Como Alcançar o Equilíbrio Entre a Energia, Eficácia e Eficiência

Coronel John B. Wissler, *USAF*

EM 2005, os ciclones Katrina e Rita prejudicaram seriamente a capacidade de refinamento de petróleo norte-americano, fazendo com que os preços da gasolina escalassem a cinco dólares o galão. Em um piscar de olhos, o povo vislumbrou novo futuro definido por restrições em abastecimento de energia. A demanda aumenta mais rápido do que a oferta.[1] O verão de 2008 presenciou a mesma situação, durante a qual não só ocorrências naturais causaram o problema, mas também outros fatores entraram em jogo, forçando o preço da gasolina a ultrapassar quatro dólares por galão, forçando, entre outras, a queda drástica em demanda de veículos utilitários esportivos.

A China, a Índia e outros países aumentam rapidamente o consumo, enquanto a produção de campos petrolíferos existentes entra em pico (denominado Pico de Hubbert), um fenômeno previsto desde a década de 50. Seu grau de precisão é variável.[2] Além disso, enfrentamos o declínio em descoberta de novos campos e em quantidade que comportam. É impossível saber exatamente quando a produção mundial começará a diminuir. Provavelmente nos próximos 30 anos. Entretanto, sentiremos seu efeito antes disso, devido a grande demanda.

Assim, devemos considerar a energia sob o contexto estratégico-militar. Tal perspectiva deve enfocar-se em disponibilidade contínua do fornecimento de energia e em como e porquê as forças armadas a utilizam. Essa metodologia então, passaria a influenciar sua aquisição pelo Departamento de Defesa (DoD), bem como a utilização de sistemas de armas.

Em grande parte, a energia dita os interesses do país em política externa e é vital à prosperidade da nação, até mesmo quando outros países reclamam que os Estados Unidos contam com 5 por cento da população mundial e assim mesmo usam 22 por cento de sua energia.[3] Devido a excelentes propriedades de armazenagem, densidade de energia e facilidade de uso, o petróleo é matéria-prima particularmente útil e necessária, especialmente aos Estados Unidos. Peter Tertzakian, que identifica forte relação, quase linear, entre o produto interno bruto do país e o consumo de petróleo, demonstra como essa relação passou por brusca mudança, após a crise de 1979.[4] Justiça à parte, o bem-estar da nação está diretamente ligado à disponibilidade e utilização de fonte de energia barata e onipresente, para transporte, alimentação, defesa, indústria e saúde.

A energia é de interesse vital à nação. Os Estados Unidos sentem-se compelidos a acusar presença em lugares onde existem grandes reservas de petróleo e/ou infraestrutura de extração, transporte e refinarias. Como a procura e disponibilidade variam, o interesse será ainda maior em regiões que contêm reservas petrolíferas. Infelizmente, são muitas vezes áreas em conflito, instáveis e oprimidas, em partes remotas do globo. Apesar da existência de diversas maneiras de assegurarmos o acesso a recursos, se a nação deseja empregar as forças armadas como instrumento de diretrizes nacionais para tal fim, o DoD deve colocar em campo destacamentos que rapidamente possam ser enviados a milhares de quilômetros de distância, lá permanecendo durante longo tempo, operando com impunidade e dominando o campo de batalha.

O custo do petróleo para o envio de forças a tais distâncias é caro. Embora utilize menos de 2 por cento do consumo total do petróleo do país, o DoD continua a ser a organização americana que mais utiliza o combustível, com um custo anual de mais de US $5 bilhões. Quando comparamos as forças de combate com a força aérea, essa última é responsável por mais de 70 por cento do custo. Grande

parte relacionada à mobilização, i.e., transporte aéreo e reabastecimento em voo.[5] Embora o DoD desembolse o valor do mercado pelo combustível, o custo real, que inclui o preço do combustível, bem como as despesas de transporte e infraestrutura, é bem mais elevado. De fato, algumas estimativas indicam que o custo de transporte de combustível, especialmente à regiões remotas é de 10 a 100 vezes a taxa de mercado. Um estudo pela *Defense Science Board* de 2001 menciona US $17,50 por galão para o custo de combustível entregue por aviões-tanque da Força Aérea ao redor do globo e não cerca de um dólar por galão como o DoD pagava pelo combustível naquele momento. O custo de combustível para destacamentos avançados do Exército é mais elevado, na faixa de centenas de dólares por galão.[6] Embora essas quantias incluam o custo do combustível, em si, as despesas gerais associadas à vasta infraestrutura de entrega e o combustível necessário para operar a infraestrutura (aviões-tanque e caminhões, por exemplo), aumentos em preço de combustível claramente possuem impacto enorme em gastos de operações a longa distância – característica das forças expedicionárias atuais.

