exemplo a direção que o fluido percorrerá.

O ambiente foi criado através da função geométrica do *software* CFD 2019, conforme a Figura 19.

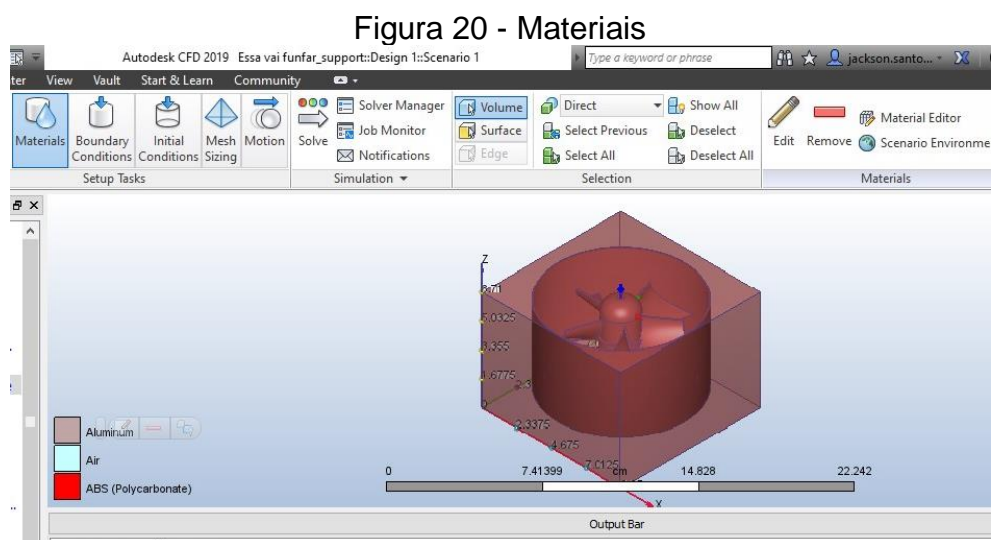
Figura 19 - Ambiente criado via *software*



Fonte: Autor (2020)

Após a criação do ambiente sobre a turbina são necessárias algumas configurações para que o *software* possa identificar as características do objeto presente no ambiente, com isso o passo seguinte é o de classificar o que cada material da turbina representa.

Esse processo é feito através da função materiais, nessa função foi definida as características dos materiais da turbina, das quais base, e hélice foram definidas como plástico e rotor definido como material em alumínio, conforme a Figura 20.



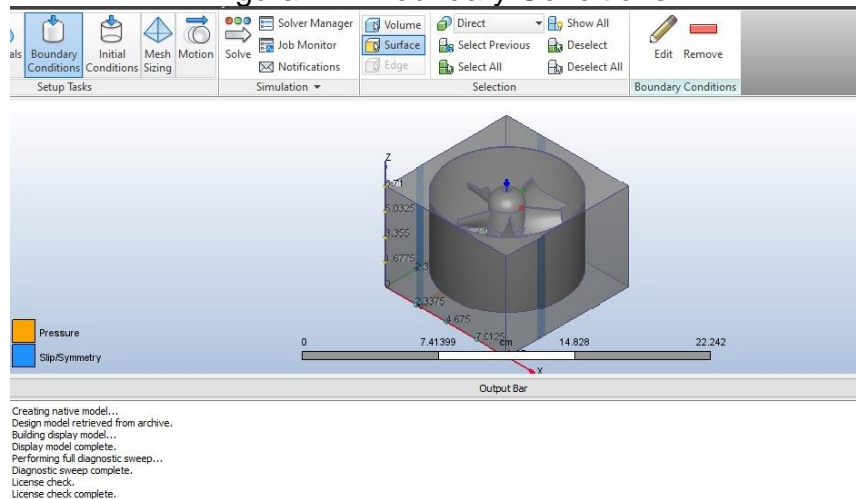
Fonte: Autor (2020)

Também é descrito o material presente no ambiente criado, para o ambiente foi selecionado que o material presente é o Ar atmosférico.

Após a descrição de todos os objetos presentes na simulação o próximo passo está em descrever as faces do ambiente na qual foi criado, a função *Boundary conditions* é utilizada.

Por ser necessário que o fluxo tenha a direção através do eixo Z, as faces laterais ao eixo foram descritas como paredes, já a parte de baixo do eixo Z foi descrita com uma face onde a pressão correspondente é zero, pois assim o *software* entende que o fluxo deve ir ao ponto onde a pressão é zero a Figura 21 demonstra o ambiente já configurado

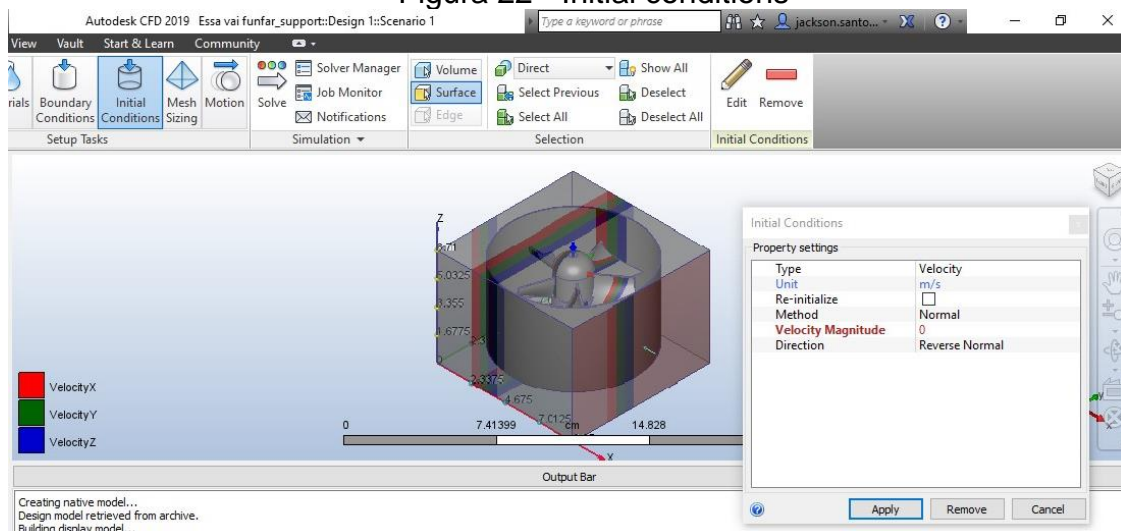
Figura 21 - Boundary Conditions



Fonte: Autor (2020)

