Combustível *Jet Propellant 8* ou Combustíveis Alternativos:

A Perspectiva do Ciclo-de-vida

TENCEL PETER P. FENG, *PE, PHD, USAF*
MAJ WAYNE C. KINSEL, *USAF*
ALFRED E. THAL, *PHD*
CHARLES A. BLECKMANN, *PHD**

NO DEPARTAMENTO DE Defesa *[Department of Defense – DoD]*, a Força Aérea é a maior consumidora de combustível de jato, queimando 2,4 bilhões de galões por ano.[1] Devido ao impacto ambiental associado à fontes de combustível não-renovável e inquietudes de segurança nacional acerca da dependência em petróleo estrangeiro, não surpreende o fato de que os Estados Unidos estejam prestando maior atenção a combustíveis alternativos. As estratégias energéticas do *DoD* e da Força Aérea dirigem-se à necessidade de desenvolver e produzir tais combustíveis. O *DoD* está empenhado em segurança energética, estabelecendo uma iniciativa que "tenta modernizar a infraestrutura, aumentar a utilidade e conservação de energia, realçar a redução em demanda e produzir maior flexibilidade, economizando, assim, os dólares dos contribuintes e reduzindo emissões que aumentam a poluição e afetam a mudança de clima global."[2] Tal iniciativa possui os seguintes quatro objetivos:

1. Manter ou realçar a *eficácia operacional*, reduzindo, ao mesmo tempo, a demanda total da força em energia
2. Aumentar a *resiliência* estratégica energética, criando combustíveis e energia alternativa garantida
3. Realçar a eficácia operacional e comercial, fazendo com que as considerações e soluções energéticas da instituição façam parte do planejamento e processos comerciais do *DoD*
4. Estabelecer e monitorar a *métrica* energética em todo o Departamento (grifo no original)[3]

Juntamente com as tentativas do *DoD*, a iniciativa da Força Aérea exibe um conceito complementar: "Faturar a Energia em Tudo."[4] O três componentes que seguem refletem tal conceito:

1. *Reduzir a Demanda:* aumentar a eficiência, conservando energia e reduzindo o uso, bem como conscientizar os indiví-

---

O Tenente Coronel Feng, Engenheiro Profissional Registrado, é Catedrático Assistente no Instituto de Tecnologia da Força Aérea [*Air Force Institute of Technology – AFIT*]. Recebeu o Doutorado da Universidade da Califórnia-Berkeley. O Major Kinsel é o Chefe da *Facility Energy Team for Headquarters Air Force Materiel Command,* A6/7 - Comunicações, Instalações e Apoio à Missão na Base Aérea Wright-Patterson em Ohio. Foi o Comandante de Operações de Voo, Comandante de Engenharia de Voo, Chefe de Desenvolvimento da Base e Engenheiro Civil Projetista no grupo de Engenharia Civil da Força Aérea. O Dr. Thal é Catedrático Associado de Gerenciamento de Engenharia no *AFIT*. Oficial Reformado-Engenheiro Civil da Força Aérea, sua pesquisa inclui inovação, sustentabilidade e gerenciamento de projetos. O Dr. Bleckmann é Catedrático de Gerenciamento Ambiental no *AFIT*. Sua pesquisa inclui biodegradação e reconciliação de hidrocarbonetos, biodegradação de combustíveis oxigenados, contaminação micróbica de combustíveis, teias de aranha como monitores ambientais e alga como fonte de biocombustíveis

duos acerca da necessidade da redução em consumo.

2. *Aumentar a Oferta*: através de pesquisa, provas e certificação de nova tecnologia, inclusive fontes renováveis, alternativas e tradicionais, fazendo com que a *USAF* desenvolva *novas fontes domésticas* de suprimento.
3. *Mudar Hábitos:* a Força Aérea deve instituir novos hábitos, fazendo com que todos os Militares faturem a energia em tudo que fazem.[5]

Este artigo aborda o segundo componente de nossa estratégia e a perseguição de objetivo específico: "Estarmos preparados, até 2016, a adquirir, através de custo competitivo, 50% dos requisitos de combustível de jato para a aviação doméstica, via mescla de combustível alternativo no qual o componente alternativo é derivado de fontes domésticas, produzido de forma "mais verde" do que os combustíveis derivados de petróleo convencional.[6] Surgem várias questões a respeito. Obviamente, a busca e aquisição de combustíveis "mais verdes" é nobre aspiração, mas como avaliá-los de forma apropriada? Neste contexto, o que significa, realmente, o termo *mais verde*? Como avaliar se certo biocombustível é mais verde do que o *jet propellant 8 (JP-8)* atualmente em uso? A fim de responder a essas perguntas, este artigo utiliza a perspectiva do ciclo-de-vida, uma vez que muitos sistemas modernos são complexos e possuem processos e atividades interdependentes. Assim, este estudo fornece material de referência relevante acerca de biocombustíveis e utiliza a abordagem da Avaliação Econômica do Ciclo-de-Vida de Insumo-Rendimento *[Economic Input-Output Life Cycle Assessment – EIO-LCA]*, a fim de comparar o combustível de jato derivado do petróleo (*i.e.*, *JP-8*) com um combustível alternativo derivado de processo de carvão-biomassa-a-líquido *[coal-biomass-to-liquid – CBTL]*. A metodologia *EIO-LCA* compara o potencial do aquecimento *[global warming potential – GWP]* daqueles dois tipos de combustível durante seus ciclos-de-vida completos. Os resultados da *EIO-LCA* outorgam aos líderes da Força a base para avaliar modos alternativos para colocar em execução a estratégia energética.