Eficácia, Eficiência e Energia

Dada a importância estratégica da energia à prosperidade e defesa do país, é útil considerá-la em relação à eficácia e eficiência. Em certo sentido, é semelhante à análise estratégica de meios, modos e fins, onde "fins" representam o que devemos alcançar (a eficácia de missão ou tarefa), "modos" descrevem como alcançamos os fins (eficiência em utilização de recursos), e "meios" representam o que usamos para atingi-los (a energia despendida). Assim, descrevemos a eficácia, eficiência e energia como pólos concorrentes, onde jaz o sistema que o DoD deve criar, colocar em campo e utilizar (fig.1).

Para a aquisição, planejamento e grupos operacionais, o conceito de três pólos ilustra as tensões inerentes a considerar, quando desenvolvemos e empregamos os sistemas de armas. Em vez de manter o enfoque exclusivamente em um só aspecto do problema (a redução de gastos de energia, aumento de eficiência ou melhoria de eficácia), excluindo os outros dois, devemos buscar abordagem equilibrada. Por exemplo, ao tentarmos projetar uma aeronave com um único objetivo, ou seja, a máxima eficiência, possivelmente acabaríamos com o *Albatross Gossamer*. Sem dúvida, um dos aviões mais eficientes já construídos, cruzou o Canal da Mancha, utilizando a energia gerada por uma só pessoa. Ao empregarmos esse método a veículos terrestres, chegamos à bicicleta, que é o modelo de transporte terrestre eficiente. No entanto, esses veículos extremamente eficientes em energia, possuem pouca capacidade militar.

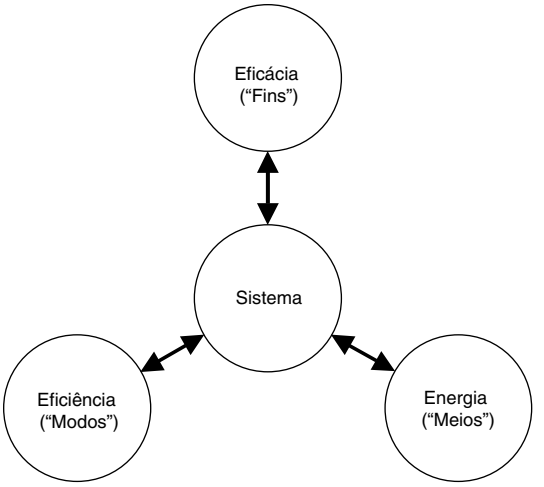

Figura 1. Conceito tripolar meios-modos-fins no contexto da energia

A guerra é uma empreitada em absolutos e, o requisito absoluto é a eficácia da missão. A maioria dos sistemas de combate predomina, não pela eficiência em consumo mas pelo extravagante uso de energia, dotando-os de velocidade, manobrabilidade e potência para prevalecer. Embora a operação eficiente geralmente resulte em maior acessibilidade, especialmente quando o custo de energia aumenta, o fato de que contamos com caças e veículos terrestres eficientes pode ser que nos permita chegar ao combate. Contudo, logo de cara vamos perder. Portanto, quando o DoD aborda a questão do aumento em custo de energia, deve confrontar o equilíbrio entre

os dados de consumo de energia, eficiência e eficácia, buscando o ponto ótimo para a missão ou as demandas que encaram.

Quando o DoD adquire novos sistemas de armas, especifica os requisitos que captam as características mais importantes exigidas pelo usuário. Normalmente, tais requisitos têm a ver com medidas relacionadas à eficácia (alcance, velocidade, proteção e carga útil) ou sustentabilidade (quantidade ou nível de manutenção necessária). Contudo, nem sempre levam em conta a eficiência, especialmente para com sistemas de combate. No entanto, as últimas diretivas do DoD série-5000 ordenam custo compreensivo de energia para o desenvolvimento de novos sistemas de armas, especialmente durante a análise de compensação *[quid pro quo]*.[7]

Mas, como definir os requisitos relacionados à eficiência? A definição termodinâmica de eficiência é a quantidade de trabalho útil produzido por um sistema dividido pela quantidade de energia utilizada pelo mesmo.[8] Não é de surpreender que a extrema dificuldade encontra-se nos detalhes: o que é exatamente a energia utilizada por um sistema e o trabalho útil que produz? Assim, o que é o sistema em primeiro lugar? No caso de sistema de armas, seria a plataforma? As armas carregadas e disparadas da mesma, ou os sistemas de apoio, tais como os veículos de reabastecimento? E, se o sistema não comporta arma, em si, exigiria, então, outras medidas de eficácia?