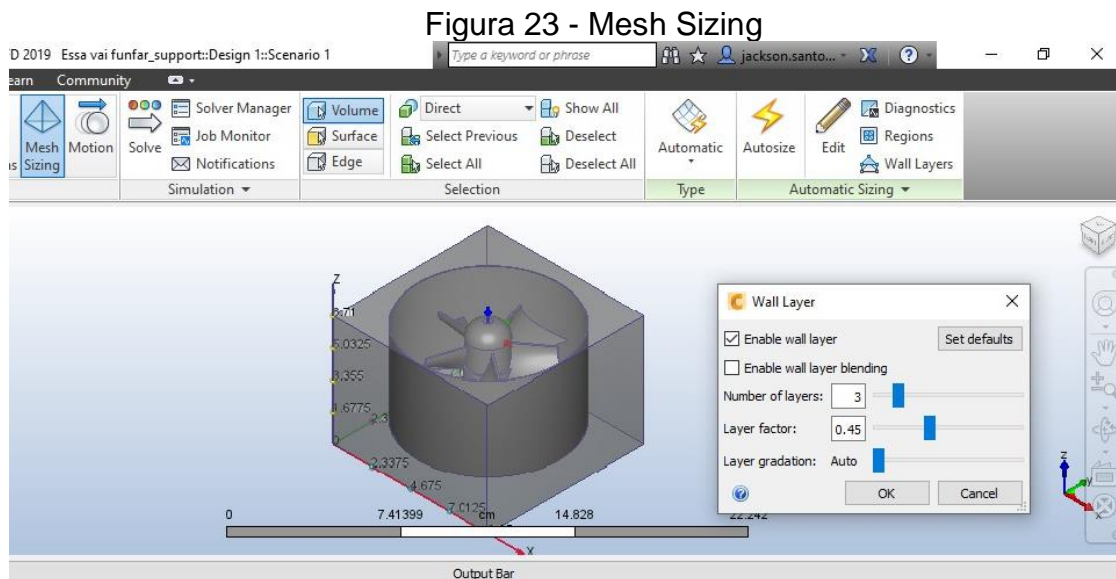
Com o ambiente já configurado o passo seguinte é a descrição das condições iniciais da simulação, o *software* possui diversos tipos de condições para simulação, para o estudo será utilizado a velocidade como condição inicial, configurando os valores que serão definidos e os eixos onde essa velocidade estará presente, sendo os eixos X, Y e Z, nessa configuração também pode-se selecionar a direção do fluxo e o método de aplicação do mesmo, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Initial conditions



Fonte: Autor (2020)

Após essas configurações, foram necessários ajustes na malha de análise, esse valor foi configurado conforme a capacidade da máquina para realizar os cálculos sobre a peça e o ambiente, conforme a Figura 23.

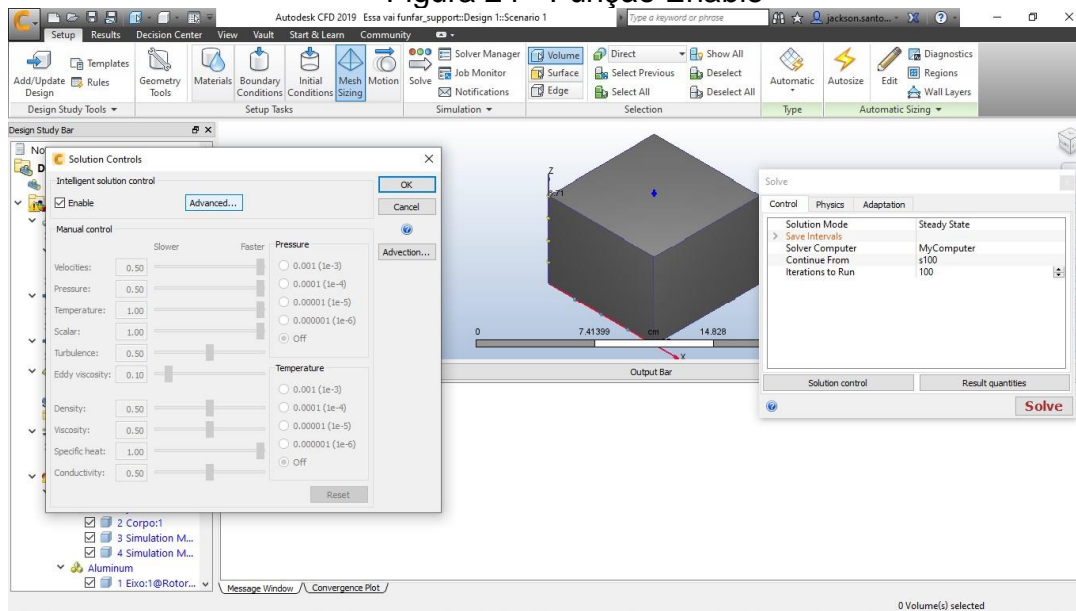


Fonte: Autor (2020)

Terminado essas configurações o próximo passo foi definir o processo da simulação, utilizando a função denominada *Solve*, a partir dessa função os seguintes parâmetros foram ajustados: solução de controle, turbulência e adaptação.

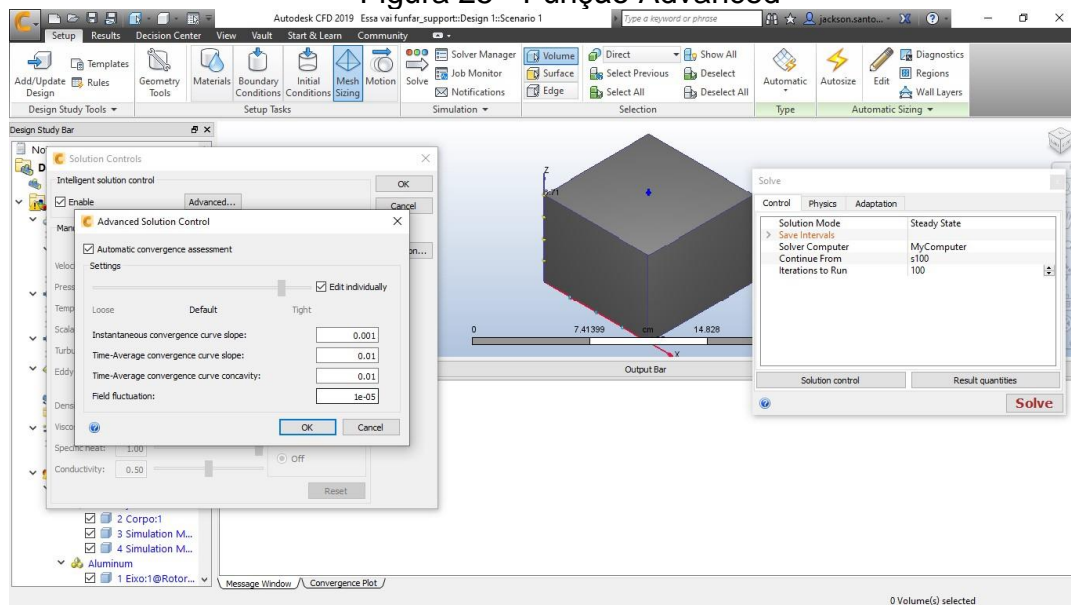
No parâmetro de solução de controle foi marcada a função *Enable*, logo após na função avançada foi configurado para o parâmetro *Tigh* e por fim na função *Advection* foi selecionado a função *ADV-5*. Esses processos estão demonstrados nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 - Função Enable