Referência

Antes de apresentar e falar a respeito dos resultados da *EIO-LCA*, o artigo dirige-se a: problemas ambientais associados à queima de combustível; define e caracteriza os diferentes tipos de combustível alternativo, inclusive o combustível alternativo proposto pela Força; e descreve as avaliações dos ciclos-de-vida *(LCA)*.

Considerações Ambientais

Os gases estufa *[Greenhouse Gases – GHG]* prendem o calor na atmosfera terrestre. De acordo com Administração de Informação Energética *[Energy Information Administration]*, "Esses gases permitem a livre penetração da luz solar na atmosfera. Quando a luz solar toca a superfície terrestre, parte é radiada, uma vez mais, de volta ao espaço em forma de radiação infravermelha (calor). Os gases estufa absorvem essa radiação infravermelha e prendem seu calor na atmosfera."[7] Alguns *GHGs* ocorrem naturalmente, mas fontes humanas tendem a aumentar os níveis desses gases. O dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e gases fluorados são os gases principais *(GHGs)* que penetram a atmosfera terrestre, devido a atividades humanas, principalmente como o resultado da queima de combustíveis fósseis.[8]

Combustível Alternativo

De acordo com o *DoD*, "o termo combustível 'alternativo' é utilizado para diferenciar entre combustível de jato tipo *diesel*, derivado de petróleo cru e combustível sintético produzido de combustível não-cru. Um combustível alternativo deve emular a linha de base das propriedades do combustível, a fim de aumentar a fungibilidade do equipamento militar."[9] Para receberem certificação, os combustíveis alternativos devem rivalizar as propriedades do *JP-8* (i.e., produzir a mesma quantidade de energia por unidade), a fim de assegurar que não existe degradação em segurança de voo.

O programa de combustível alternativo da Força Aérea busca produzir um combustível de jato à base de hidrocarbonetos que seja 100 por cento *"drop-in"* ou mescla básica para combustível de jato *[jet fuel blend stock]*. O termo *drop-in* indica que o combustível é completamente intercambiável com os combustíveis de aviação agora disponíveis, tanto em desempenho quanto em manuseio, para que não exista qualquer degradação em segurança de voo. Normalmente, uma mescla básica consiste em mescla de 50 por cento de hidrocarboneto (combustível alternativo) e combustível de aviação derivado de petróleo.[10] Independente da situação de *drop-in* ou mescla básica, os combustíveis alternativos normalmente são criados pelo uso de biomassa. Os pesquisadores atualmente investigam três tipos principais de biomassa para produzir combustíveis para veículos terrestres e jatos: açúcares e amidos; gorduras e óleos; e material "lignocelulósico". O milho é um tipo de amido amplamente utilizado para a produção de etanol nos Estados Unidos. Contudo, não podemos utilizar etanol em combustível de jato, devido a seu baixo ponto de ignição e calor de combustão.[11] Frequentemente produzimos bio*diesel* de triglicerídeos, *i.e.*, gordura de óleos de sementes, um combustível apropriado para veículos terrestres mas não para aeronaves. Finalmente, o painço amarelo é uma biomassa lignocelulósica usada na produção de combustível para aviação. Nossa análise enfoca-se em combustíveis derivados desse tipo de biomassa.

Os peritos ainda debatem se os biocombustíveis são melhores para o ambiente do que aqueles derivados de petróleo. Os que se opõe aos primeiros consideram os mesmos prejudiciais ao ambiente. Por exemplo, Timothy Searchinger, um bolsista da Universidade de Princeton *[Woodrow Wilson School]* estudioso e pesquisador em biocombustíveis, nota que "resultados anteriores" [análises] eram arbitrários, porque enumeravam os benefícios do carbono ao utilizar o solo para a produção de biocombustíveis mas não os custos do carbono, sua armazenagem e o sequestro que se sacrificam quando fazemos uso do solo para esse tipo de produção."[12] Se florestas ou campinas forem convertidas para a produção de biocombustível, a conversão libera o carbono anteriormente armazenado em árvores e outras plantas na atmosfera.

Aqueles que defendem os biocombustíveis asseveram que a produção de biomassa resultará em créditos de carbono. Bent Sørensen, um pesquisador de biocombustível da Universidade de Roskilde na Dinamarca discorda, alegando que "Searchinger sugere . . . que seria mais erudito explicar toda a assimilação e liberação de carbono em função de tempo, em lugar de considerar a biomassa carbono neutro. Alguns dentre esses mesmos autores recentemente atacaram os 'biocombustíveis de segunda geração', calculando que, dentro em pouco serão derivados inteiramente de materiais celulósicos cultivados em terreno marginal." Sørensen alega ainda que os materiais celulósicos serão provenientes de resíduos de operações de cultivo da biomassa já existentes, que ocorrem ao redor do mundo, sem criar, assim, maiores emissões de carbono.[13]

A nossa análise levou em consideração o fato de que o painço amarelo seria a biomassa para combustível de jato *CBTL*. Em nossa suposição, o painço amarelo provém de solo marginal ou degradado e não se encaixa à categoria descrita por Searchinger de alteração em uso de solo, a fim de produzir a biomassa celulósica.[14] Dessa forma, atribuímos um crédito de carbono à porção do combustível de jato *CBTL* preenchido pelo painço amarelo. De acordo com o relatório do Instituto de Pesquisa da Universidade de Dayton *[University of Dayton Research Institute]*, pode-se obter 15 por cento de crédito de carbono de *GHGs* emitido pelo painço amarelo com uma *LCA,* utilizando biomassa para produzir combustíveis de jato *Fischer-Tropsch (FT).* [15] O processo *FT* converte o monóxido de carbono (CO) e o hidrogênio (H_2) derivado do carvão, gás natural ou biomassa em combustíveis líquidos, tais como combustível *diesel* ou para jato. O relatório do Instituto de Pesquisa outorga um crédito *GHC* de equivalentes por tonelada de biomassa ao painço amarelo.[16] Essa informação é vital ao se levar a cabo uma LCA.

