

EMIÇÃO E COMPENSAÇÃO DE CARBONO DE MOTORES ELÉTRICOS E DE COMBUSTÃO EM AERONAVES DE COMPETIÇÃO DE AERODESIGN

MAX STOCKHAUSENN, *MURILO BASSETO, PEDRO FONSECA
MARINHO & TIAGO ANDRADE DA SILVA

Faculdade de Engenharia Mecânica, Graduação – UNICAMP
E-mail: murilobasseto@yahoo.com.br

RESUMO: O objetivo do estudo é compensar a emissão de carbono produzido durante as competições de aerodesign da SAE. O consumo dos motores a combustão foi avaliado em túnel de vento e a potência dos motores elétricos foi medida. Usando-se de estudos e hipóteses, chegou-se a uma quantidade mínima de árvores tropicais que devem ser plantadas por competição, para a absorção do gás carbono emitido. Os resultados obtidos foram: plantio de 1,2 árvore/ano para a compensação de toda a competição brasileira (com motores a combustão) e plantio de 0,9 árvore/ano para a compensação de toda a competição internacional (motor elétrico). Ou seja, o uso de motores elétricos emite menos carbono e se as cerimônias de finalização das competições envolvessem o plantio de duas árvores, as emissões já seriam compensadas e o desenvolvimento promovido por elas resultaria em mais sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: gás carbônico, compensação de carbono, plantio de árvores.

CARBON EMISSION AND COMPENSATION FOR ELECTRIC AND COMBUSTION MOTORS USED IN AERODESIGN COMPETITION AIRCRAFT

ABSTRACT: The objective of the study is to offset the carbon emissions produced during the SAE Aero Design competitions. The consumption of combustion engines was evaluated in a wind tunnel and the power of electric motors was measured. Using studies and hypotheses, we have reached a minimum level of tropical trees should be planted by competing for absorption of carbon gas emitted. The results were: tree planting 1.2 / year to offset all the Brazilian competition (with combustion engines) and tree planting 0.9 / year to offset the international competition (electric motor). The use so of electric motors emit less carbon and if the ceremonies for the winners involved the planting of two trees, the emissions would be offset and the development promoted by this measure would result in more sustainability.

KEYWORDS: carbon dioxide, carbon offset, tree planting.

INTRODUÇÃO

A equipe Urubus Aerodesign, da UNICAMP, participou em 2013 das competições de aerodesign do Brasil e dos Estados Unidos, que foram organizadas, respectivamente, pela SAE Brasil e SAE *International* (SAE- Brasil, 2013 e SAE- International, 2013). Apesar da similaridade das competições, que propõem que se projete e construa uma aeronave rádio controlada (Figura 1), o regulamento da competição brasileira determinou o uso de motores à combustão, enquanto o da norte-

americana determinou o uso de motores elétricos. Essa diferença serviu de motivação para a análise comparativa entre o uso dos dois tipos de motores pelas dezenas de aeronaves das duas competições.

Os motores a combustão interna são padronizados pelo REGULAMENTO SAE BRASIL AERODESIGN (2013) de modo a tornar a competição mais homogênea. Segundo MORAN & SHAPIRO (2006), em reações de combustão a rápida oxidação dos elementos do combustível resulta em liberação de energia à

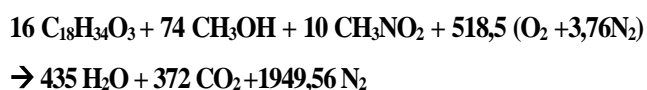
medida que os produtos da combustão são formados.



Figura 1. Aeronave típica de uma competição de *Aerodesign* (imagem cedida pela equipe Urubus)

No caso do motor da competição de *Aerodesign*, o combustível, também determinado pelo regulamento, é uma mistura de 74% de metanol (CH₃OH), 16% de óleo de rícino (que pode ser considerado como ácido ricinoleico C₁₈H₃₄O₃) e 10% de nitrometano (CH₃NO₂), em proporções volumétricas.

Para a avaliação das emissões, balanceando-se a reação de queima do combustível de acordo com MORAN & SHAPIRO (2006), são obtidos os coeficientes a seguir:



Isso significa que cada 100 ml de combustível emitem 372 ml de CO₂. Para a construção desta equação, foram assumidas as seguintes hipóteses simplificadoras: combustão completa, reação estequiométrica, além de o ar ser tomado como uma mistura de 69% de N₂ e 21% de O₂.

Foram realizados ensaios de motor no túnel de vento da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM-UNICAMP), juntamente com a

equipe Urubus Aerodesign, para simular o consumo de combustível em voo, objetivando-se a obtenção do volume de CO₂ emitido a ser compensado pelo plantio de árvores.