Fonte: Autor (2020)

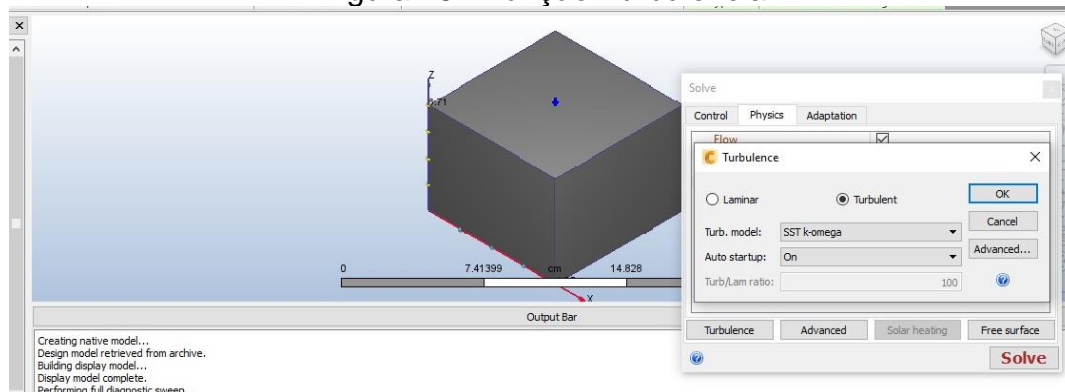
Figura 25 - Função Advanced



Fonte: Autor (2020)

No parâmetro de turbulência foi configurado para que o modo de turbulência seja o SST-K Ω , modelo de viscosidade por turbilhão, utilizado em aplicações aerodinâmicas, conforme a Figura 26.

Figura 26 - Função Turbulência

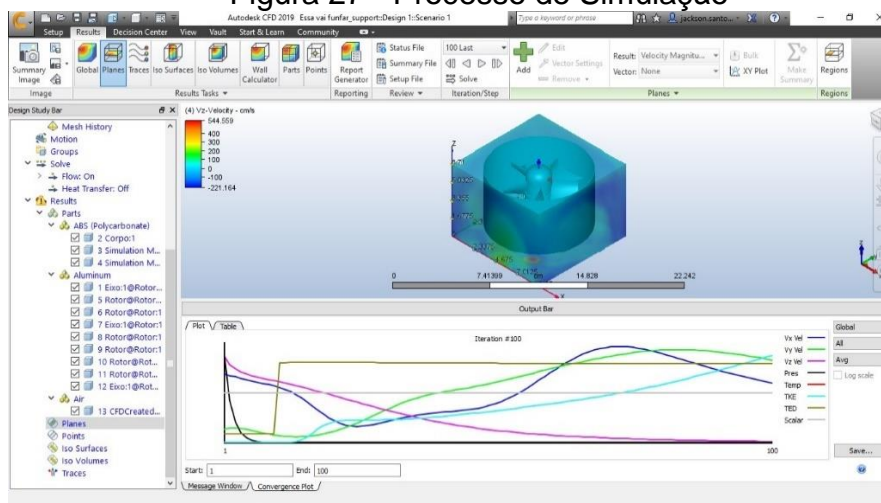


Fonte: Autor (2020)

E por fim no parâmetro de adaptação, foi marcada a opção *Enable Adaptation*.

Concluído essas configurações obtemos o processo de simulação sobre a turbina, conforme demonstrado na Figura 27.

Figura 27 - Processo de Simulação



Fonte: Autor (2020)

Após a simulação o *software* oferece ferramentas para o auxílio na leitura e interpretação dos cálculos, tanto com a exibição de gráficos com os vetores selecionados, como ferramentas para cálculo de pontos específicos da simulação.

Para os testes a ferramenta *Planes* será utilizada, com a finalidade de obter os valores sobre o plano criado

A ferramenta *XY Plot* será utilizada para a obtenção dos dados gráficos da simulação a partir dos eixos e vetores desejados.

4 – Resultados e Discussões

Ao adquirir o protótipo real da turbina deu-se início ao teste, utilizando o Ventilador do dinamômetro com auxílio do molde de isopor, no primeiro teste foi feita a observação da rotação da turbina com o aumento da velocidade do ventilador, com o auxílio do anemômetro, para medir a velocidade em que a turbina inicia seu ciclo de rotação.

Foi elaborado uma planilha com valores de velocidades utilizadas no ventilador, conforme a Quadro 1:

Quadro 1 - Teste prático da turbina

5 Km/h	10 Km/h	15 Km/h	20 Km/h	25 Km/h	30 Km/h	35 Km/h	40 Km/h	45 Km/h	50 Km/h	55 Km/h	60 Km/h
✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Autor (2020)

Nota-se no Quadro 1 que velocidades abaixo de 20 Km/h não obtiveram sucesso na rotação da turbina, entretanto velocidades acima de 25 Km/h fizeram com que a turbina iniciasse sua rotação, com o constante aumento da velocidade notou-se o aumento da rotação da turbina gradativamente.

Durante o teste a turbina foi utilizado um motor *Brushless*, apenas utilizado para suprir temporariamente o motor adequado a proposta do projeto.

Considerando a utilização desse motor, os resultados obtidos eventualmente foram influenciados devido à resistência do material.