Avaliação de Ciclo-de-Vida

A *LCA* é uma técnica analítica holística para avaliar os efeitos do ambiente através do ciclo-de-vida de qualquer produto, processo ou atividade. Em sua forma mais pura, a avaliação inicia com a extração inicial da matéria-prima do solo e termina uma vez que toda a matéria regressa, uma vez mais, ao solo. Normalmente denominada de abordagem de berço-ao-túmulo, o ciclo-de-vida inclui cinco fases (fig. 1). Esses tipos de abordagens de ciclos-de-vida "ajudam-nos a encontrar meios de gerar a energia que necessitamos sem esgotar a fonte e sem liberar gases-estufa que contribuem à mudança de clima."[17]

Dessa forma, os modelos de *LCA* são ferramentas importantes que facilitam métodos para diversos projetos verdes.[18] Também oferecem às autoridades competentes outros dados que facilitam a definição de efeitos ambientais para diferentes atividades e identificam as oportunidades de melhorias. Apesar de grande número de variedades, existem três modelos básicos de *LCAs*. Aqueles baseados em: processo; insumo-rendimento econômico; e híbrido. Geralmente, esses modelos utilizam inventários de emissões e recursos ambientais similares, a fim de determinar a carga de responsabilidade ambiental correspondente a qualquer produto, processo ou atividade. Contudo, consideram-se os modelos da *EIO-LCA* os mais vantajosos se o importante é o custo de utilização, fluxo de reação ou rapidez de análise.[19]

A Avaliação do Ciclo-de-Vida Baseada em Processo

Divide um produto ou serviço em partes menores e traça cada uma à sua origem. Esse tipo de *LCA* oferece impactos ambientais precisos de produto ou serviço. Contudo, dois problemas acompanham tal processo: os limites da análise e os efeitos de circularidade. Devido a dificuldade em se captar todo um processo e todos os sub-processos, os pesquisadores devem exercer muito cuidado ao determinar os limites daquilo que excluirão da análise. O efeito de circularidade significa que leva muita "coisa" para produzir outra "coisa". Por exemplo, "a fabricação de um copinho de papel requer maquinária de aço. Mas, a fabricação da maquinária de aço requer outra maquinária e ferramentas feitas de aço. A fabricação do aço, em si, também requer maquinária, é claro, também feita de aço. Devemos completar a avaliação do ciclo-de-vida de todos os materiais e processos por completo, antes de avaliá-los individualmente."[20]

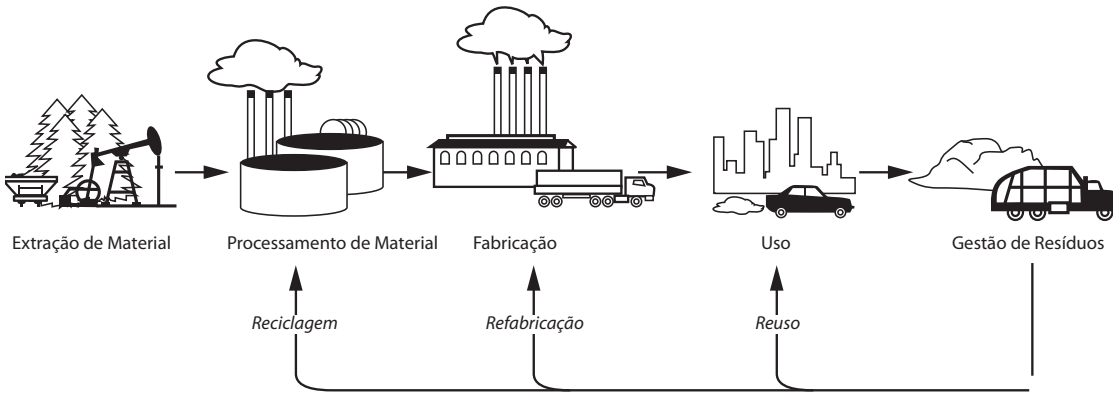

Figura 1. As fases de avaliação do ciclo-de-vida. (Reimpresso de publicação do *Congress of the United States, Office of Technology Assessment, Green Products by Design: Choices for a Cleaner Environment* [Washington, DC: *Congress of the United States, Office of Technology Assessment*, setembro de 1992], 4.)