Para o motor elétrico, padronizado pelo REGULAMENTO SAE INTERNATIONAL AERODESIGN EAST (2014), os ensaios revelaram dados de potência que, aliados ao tempo de voo de cada equipe, permitem o cálculo da energia elétrica consumida. A energia elétrica que seria fornecida pela rede de distribuição de energia durante o carregamento das baterias, pode ser convertida em quilogramas de carbono emitido através da calculadora de carbono desenvolvida pela CARBON TRUST (2013), uma organização que auxilia os setores privado e público ao redor do mundo na redução de emissões de carbono e de consumo de energia.

Por fim, DOMBRO (2011) disponibiliza, em uma matéria no site da organização Tree-Nation, um valor aproximado para a quantidade de CO₂ absorvida por uma árvore tropical, totalizando 22,6 kg por ano. Esse valor será utilizado como referência para a estimativa do número de árvores necessário à compensação do carbono emitido pelas aeronaves durante as competições.

Pretende-se, assim, descobrir as consequências ambientais do uso de cada opção de motor em relação à emissão de poluentes na combustão e ao consumo de energia elétrica, determinando-se a quantidade de CO₂ emitido por cada uma. Com os resultados também será

possível estimar o plantio de árvores necessário à compensação de emissões de carbono de cada opção.

MATERIAL E MÉTODOS

Para os ensaios dos motores no túnel de vento da FEM-UNICAMP foi preparada uma plataforma deslizante, uma vez que a equipe Urubus aproveitaria o ensaio de consumo para obter dados de tração do motor. Assim, uma balança digital do tipo dinamômetro foi presa na plataforma para a indicação da tração.

Para o levantamento do consumo do motor a combustão, utilizou-se de um tanque transparente para a visualização do nível de combustível, sendo este tanque dotado de uma graduação vertical com marcações a cada 10 ml. A Figura 2 apresenta uma imagem do momento do ensaio, na qual se notam os detalhes citados.

Para o motor elétrico, o aparato padrão de alimentação de combustível deu lugar ao sistema elétrico padrão de aeromodelos elétricos, e a medida de consumo de potência foi realizada através de um wattímetro digital indicando a potência fornecida ao motor.

O motor a combustão utilizado foi o OS .61FX, modelo padrão da competição brasileira de Aerodesign, com a hélice APC 13x4, modelo amplamente utilizado pela maioria das equipes. O motor elétrico utilizado foi o Scorpion SII-4020-630 com a hélice APC 16x8E, ambos os modelos empregados pela equipe Urubus na competição norte-americana.

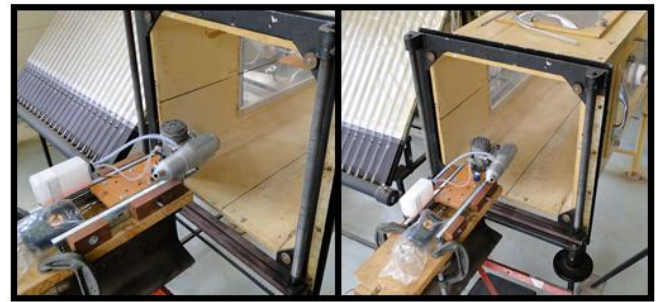


Figura 2. Montagem experimental na saída do túnel de vento durante os ensaios.

Durante os ensaios, media-se a velocidade de saída do vento na boca do túnel através de um anemômetro digital, para o ajuste da correta velocidade referente ao voo da aeronave. Após esse ajuste de velocidade, posicionava-se o plano de rotação da hélice coincidente com o plano de saída do túnel de vento e iniciava-se a sequência de medidas de consumo.

Para o consumo de combustível, media-se com um cronômetro digital o tempo com que o nível baixava 3 graduações (30 ml). O procedimento de utilizar três graduações ao invés de uma foi adotado por resultar em menor erro experimental devido ao maior intervalo de tempo na medida.

Para o consumo de potência, verificava-se uma lenta queda do valor indicado pelo wattímetro ao longo do tempo. Com isso, definia-se um intervalo de tempo e media-se a potência no início e no final do intervalo, tirando-se a média aritmética dos dois valores para a obtenção da potência média no intervalo. Sucessivas medidas com ambos os motores permitiram chegar aos resultados apresentados na seção seguinte.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta os dados experimentais para o motor a combustão. Os ensaios foram feitos com as velocidades mínima e máxima de voo. Os resultados indicam consumo de 16,4 ml de combustível para cada minuto de voo em potência máxima a 14 m/s. Apesar do maior consumo para a velocidade de 10 m/s, a condição de velocidade a 14 m/s é a que se mostra presente na quase totalidade dos voos comuns durante testes das equipes e ao longo da competição, pois representa o desempenho da aeronave na condição de maior carga possível, objetivo principal da competição.

Tabela 1. Resultados experimentais do ensaio de consumo de combustível do motor elétrico no túnel de vento.