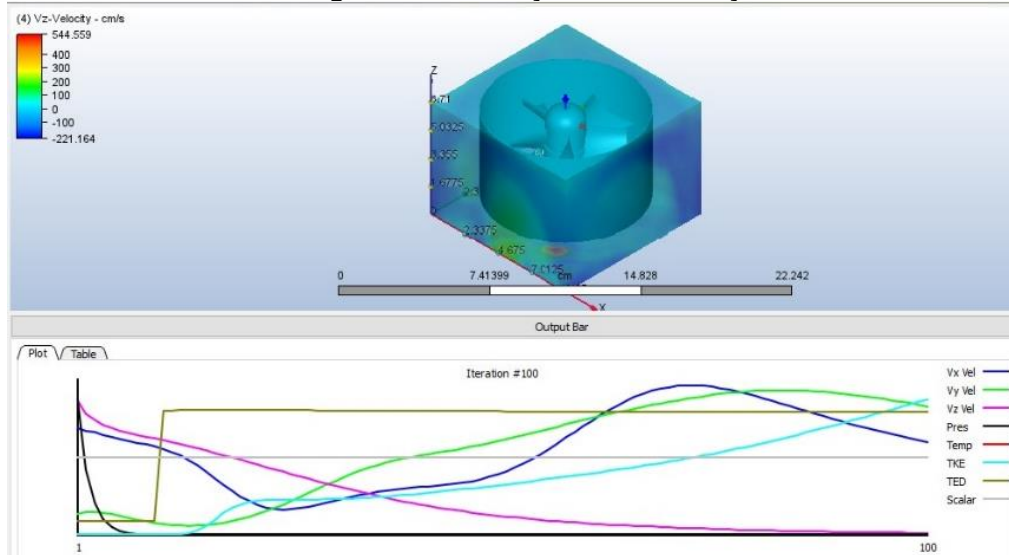
Apenas um teste foi feito com a turbina física, a impossibilidade de realização de novos testes foi decorrente a indisponibilidade do ambiente de experimento.

4.1 – Resultados das Simulações

Utilizou-se o *software CFD* para a realização de simulações sobre a mesma turbina, mas em modo virtual.

Pela simulação foram obtidos os resultados dos seguintes vetores: velocidade nos eixos X, Y e Z, pressão e força, conforme demonstra a Figura 28.

Figura 28 - Solução da simulação

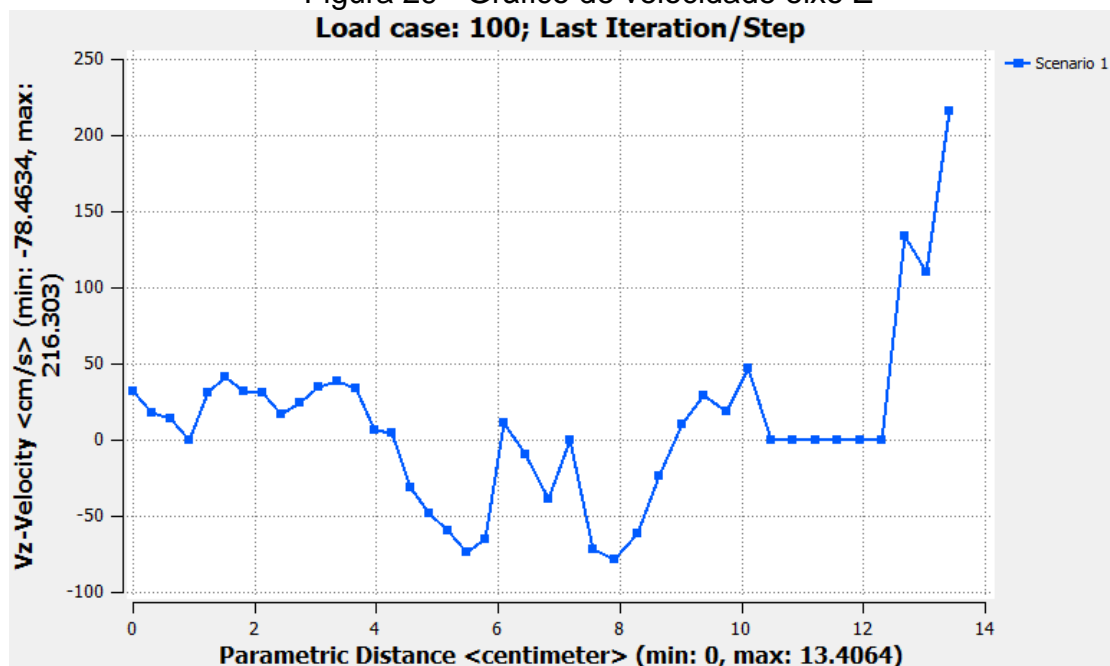


Fonte: Autor (2020)

A partir da solução da simulação foram obtidos gráficos das velocidades nos eixos.

Essa simulação foi feita com o uso de uma velocidade inicial de 30 Km/h, o gráfico da velocidade no eixo Z é considerado o mais relevante, pois é nesse eixo onde a turbina está posicionada frontalmente para o fluxo. A Figura 29 demonstra o gráfico do eixo Z.

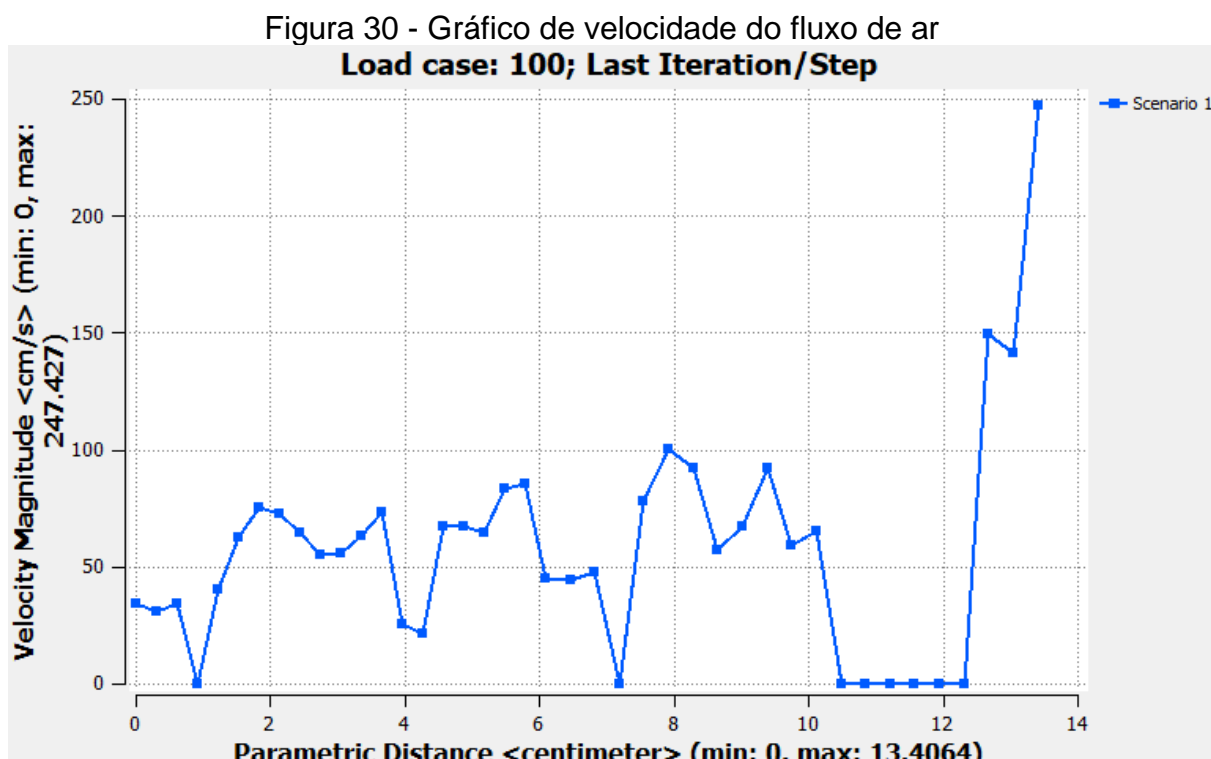
Figura 29 - Gráfico de velocidade eixo Z
Load case: 100; Last Iteration/Step



Fonte: Autor (2020)

Nota-se que do valor inicial de condição do fluxo de ar, o valor máximo aproveitado de 216,30 cm/s valor equivalente a 7,78 Km/h, no eixo Z.