Avaliação Econômica do Ciclo-de-Vida do Insumo-Rendimento

Essa abordagem econômica insumo/rendimento [*economic input-output (EIO)*] incorpora dados econômicos do *US Bureau of Economic Analysis* e dados ambientais da Agência de Proteção ao Ambiente *[Environmental Protection Agency]* e do Departamento de Energia *[Department of Energy – DoE]*. O modelo *EIO-LCA* é baseado no modelo *EIO* de Wassily Leontief que conquistou o Prêmio Nobel.[20] De acordo com Chris Hendrickson, um Catedrático de Engenharia da Universidade Carnegie Mellon, Leontief propôs um modelo geral de equilíbrio que requer a especificação de insumos que todo setor econômico necessita de todos os outros setores para produzir uma unidade de resultado. Seu modelo é baseado em suposição que torna perfeitamente claro o fato de que aumentar o rendimento de mercadorias e serviços em qualquer setor requer o aumento proporcional de cada insumo recebido de todos os outros setores. A atual matriz de *EIO* resultante foi calculada para as nações desenvolvidas e muitas economias industrializadas.[22]

O modelo *EIO-LCA* utiliza matrizes *EIO* e dados de consumo de recursos do setor industrial e ambientais, a fim de avaliar os impactos ambientais dos produtos e processos em toda a economia.[23] A abordagem simplifica a natureza complexa de *LCAs*, utilizando formulas matemáticas para converter as transações monetárias entre os setores industriais em impacto ambiental.[24] Os modelos *EIO-LCA* identificam os efeitos ambientais diretos, indiretos e totais, devido a produção e consumo de mercadorias e serviços. Os efeitos totais são a soma de efeitos diretos e indiretos.[25]

Avaliação de Ciclo-de-Vida Híbrido

Um modelo híbrido integra uma *LCA* baseada em processos à *EIO-LCA*, a fim de produzir dados mais precisos de dado item ou processo; quando a informação não se encontra disponível, pode-se utilizar a *EIO-LCA*. Por exemplo, pode-se talvez conhecer o impacto ambiental da fase de uso de um copinho de papel, mas não o impacto da fase de extração. Naquele caso, os analistas empregariam a informação específica para a fase de utilização, empregando, então, o modelo *EIO-LCA* para calcular os dados para as outras fases. Nossa análise empregou um modelo *LCA* híbrido.

Como Determinar "Quão Verde" é Dado Combustível

O Departamento de Energia relatou, em janeiro de 2009, que os combustíveis *CBTL* podem competir economicamente com os atuais combustíveis derivados de petróleo. Especificamente, um processo *CBTL* utilizando uma mescla de 8 por cento (por peso) de biomassa e 92 por cento (por peso) de carvão produziria combustíveis economicamente competitivos, quando os preços do petróleo cru igualam ou excedem 93 dólares por barril. Além do mais, os combustíveis *CBTL* possuem um ciclo-de-vida de emissões 20 por cento mais baixo do que os derivados de petróleo. Até mesmo se o *CBTL* não for economicamente competitivo, o relatório notou que possui duas vantagens óbvias: (1) emissões *GHC* mais baixas; e (2) pode ser produzido de fontes domésticas, limitando assim, a quantidade de petróleo cru estrangeiro importada pelos Estados Unidos.[26]

O processo *CBTL* utiliza tecnologia existente para converter o carvão e a biomassa em combustível líquido: gasificação, síntese *FT* , captação e armazenagem de carbono. A gasificação converte o carvão e a biomassa em CO e H_2, uma mescla normalmente denominada *singás*. A síntese *FT* aplica calor e pressão à *singás* em presença de catalisador, tais como cobalto, a fim de criar combustível líquido.[27] O derivado CO_2 que resulta é captado e armazenado via processo não dispendioso, denominado sequestro de carbono, que promove a acessibilidade econômica do combustível alternativo e emissão de *GHG* mais baixa. O resultante CO tóxico é utilizado como combustível para gerar o calor necessário à reação

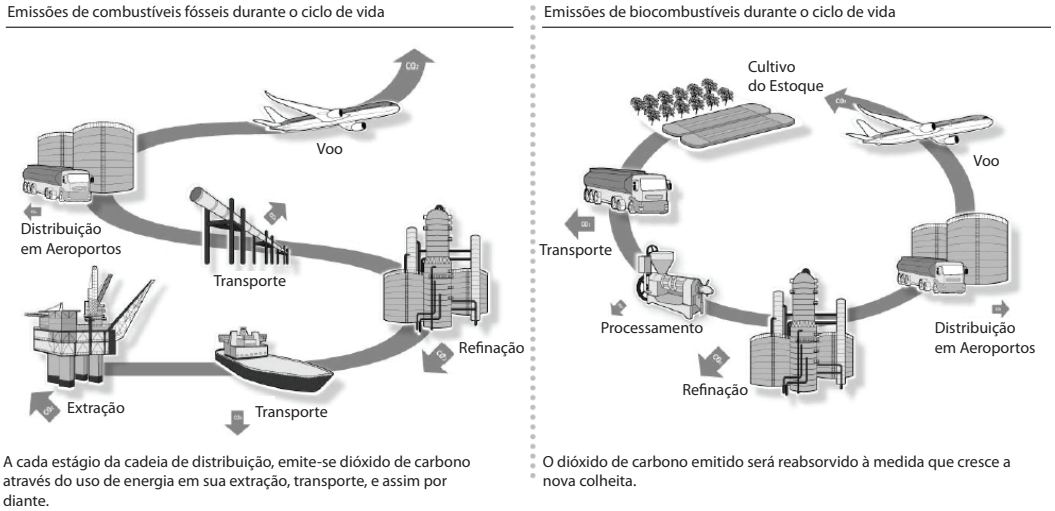

Figura 2. Emissões CO_2 durante o ciclo-de-vida (Reimpresso sob permissão do *Air Transport Action Group*, *Beginner's Guide to Aviation Biofuels* [Genebra, Suíça: *Air Transport Action Group, May 2009*], 3, http://www.enviro.aero/Content/Upload/File/BeginnersGuide_Biofuels_WebRes.pdf.)

química. A Figura 2 demonstra os ciclos-de-vida típicos de combustível de jato comum derivado de combustível fóssil (tais como combustível de jato derivado de petróleo cru) e um biocombustível (tais como combustíveis de jato de biomassa-a-líquido).