Velocidade [m/s]	10	14
Consumo [ml/min]	17,4	16,4

A Tabela 2 lista os resultados do ensaio do motor elétrico. Observa-se que o consumo de potência médio é de 1265,5 W para a mesma condição de voo de 14 m/s em potência máxima.

Tabela 2. Resultados experimentais do ensaio de consumo de potência do motor elétrico no túnel de vento.

Velocidade [m/s]	10	14
Consumo [Watts]	1303,5	1265,5

Obtidos os dados desejados de consumo de ambos os motores, prosseguiu-se com a ampliação dos resultados para a realidade da competição como um todo, uma vez que a emissão de poluentes de uma única equipe é irrisória para a conversão em plantio de árvores para captura de carbono.

Foi considerado um total de 10 voos por equipe, sendo cinco voos da competição somados a uma média de cinco voos de teste que as equipes costumam realizar ao longo da preparação da aeronave. Cada voo dura em média três minutos, e, consideram-se as 75 equipes participantes, chega-se a 2250 minutos para o total de voos por ano de todas as equipes. Multiplicando-se esse valor pelos consumos experimentais medidos, são obtidos 36,9 litros de combustível para o motor a combustão e 47,5 kWh para o motor elétrico, ambos os valores para um ano completo de competição.

Utilizando-se então a reação química desenvolvida no início deste artigo e a densidade de 1,977 g/l do gás carbônico à pressão de 1 atm obtida na WIKIPEDIA (2014), o consumo volumétrico de combustível é transformado em massa de gás carbônico emitido, totalizando 27,6 kg.

Baseando-se na conversão indicada por DOMBRO (2011), tem-se o resultado final de 1,2 árvores por ano para a captura de toda a emissão de carbono de uma competição de *Aerodesign* movida a motores de combustão interna.

Com o resultado do motor elétrico, de acordo com a conversão da CARBON TRUST (2013), tem-se um total de 21,1 kg de gás carbônico para a produção dos 47,5 kWh de energia. Novamente baseando-se em DOMBRO (2011), determina-se o total de 0,9 árvores por ano para a captura de toda a emissão de carbono

de uma competição de *Aerodesign* movida a motores elétricos.

Dessa forma, torna-se possível obter conclusões interessantes sobre a comparação entre as duas opções de motorização das competições de *Aerodesign*.

Em primeiro lugar, temos evidências de que o impacto ambiental da operação das aeronaves de todas as equipes ao longo de cada ano é pouco significativo, uma vez que o plantio de árvores é bastante reduzido para a compensação das emissões. Se as organizações de cada uma das competições adotarem como parte de sua programação um momento para o plantio de duas árvores, a competição se tornará 100% ecológica no que diz respeito à compensação da emissão das aeronaves. Esse resultado foi compartilhado com a equipe Urubus Aerodesign com o intuito de incentivar a compensação de suas emissões, uma vez que o plantio de uma única árvore ao ano compensa não apenas as emissões próprias da equipe, mas também a emissão de quase todas as equipes participantes.

Em segundo lugar, confirmam-se as expectativas de que alternativas elétricas de propulsão são ambientalmente mais adequadas, pois nota-se uma redução em torno de 30% na massa de gás carbônico emitida na substituição de motores à combustão por motores elétricos ao longo de um ano de competição.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe Urubus Aerodesign pelo tempo e material fornecidos durante o compartilhamento de seus ensaios para a competição de 2014 (motores, bancadas e referências), e à Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP pela liberação do túnel de vento e do pessoal técnico de apoio à operação do equipamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARBON TRUST, 2013. Conversion Factors, Energy and Carbon Conversions. Disponível em: http://www.carbontrust.com/media/18223/ctl153_conversion_factors.pdf. Acessado em: 01 de junho de 2014.
- DOMBRO, B. D., 2011. How much carbon does a tropical tree sequester? Disponível em: http://www.tree-nation.com/public/documents/tropical_tree_sequestration_co2_tree-nation.pdf. Acessado em: 01 de junho de 2014.
- MORAN, M. J. & SHAPIRO, H. N. Princípios de Termodinâmica para Engenharia, Rio de Janeiro, LTC, 2006, 800 p.
- REGULAMENTO SAE BRASIL AERODESIGN, 2013. Disponível em: http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/aero2013/Regras.aspx. Acesso em: 16 de maio de 2014.
- REGULAMENTO SAE INTERNATIONAL AERODESIGN EAST, 2014. Disponível em: <http://students.sae.org/competitions/aerodesign/rules/>. Acesso em: 16 de maio de 2014.
- SAE-Brasil, 2013 – Anúncio da Prova. Disponível em: www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/formula2013/
- SAE-Internacional, 2013. Formula SAE® Series. Disponível em: www.students.sae.org/cds/formulaseries
- WIKIPEDIA, 2014. Dióxido de Carbono. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Dióxido_de_carbono Acesso em: 16 de maio de 2014.