A velocidade de magnitude assumiu um valor máximo próximo ao valor obtido sobre o eixo Z, onde sua velocidade foi de 247,42 cm/s, equivalente a 8,90 Km/h, conforme demonstrado na Figura 30.



Fonte: Autor (2020)

O parâmetro distancia, presente no gráfico corresponde a representação da área analisada, dentro do ambiente criado.

Para essa simulação, a distância para levantamento de dados foi feita sem a seleção de um ponto específico, considerando assim todo o ambiente da simulação.

Ciente do fator velocidade, outro parâmetro obtido foi o da força exercida sobre a turbina, em sua simulação a força calculada sobre os eixos X, Y e Z demonstrou os seguintes valores em Newton:

Para a força no eixo X: -6.53×10^{-5} N

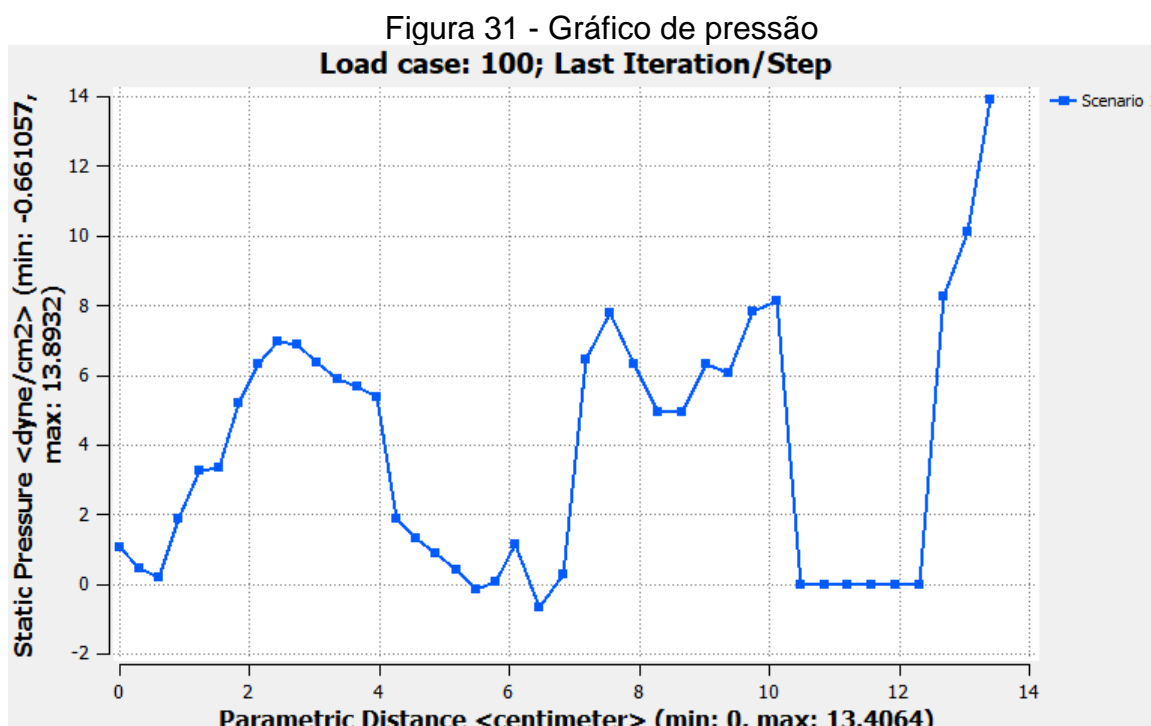
Para a força no eixo Y: 3.21×10^{-5} N

Para a força no eixo Z: 0.012 N

Considerando o eixo Z sendo o de relativa importância, as forças aplicadas sobre os demais eixos são consideradas secundárias sobre a turbina, o valor apresentado sobre o eixo Z é demasiadamente pequeno na simulação.

A partir do gráfico da pressão observa-se que valores de pressão variaram entre: -0,066 Pa a 1,88 Pa.

Os valores de pressão simulado pelo programa, são observados conforme na Figura 31.

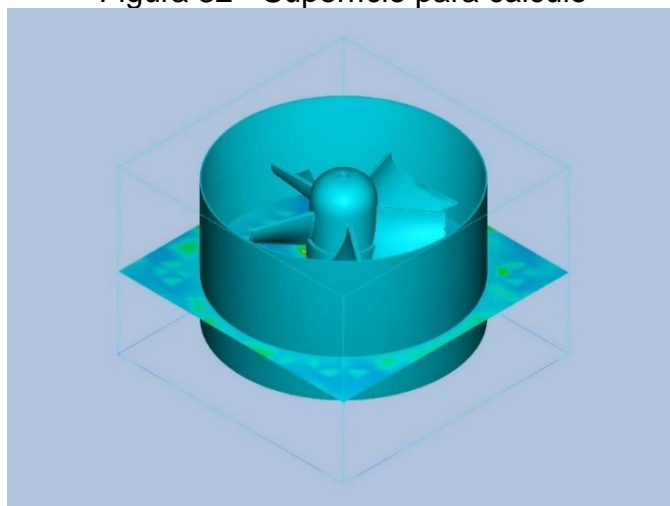


Fonte: Autor (2020)

O valor de pressão sobre a saída do fluxo sobre o eixo Z foi de 13.89 dyne/cm², equivalente a 1.39 Pa.

Esses valores são referentes a uma área com valor total de 87.4225 cm², essa área corresponde à superfície criada sobre o meio da turbina para sua medição, conforme a Figura 32.