Teoricamente, os combustíveis de jato derivados de biomassa resultam em emissões mais baixas de CO_2 durante todo o ciclo-de-vida. O CO_2 absorvido pelas plantas durante a fase de cultivo da biomassa é equivalente, aproximadamente, ao CO_2 liberado na atmosfera durante a queima do biocombustível. Embora os biocombustíveis não sejam "carbono neutros", pois é necessário a utilização de energia para movimentar o equipamento requerido para cultivar, extrair, transportar e processar a biomassa, a quantia total de CO_2 liberada na atmosfera pela produção e utilização de biocombustível é, em teoria, muito mais baixa do que aquela liberada por combustível derivado de petróleo ou de outros combustíveis fósseis.[28] O combustível alternativo que analisamos (derivado de processo *CBTL*) não possui o mesmo potencial de carbono-neutro do que aquele derivado inteiramente de biomassa, porque grande porcentagem de combustível derivado do processo *CBTL* é derivado de carvão. Contudo, em teoria, os combustíveis de jato derivados do processo *CBTL* causariam menor impacto ao ambiente do que o *JP-8*, devido a porcentagem de conteúdo de biomassa.

As fases do ciclo-de-vida estudadas em nossa análise incluíram extração de matéria-prima (mineração/agricultura), seu processamento (refinação/*FT*), e o uso de combustível de jato (queima durante o voo) (ver fig. 1). O transporte de material entre essas fases e seu impacto ambiental são captados internamente pela *EIO-LCA* via inter-relações econômicas e incorporados ao *GWP* total dos rendimentos da emissão *GHG* de cada fase. Os autores assumem que os combustíveis de jato *JP-8* e *CBTL* emitem a mesma quantidade total de *GHGs* na fase *LCA* da utilização de combustível de jato. De acordo com Administração de Dados Energéticos *[Energy Information Administration]*, o total de *GWP* dos *GHGs* emitidos durante a fase de utilização é, normalmente, 84 por cento do *GWP* total dos *GHGs* emitidos durante o ciclo-de-vida total de combustíveis de jato derivados de querosene.[29] Levamos em consideração o fato de que a fase de disposição final não existe, uma vez que a aeronave queima o combustível e nada resta a descartar após o gasto da fonte de energia.

Necessitamos apresentar certas advertências, referentes ao modelo analítico híbrido. A base de dados *EIO-LCA* que utilizamos continha dados de 2002, que talvez não reflitam a realidade da economia de 2011.[30] Embora certo número de indústrias ainda utilizem os mesmos processos de 2002, muitas passaram a processos mais eficientes que mudam o índice de impacto ambiental. Por exemplo, a mineração de carvão, em geral, utiliza a mesma tecnologia de 2002, enquanto que os veículos, tais como os novos híbridos são mais eficientes do que os que utilizam combustível padrão.[31] A precisão e abrangência desta base de dados são, assim, incertas, o que se traduz em ambivalência acerca da metodologia *EIO-LCA*. Além disso, o processo *FT* que produz combustível de jato sintético não existia em 2002. Dessa forma, os autores calcularam o custo da produção de combustíveis *CBTL* via processo *FT* para estimar o *GWP* que se deve aos *GHGs*. Apesar dessas incertezas no emprego da *EIO-LCA* para comparar o *JP-8* ao *CBTL*, o processo oferece às autoridades competentes uma estimativa do combustível de jato mais verde.

Para utilizar o modelo *EIO-LCA*, devemos, primeiro, determinar o custo dos recursos requeridos para o produto, processo ou serviço durante a fase do ciclo-de-vida sob avaliação. Durante esse processo, a ferramenta *EIO-LCA* é aplicada à fase de extração da matéria de ambos os combustíveis. Para a fase de processamento de material, o modelo *EIO-LCA* é aplicável somente ao combustível *JP-8*. Não é aplicável ao combustível *CBTL*, porque o processo de síntese do *FT* não faz parte de indústria padrão nos Estados Unidos. Assim, não existe indústria ou setor apropriado para representar essa fase no modelo *EIO-LCA*. Finalmente, não incluímos a fase *LCA* de utilização de combustível de jato para ambos os combustíveis, porque assumimos que os combustíveis possuem o mesmo total de *GWP*.

Custos do Combustível JP-8

O custo total do típico combustível *diesel* resulta da soma de quatro categorias de custos. Ao empregarmos o preço a varejo de 2,80 dólares por galão em outubro de 2010, descobrimos que essas categorias incluíam 17 por cento em impostos, 12 por cento em distribuição e publicidade, 6 por cento em refinação e 65 por cento em petróleo cru.[32] Os autores calcularam o custo associado à extração de matéria-prima e processamento para o *JP-8*. Uma vez que a Força Aérea gastou 6,7 bilhões de dólares em combustível de jato em 2008, calculamos que o custo de extração de matéria-prima (o valor do petróleo cru) e a refinação custaram aproximadamente 4,4 bilhões e 402 milhões, respectivamente.[33] Os setores da base de dados detalhados da *EIO-LCA* que selecionamos para esses custos foram a "extração de petróleo e gás" e as "refinarias de petróleo."