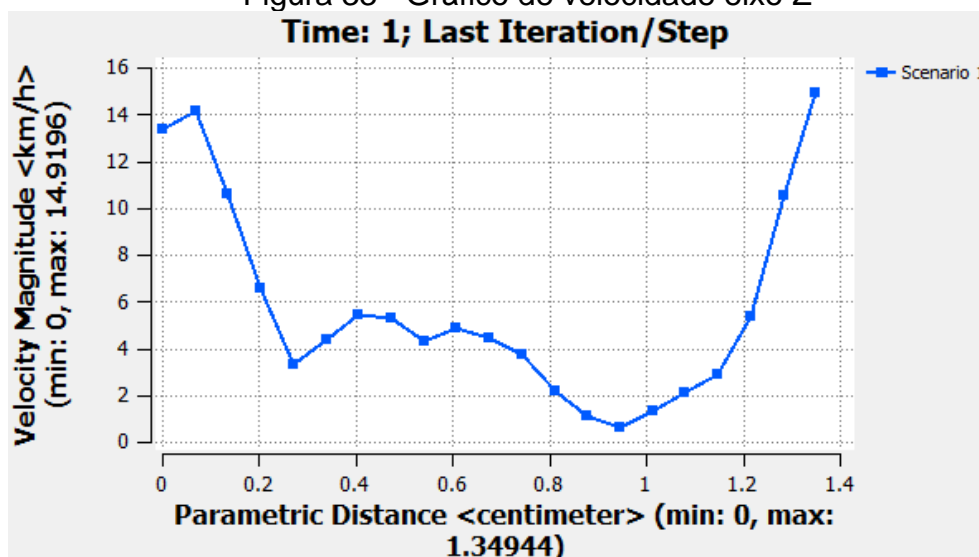
Figura 32 - Superfície para cálculo



Fonte: Autor (2020)

Para efeito de comparação foi realizada uma nova simulação, na qual a condição inicial do fluxo de ar é de 45 Km/h. A partir dessa alteração pode-se notar uma alteração na velocidade do eixo Z, conforme a Figura 33.

Figura 33 - Gráfico de velocidade eixo Z



Fonte: Autor (2020)

A velocidade máxima calculada sobre esta condição foi de 14,91 Km/h, para essa análise o parâmetro de distância foi reduzido, o levantamento de dados gráficos foi obtido sobre o ponto lateral da turbina, local na qual a análise demonstrou os picos dos valores.

Um dado importante a considerar é a taxa do fluxo de massa, o valor para essa simulação ficou em 0,464761 g/s, e destaca-se que o volume de vazão foi de 385.778 cm³/s.

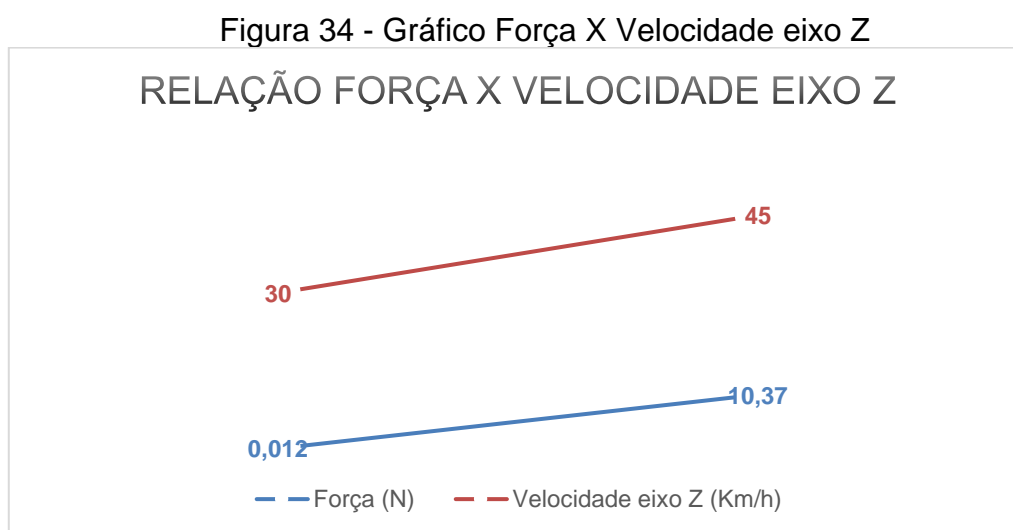
Para os valores obtidos de força nos três eixos tem-se:

Para a força no eixo X: $-7,16 \times 10^{-7}$ N

Para a força no eixo Y: $-8,58 \times 10^{-6}$ N

Para a força no eixo Z: 10,37 N

Nota-se que com aumento da velocidade inicial, o valor de Força obteve uma alteração considerável no eixo Z, se comparado a simulação anterior, essa informação pode ser vista através da Figura 34.



Fonte: Autor (2020)

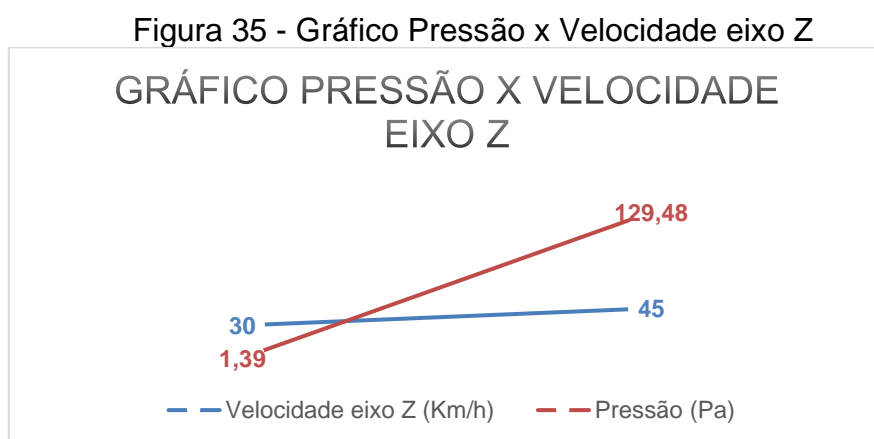
Para percepção numérica detalhada podemos aplicar a equação de porcentagem, para obtermos o percentual de variação dos valores citados, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Equação de porcentagem

FORÇA (N)	VELOCIDADE EIXO Z (KM/H)
0,012	30
10,37	45
86317%	50%

Fonte: Autor (2020)

Com um aumento de 50% na velocidade inicial do eixo Z, a pressão no ambiente também aumentou, esse aumento foi significativo, conforme visto na Figura 35.



Fonte: Autor (2020)

Para o mesmo percentual de aumento de velocidade mostrado anteriormente a pressão obteve um aumento de 9215%, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Equação de porcentagem

PRESSÃO (PA)	VELOCIDADE EIXO Z (KM/H)
1,39	30
129,48	45
9215%	50%

Fonte: Autor (2020)

Nesta simulação os valores de pressão variaram, porém o maior valor de pressão calculado foi de 129,48 Pa.

A relação demonstrada através dos resultados mostrasse uma curva exponencial, onde ao aumento da velocidade do fluxo a um aumento da rotação da turbina geradora.