Custos para a Sequência Carvão-Biomassa-a-Combustível Líquido

O combustível de jato *CBTL* analisado continha 8 por cento (por peso) de biomassa e 92 por cento (por peso) de carvão. Baseados no consumo da Força Aérea de 2,4 bilhões de galões em 2008, para alcançar a meta de "50% do requisito doméstico via mescla de combustível alternativo" (acima mencionado) necessitaríamos de 600 milhões de galões de combustível alternativo.[34] Assim, cerca de 550 milhões desses galões seriam provenientes de carvão e os 50 milhões de galões restantes do painço amarelo. Uma vez que leva aproximadamente meia tonelada curta [equivale a 907.184 kg] de carvão para produzir um barril (42 galões) de *diesel* e uma tonelada seca [equivale ao mesmo valor de massa, mas o material sólido é imerso ou suspenso em água, depois é seco à umidade relativamente baixa e consistente (peso seco)] de painço amarelo seco para produzir um barril de combustível *CBTL*, levaria cerca de 6,5 milhões de toneladas curtas de carvão e 1,2 milhões de toneladas secas de painço amarelo para produzir 1,2 bilhões de galões de mescla de combustível de jato.[35] Com o carvão à venda a 42 dólares por tonelada curta, a partir de janeiro de 2010 e o painço amarelo a 53 dólares por tonelada seca, o custo total de extração de matéria-prima é de 273 milhões de dólares e 64 mi-

lhões de dólares, respectivamente.[36] Os setores de base de dados detalhados selecionados para esses custos foram "mineração de carvão" e "todos os demais cultivos." Como já mencionado, a ferramenta *EIO-LCA* não é aplicável ao processo de refinação. Assim, obtivemos os impactos ambientais do *DoE*.

A fim de determinar o impacto ambiental de cada combustível, somamos os resultados de cada estágio de ciclo-de-vida para cada combustível. De acordo com os resultados do modelo *EIO-LCA*, o *GWP* para o combustível *CBTL* foi 14 por cento mais baixo do que para o *JP-8*, sem levar em consideração o sequestro de carbono. Em outras palavras, o combustível *CBTL* emite *GHGs* 14 por cento mais baixos. Portanto, é mais verde. Entretanto, o *Energy Independence Security Act* de 2007 *(EISA 2007)* requer que o ciclo-de-vida *GWP* do combustível de jato alternativo considerado seja 20 por cento mais baixo do que o *GWP* de combustível de jato derivado de petróleo.[37] Uma vez que descobrimos que o *GWP* do *CBTL* é somente 14 por cento mais baixo do que a quantidade da linha de base, de acordo com a definição da *EISA 2007*, o *CBTL* sem sequestro de carbono não pode ser qualificado como combustível alternativo.

Também analisamos outros casos que envolvem porcentagens de biomassa variável, com e sem sequestro de carbono. A Figura 3 apresenta os resultados, comparando a porcentagem de biomassa utilizada em *CBTL* com o índice verde do *CBTL* comparada ao do *JP-8*. A linha horizontal nos 20 por cento representa o padrão governamental demarcado pela *EISA 2007*. A pontilhada demonstra os resultados *LCA*, sem levar em consideração o sequestro de carbono *(CCS)*, enquanto que a linha sólida demonstra os resultados quando incluímos o *CCS*. A figura comprova que, sem levar em consideração o *CCS* (uma suposição mais conservadora), a quantidade mínima de biomassa a ser utilizada para manufaturar o combustível *CBTL* é de 8–10 por cento. Em todo caso, se levarmos em consideração o