4.2 – Comparação de Resultados

Para os resultados obtidos via simulação será relacionado a turbina mencionada no Capítulo 3, que teve os parâmetros já analisados.

Com base na semelhança entre os tamanhos das turbinas, a comparação levou em consideração os valores de rotação, tensão e corrente de saída obtidos na turbina analisada.

O gerador nela presente demonstrou valor de rotação máxima de 15700 RPM, com base nesse valor de rotação e considerando o diâmetro da turbina adquirida para o estudo pode-se simular a velocidade de rotação na turbina que foi adquirida.

Se levarmos em consideração as velocidades iniciais utilizadas na simulação via *software* e no teste prático da turbina adquirida, teremos o equivalente a 12.500 RPM e 18.750 RPM, respectivamente, referentes as velocidades de 30 Km/h e 45 Km/h.

O gerador utilizado na turbina utilizada para comparação produz até 64W de potência e uma corrente de até 6,8A, o gerador pode ser observado conforme a Figura 36

Figura 36 - Gerador da turbina de comparação



Fonte: AutomaçãoAG (2020)

Este gerador forneceu um torque de 390 Gf/cm.

Com base no teste prático da turbina adquirida, o valor inicial de rotação do gerador seria equivalente a 10.000 RPM, considerando a velocidade de 25 Km/h, com base nos dados disponibilizados pelo gerador mencionado.

A partir dos dados disponibilizados essa rotação geraria em torno de 12 V de tensão nominal.

Considerando a Equação 3, de potência, na qual

$$P = I \times U \quad (3)$$

Onde P é a resultante de potência, em Watts, U é a tensão, em Volts, e I é a corrente, dada em Ampere.

Pode-se obter a corrente fornecida, na qual $P = 64W$ e $U = 12V$, temos como resultante uma corrente fornecida de 5,33 A, para fornecimento de corrente

máxima disponível pode-se manter uma tensão aproximada de 9,4V para o gerador testado.

Um novo gerador, a ser mencionado abaixo, representa o protótipo que deve ser implementado para o desenvolvimento dos testes no projeto.

Para o gerador a ser implantado tem-se uma rotação menor para determinados valores de tensões, podendo alcançar rotação máxima de 10.375 RPM quando submetido a 30 V de tensão, e para valores entre 6 V e 12 V os valores de rotação são 2.075 RPM e 4.150 RPM respectivamente, os valores são demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de tensão(V) x rotação (RPM)

TENSÃO (V)	ROTAÇÃO (RPM)
6	2.075
12	4.150
24	8.300
30	10.375

Fonte: Autor (2020)

Esse gerador é capaz de fornecer cerca de 24,5 A de corrente.

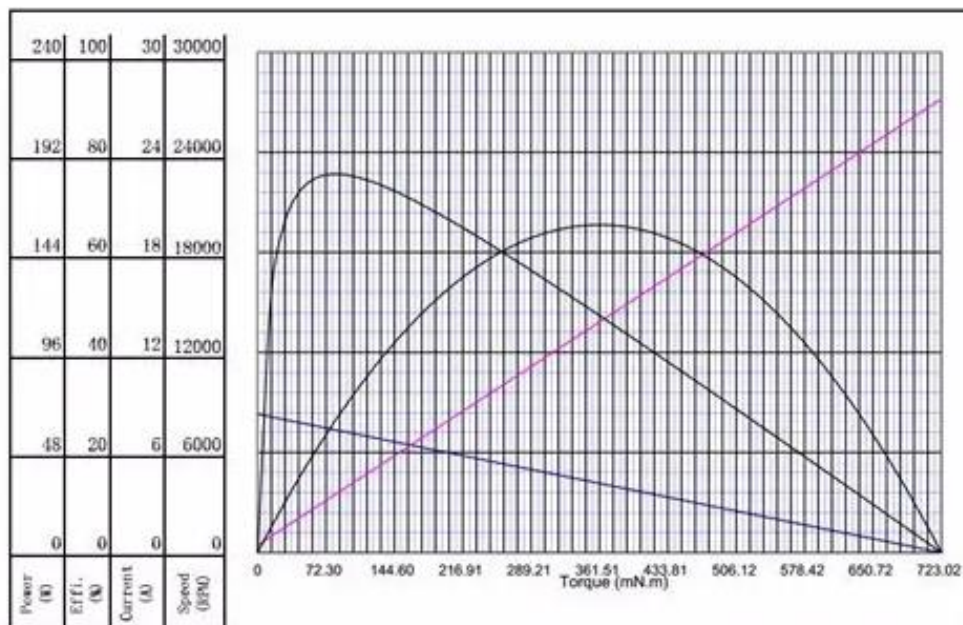
A potência gerada alcança valor máximo aproximado de 157W, aliado a um valor de torque de aproximadamente 360 mN.m, rotacionando a 4.150 RPM e com corrente de 13,82 A.

Os valores de maior eficiência desse gerador são diferentes, onde a potência de saída é de aproximadamente 63W, e um torque no valor de 82,41 mN.m, rotacionando a 7.354 RPM, e com corrente de 3,50 A.

Para a condição de eficiência máxima citada, refere-se a porcentagem de eficiência obtida no gerador, que é equivalente a 75,60%, para efeito de comparação o valor de eficiência em potência máxima é de 47,38%.

Os valores podem ser vistos conforme a Figura gráfica 37.

Figura 37 - Gráfico do Gerador - Azul: função da corrente de stall, preta: função do torque do gerador; rosa: função do gerador sem carga.



Fonte: MACHIFIT (2020)

Pelo gráfico nota-se as curvas de rendimento do torque no gerador, a parábola na cor preta, é a resultante dos valores máximos de geração, comparando-se a segunda curva que apresenta um pico próximo dos 72,30 mN.m onde representa a função de maior eficiência do gerador.

Para a reta em cor rosa, destaca-se o a fase em que não há carga sobre o gerador, onde o torque é maior conforme a rotação aumenta.

A reta ascendente na cor azul é a representação da fase de corrente *stall*, onde é representado a corrente máxima consumida durante a entrega do seu torque máximo.

Com base nesse gerador, adequando ao uso veicular, para a exemplificação de desempenho prático, pode-se destacar que os valores de energia gerada com este dispositivo é semelhante ao consumo de alguns dispositivos veiculares, a exemplo: os faroletes dianteiros e traseiros, faróis em fase baixa e alta, luz de placa, bicos injetores, bobina de ignição, entre outros.

Destaca-se na Tabela 6 os valores de consumo energético dos dispositivos mencionados.