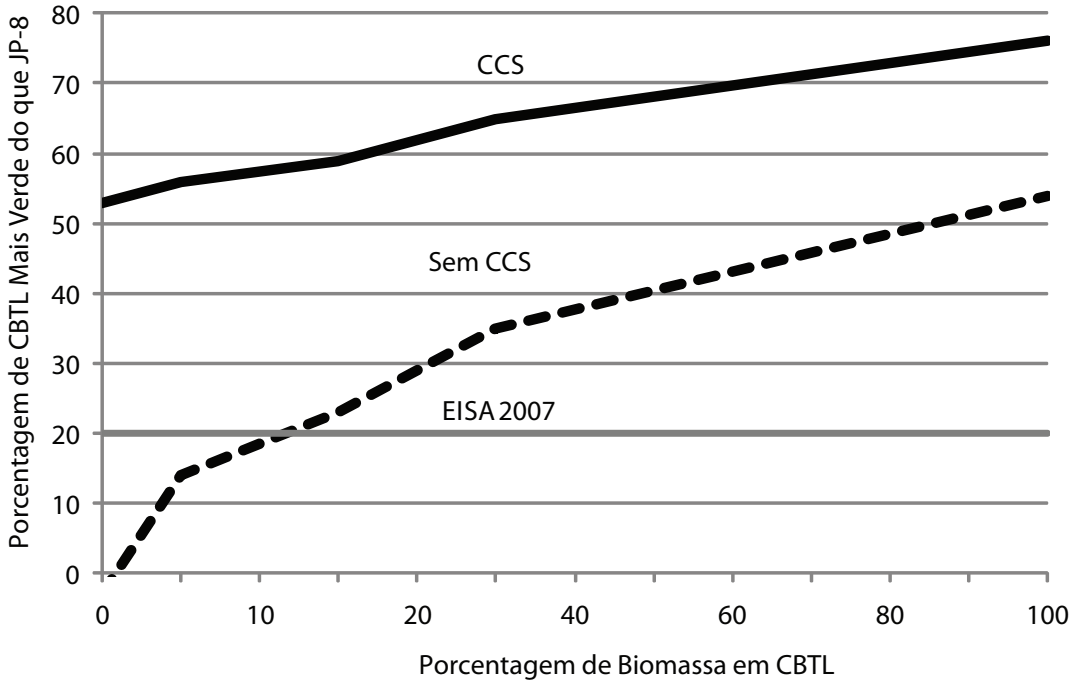

Figura 3. Porcentagem de biomassa de *CBTL* comparada à porcentagem de *CBTL* mais verde do que o *JP-8*

CCS, então todos os combustíveis *CBTL* satisfazem o padrão *EISA 2007*. Em porcentagens mais baixas de biomassa, o uso de *CCS* melhora muito mais o índice verde dos *CBTLs* quando comparado ao *JP-8*.

Conclusão

Os combustíveis alternativos apresentam ao *DoD* opções para abastecer sua extensa frota de veículos. A Força Aérea adotou os combustíveis alternativos, que satisfazem o objetivo da iniciativa energética da Força (aumentando o suprimento de combustível de fontes domésticas). Contudo, talvez seja difícil determinar o índice verde de dado combustível. As autoridades competentes da Força Aérea devem levar em consideração os combustíveis comparáveis em custo e sustentabilidade. Ademais, os combustíveis devem prestar-se à produção em grande quantidade, possuir um impacto de ciclo-de-vida *GHG* mais baixo do que o combustível de jato derivado de petróleo (i.e., serem mais verdes), e não causarem degradação em segurança de voo.[38] Ao colocarmos em execução uma fonte de combustível alternativo, surgem duas questões. Primeiro, os regulamentos norteamericanos, tais como a demanda da *EISA 2007* onde um combustível alternativo deve possuir um *GWP* total 20 por cento mais baixo do que a linha de base. Segundo, as autoridades competentes requerem um método analítico para avaliar o impacto ambiental do ciclo-de-vida de dado combustível.

Este artigo apresentou um método analítico que os líderes da Força Aérea podem utilizar para determinar o índice verde de dado combustível, comparando-o ao combustível de jato derivado de petróleo produzido de forma alternativa. Como ilustrado na figura 3 (acima), o *GWP* total de todos os casos *CBTL* com e sem *CCS* simples é menor do que o total para o combustível de jato *JP-8*, com exceção de combustíveis de jato com 100 por cento de carvão-a-líquido e sem *CCS*. Assim, de acordo com a análise *EIO-LCA*, o processo *CBTL* produz um combustível de jato mais verde durante todo o ciclo-de-vida. Em consequência, recomendamos que a Força Aérea utilize esses combustíveis alternativos como descrito na estratégia energética.

Talvez os líderes da Força Aérea e do *DoD* decidam que as vantagens estratégicas de fontes de combustível norteamericanas superam a necessidade de outro *LCA*. Contudo, no mínimo, a Força Aérea deve apoiar maiores pesquisas práticas para aprimorarmos o entendimento do impacto ambiental do uso de combustível alternativo. Além do mais, deve investigar os outros elos na cadeia de suprimento que apoiam os combustíveis para aeronaves (tais como armazenagem) para evitar quaisquer consequências possivelmente adversas, não intencionadas, com o uso de combustíveis alternativos. ❑

Força Aérea Wright-Patterson, Ohio

Notas

1. Samuel King Jr., "Air Force Officials Take Step toward Cleaner Fuel, Energy Independence," US Air Force, 25 March 2010, http://www.af.mil/news/story.asp?id=123196846.

2. Guia do Departamento de Defesa 4170.11, *Installation Energy Management*, 11 December 2009, 10, http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/417011p.pdf.

3. Chris DiPetto, "Department of Defense Energy Security Task Force Update," apresentação de diapositivos (Washington, DC: Pentágono, Gabinete do Secretário de Defesa para Aquisições, Tecnologia e *Logística [Office of the Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics]*, 18 September 2008), diapositivo 9, https://ldrd.llnl.gov/2008symp/DiPetto_symposium.pdf.

4. Michael A. Aimone, "Eliminating Energy Waste: The Role You Can (and Should) Play" (palestra durante a Conferência da Society of American Engineers Salt Lake City, UT, 2009).

5. Air Force Policy Memorandum 10-1, *Air Force Energy Program Policy Memorandum*, 19 December 2008, 6.

6. Aimone, "Eliminating Energy Waste."

7. "Diesel Fuel Explained: Diesel Fuel Outlook," US Energy Information Administration, 2009, http://tonto.eia.doe.gov/energyexplained/index.cfm?page=environment_about_ghg.

8. "Oil: Crude and Petroleum Products Explained," US Energy Information Administration, 2009, http://tonto.eia.doe.gov/energyexplained/index.cfm?page=oil_home#tab1.

9. MIL-HDBK-510-1, *Department of Defense Handbook: Aerospace Fuels Certification*, 13 November 2008, 10.

10. Tim Edwards, *Biomass-Derived Aviation Fuels*, documento interno (Wright-Patterson AFB, OH: Air Force Research Laboratory, 2009), 2.

11. Ibid., 150. O ponto de ignição é a temperatura mais baixa na qual um líquido inflamável libera vapor suficiente para ignição no ar. Normalmente, o combustível de jato possui um ponto de ignição acima de 60º C, enquanto que o do etanol é abaixo de 20º C. O calor da combustão é a quantidade de energia dada massa de substância libera, em forma de calor, durante combustão completa com oxigênio. O combustível de jato possui calor de combustão acima de 40 (megajoules por quilograma [MJ/kg]) enquanto o etanol, abaixo de 30 MJ/kg.

12. Timothy Searchinger et al., "Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases through Emissions from Land-Use Change," *Science* 319, no. 5867 (29 February 2008): 1238.

13. Bent Sørensen, "Carbon Calculations to Consider," *Science* 327, no. 5967 (12 February 2010): 780–81.

14. Searchinger et al., "Use of U.S. Croplands," 1238.

15. University of Dayton Research Institute, *Characterizing the Greenhouse Gas Footprints of Aviation Fuels from Fischer Tropsch Processing* (Dayton, OH: University of Dayton Research Institute, preparado pela Universidade do Texas em Austin, Center for Energy and Environmental Resources, 2010), 3.

16. Ibid., 28.

17. United Nations Environment Programme, *Why Take a Life Cycle Approach?*, 5th ed. (New York: St. Joseph Print Group, 2004), 5, http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx0585xPA-WhyLifeCycleEN.pdf.

18. Chris Hendrickson et al., "Economic Input-Output Models for Environmental Life-Cycle Assessment," *Environmental Science and Technology* 32, no. 7 (1 April 1998): 185.

19. Ibid., 187.

20. "Approaches to Life Cycle Assessment," Carnegie Mellon University, Green Design Institute, acessado em17 março 2011, http://www.eiolca.net/Method/LCA approaches.html.

21. Carnegie Mellon University, Green Design Institute, acessado em 17 março 2011, http://www.eiolca.net/Method/eio-lca-method.html.

22. Hendrickson et al., "Economic Input-Output Models," 185.

23. Chris Hendrickson et al., "Comparing Two Life Cycle Assessment Approaches: A Process Model vs. Economic Input-Output-Based Assessment," durante os *Proceedings of the 1997 IEEE* [Institute of Electrical and Electronics Engineers] *International Symposium on Electronics and the Environment* (San Francisco, CA: IEEE, May 1997), 177.

24. "Approaches to Life Cycle Assessment."

25. Ibid.

26. National Energy Technology Laboratory, Affordable, Low-Carbon Diesel Fuel from Domestic Coal and Biomass, DOE/NETL-2009/1349 (Washington, DC: United States Department of Energy, 14 January 2009), vi, http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/pubs/CBTL%20Final%20Report.pdf.

27. University of Dayton Research Institute, *Greenhouse Gas Footprints,* 34

28. Air Transport Action Group, *Beginner's Guide to Aviation Biofuels* (Geneva, Switzerland: Air Transport Action Group, May 2009), 2, acessado em 1 março 2011, http://www.enviro.aero/Content/Upload/File/BeginnersGuide_Biofuels_WebRes.pdf.

29. National Energy Technology Laboratory, *Affordable, Low-Carbon Diesel Fuel*, 24.

30. Hendrickson et al., "Economic Input-Output Models," 185. O governo norteamericano compila dados de mais de 400 setores industriais, manufatureiros e de prestação de serviços e determina, via tabela EIO como a economia está inter-relacionada. Esta base de dados fornece a base para o modelo EIO-LCA.

31. "Hybrid Vehicles," US Department of Energy, acessado em 18 março 2011, http://www.fueleconomy.gov/feg/hybrid_sbs.shtml; and "2004 Automotive Fuel Economy Program," National Highway Traffic Safety Administration, http://www.nhtsa.gov/Laws+&+Regulations/CAFE+-+Fuel+Economy/2004+Automotive+Fuel+Economy+Program.

32. "Coal News and Markets," US Energy Information Administration, 14 March 2011, http://www.howstuffworks.com/framed.htm?parent=gas-price.htm&url=http://tonto.eia.doe.gov/oog/info/gdu/gasdiesel.asp.

33. A Força Aérea utilizou cerca de 2,4 bilhões de galões de combustível de jato. Os autores calculam o custo do combustível em cerca de 2,80 dólares por galão.

34. Os 1,2 bilhões de galões consistiriam de mescla de 50 por cento de combustível alternativo e 50 por cento de combustível convencional.

35. Nicholas Ducote e H. Sterling Burnett, "Turning Coal into Liquid Fuel," Brief Analysis no. 656 (Washington, DC: National Center for Policy Analysis, 1 May 2009), 1, http://www.ncpa.org/pdfs/ba656.pdf.

36. "Coal News and Markets." O carvão utilizado para manufaturar combustível de jato deveria render um mínimo de 11.000 unidades térmicas britânicas por libra. Ver também Michael Popp e Robert Hogan Jr., "Assessment of Two Alternative Switchgrass Harvest and Transport Methods" (palestra durante a Conferência da Farm Foundation Conference, St. Louis, MO, 12 April 2007), http://www.farmfoundation.org/news/articlefiles/364-Popp%20Switchgrass%20Modules%20SS%20no%20numbers.pdf.

37. US Public Law 110-140, Energy Independence and Security Act of 2007, sec. 202, 2007, 1522.

38. Edwards, *Biomass-Derived Aviation Fuels*, 15.