Tabela 5 - Consumo energético veicular

<i>Dispositivo</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Energia consumida (W)</i>
<i>Faroletes</i>	2	10
<i>Faróis em fase baixa</i>	2	110
<i>Faróis em fase alta</i>	2	120
<i>Luz de placa</i>	1	5
<i>Bicos injetores</i>	4	36
<i>Bobina de ignição</i>	1	36

Fonte: Reparação Automotiva (2020)

Os dados demonstrados na Tabela 6 são para exemplificação dos valores de energia, pois apesar de gerar valores condizentes ao sistema essa geração deve ser constante, o que no sistema a ser implementado deverá gerar energia linear apenas em velocidades e rotações constantes.

5 – Conclusões

Os pontos destacados através das simulações demonstraram os aspectos de pressão e força exercido sobre o conjunto, considerando as velocidades iniciais de simulação, fatores importantes para análise do processo no estudo de implementação.

Para efeito de comparação foram apresentados dados de um conjunto eólico de pequeno porte já testado, para demonstração de valores obtidos de um protótipo real, com isso equiparar os dados reais aos dados obtidos através do teste e das simulações.

Um único teste com o protótipo adquirido foi realizado, com ele foi possível destacar os valores iniciais de rotação da turbina, com base nas velocidades do fluxo de ar, demonstrando resultados satisfatórios para aplicação.

Para demonstração de viabilidade foi utilizado o conjunto adquirido, e um gerador que atende os requisitos necessários para utilização, utilizando de base os valores fornecidos pelo gerador em comparação a capacidade de consumo de energia em alguns sistemas presentes no veículo.

A turbina simulada geraria uma potência de até 150W, sob efeito de velocidades do vento acima de 25 Km/h, permitindo auxiliar na alimentação de dispositivos como atuadores do motor ou faróis.

O teste prático ficou restrito apenas a obtenção dos valores de velocidades que geraram rotação na turbina, demais testes não foram possíveis de serem realizados devido a indisponibilidade do local de estudo.

Para estudos futuros sugere-se o desenvolvimento de uma turbina física, conforme descrita na seção 3.2, devem ser observados fatores importantes como: aerodinâmica criada pelo design da superfície do coletor de ar, turbina e elementos da carroceria do veículo, tipos de geradores, métodos de armazenamento, gerenciamento de energia, atuações do sistema.

Referências

ABEEólica, Brasil sobe no ranking mundial de capacidade instalada de energia eólica [Online] // ABEEólica. - 2017. - 25 de Maio de 2019. - <https://www.agsolve.com.br/noticias/10340/brasil-sobe-no-ranking-mundial-de-capacidade-instalada-de-energia-eolica>.

ABNT, NBR 7024 [Online] // ABNT. - 2017. - 22 de Outubro de 2019. - <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=372929>.

ALEIXO, Rafael Andruski Análise Do Consumo De Energia Em Veículos Elétricos Com Base Nas Suas Possíveis Configurações [Relatório]. - Paraná : [s.n.], 2018.

Alisson Alves dos Santos Daniel Silva RAMOS, Nilson Tadeu Fernandes dos SANTOS, Pedro Porto de OLIVEIRA, Projeto de Geração de Energia Eólica [Relatório]. - Santos : [s.n.], 2006.

AUTOPAPO, Entenda quais são os três tipos de carros híbridos [Online] // Autopapo. - 2018. - 24 de maio de 2019. - <https://autopapo.com.br/noticia/entenda-os-tres-tipos-de-carros-hibridos/>.

BOSCH, Bruno ANÁLISE AERODINÂMICA DE UM PROTÓTIPO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA POR SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL [Relatório]. - Paraná : [s.n.], 2016.

CAMPOS, Fabio Galizia Ribeiro De Geração De Energia a Partir de Fonte Eólica Com Gerador Assíncrono Conectado a Conversor Estático Duplo [Relatório]. - São Paulo : [s.n.], 2004.

DELGADO, Fernando Junior Morreira Viabilidade Técnica/Econômica Para Produção De Energia Eólica Em Grande Escala No Nordeste Brasileiro [Relatório]. - Minas Gerais : [s.n.], 2009.

ELETROVENTO, Sobre Energia Eólica [Online] // Eletrovento. - 2018. - 25 de Maio de 2019. - <http://www.eletrovento.com.br/pagina/saiba-mais/sobre-energia-eolica/47/>.

GWEC, GWEC [Online] // Global Wind Statistics. - 2017. - 24 de Maio de 2019. - https://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf.

JOHN WILEY E SONS INC, Fundamentals of fluid mechanics [Livro]. - São Paulo : EDGARD BLUCHER LTDA, 2004. - 85-212-0343-8.

LAB, Argonne Argonne Lab [Online] // <https://www.anl.gov/>. - Argonne Lab, 2017.

LARMINIE, James Explained, electric Vehicle Technology [Relatório]. - 2003.

MENDONÇA, Paulo Filipe Ferreira Concepção e Requisitos de um Sistema de Recarregamento de um Veículo Elétrico [Relatório]. - 2008.

OCP, Junto à WEG, Embraer segue investindo em tecnologia [Online] // OCP. - 2019. - 24 de Maio de 2019. - <https://ocp.news/economia/junto-a-weg-embraer-segue-investindo-em-tecnologia>.

OTEMPO, Novo tipo de bateria pode revolucionar o Mercado dos carros eletricos [Online] // OTEMPO. - 2018. - 25 de Maio de 2019. - <https://www.otempo.com.br/super-motor/novo-tipo-de-bateria-pode-revolucionar-o-mercado-dos-carros-el%C3%A9tricos-1.1609336>.

QUATRORODAS, Quatro Rodas [Online] // Quatro Rodas. - Quatro Rodas, 2017. - 19 de Dezembro de 2019. - <https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/qual-e-a-influencia-do-peso-no-consumo-de-um-automovel/>.

RAMOS, Marcio De Oliveira Estudo Das Melhores Práticas Da Aerodinâmica Veicular, Visando A Melhoria De Consumo De Combustível E Redução De

Emissões De Poluentes Aplicadas A Veículos De Passeio [Relatório]. - São Paulo : [s.n.], 2012.

Reparação Automotiva [Online] // Reparação Automotiva. - 08 de 07 de 2020. - <https://www.reparacaoautomotiva.com.br/single-post/2018/11/28/SISTEMADE-CARGA-Conheça-as-noções-básicas-do-seu-funcionamento>.

ROSILHO, Vinicius DIMINUIÇÃO DO ARRASTO AERODINÂMICO E ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL DE UM VEÍCULO DEVIDO A SUBSTITUIÇÃO DOS ESPELHOS RETROVISORES EXTERNOS POR CÂMERAS [Relatório]. - SÃO CAETANO DO SUL : [s.n.], 2013.

SCR, Evolução da energia eólica no Brasil [Online] // SCR. - 2017. - 24 de Maio de 2019. - <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas>.

USINAINFO, [Online] // UsinaInfo. - 2019 - <https://www.usinainfo.com.br/>