Fundamentos

A eficiente utilização de energia que, ao mesmo tempo, mantém a eficácia, é questão complicada que possui impacto direto no mérito de desempenho em combate e características desejadas. Teoricamente, podemos considerar a energia, examinando sua relação para com a eficácia e eficiência (ver fig.1). A energia está relacionada ao esforço necessário para cumprir com tarefa ou missão (análogo ao insumo de energia) e a eficácia está relacionada à justificativa em executar a tarefa (análoga ao rendimento de trabalho útil de dado sistema) e a eficiência ao compararmos "custo *versus* benefício". As definições termodinâmicas ilustram tal relação (fig. 2). Um sistema de baixa eficiência exige enorme quantidade de esforço ou energia para produzir determinado nível de eficácia. À medida que a eficiência de um sistema aumenta, o esforço ou energia diminui. Contudo eventualmente, enfrentamos resultados cada vez menores, ou seja, grande aumento em eficiência leva, progressivamente, a menor redução em energia necessária. Devemos, então, considerar a otimização do sistema baseados em custo para alcançar tais aumentos de eficiência *versus* os benefícios em redução de energia necessária. Isso resulta em elaboração de formas radicalmente diferentes para o cumprimento de tarefas.

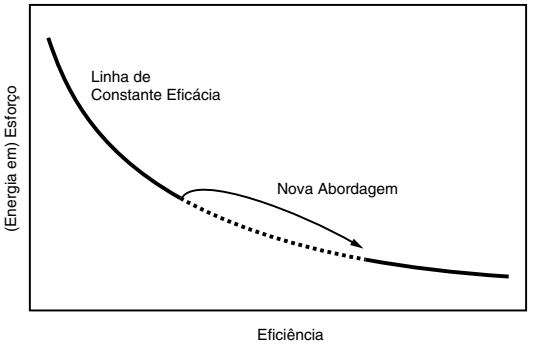

Figura 2. Relação entre esforço (energia), eficácia e eficiência

George Tsatsaronis e Antonio Valero discutem a importância da realização de uma análise *termoeconômica* que estuda, sistematicamente, todas as partes de um sistema, equilibrando energia, eficiência, eficácia e custo.[9] Para isso, utilizaram uma usina de energia elétrica como exemplo. Dado o objetivo termoeconômico de alcançarmos os requisitos da missão, pelo uso eficiente de energia, devemos aplicar tais técnicas aos sistemas militares.

A Utilização de Conceitos

Quando consideramos qualquer sistema e seu fluxo de energia, devemos definir esse sistema com cuidado e clareza. As armas são máquinas complexas, compostas de uma miríade

de peças. De fato, a maioria dos sistemas de armas é, na verdade, um sistema de sistemas. A verdadeira eficácia em campo de batalha demanda que cada sistema opere em conformidade com outros. Por exemplo, no ambiente atual de forças conjuntas, as aeronaves de combate atingem máxima eficácia, quando operam com aeronaves de controle aéreo, aviões-tanque e forças terrestres. Portanto, como mencionado acima, devemos tomar cuidado ao aumentar a eficiência ou reduzir o consumo de energia, sem primeiro considerar o *sistema de sistemas* em questão e seu objetivo geral na operação de maior escopo.

Por conseguinte, ao reconhecer que os sistemas de armas utilizam energia para produzir efeito ou cumprir com a missão, devemos primeiro definir a missão ou o efeito e, em seguida, buscar a melhor solução em termos de consumo de energia, o que nos permite determinar o melhor posicionamento entre efeito, eficiência e energia. [10]

As técnicas de análise termoeconômica anteriormente empregadas em usinas elétricas podem agora ser usadas em projeção de aeronaves. David J. Moorhouse usa esse sistema para otimizar os projetos de aeronaves de reconhecimento e transporte, melhorando assim a eficiência e eficácia da missão.[11] O enfoque do *Albatross Gossamer* de extrema eficiência em detrimento da utilidade militar ainda hoje oferece lições importantes que foram utilizadas em sistemas de longa duração, tais como o *Global Hawk* e o *Vulture* da Agência de Projetos de Pesquisa Avançada em Defesa *[Defense Advanced Research Projects Agency-Vulture Program]*.[12] Uma vez mais, é preciso primeiro definir o sistema, avaliar requisitos de desempenho (a eficácia desejada), desenvolver um meio de relacionar tais demandas ao fluxo de energia e, em seguida, otimizar para conseguir a máxima eficiência ou mínima energia necessária para obter o efeito desejado.[13]

Já que existe custo associado a cada característica extra que visa aumentar a eficiência, devemos determinar se justifica a despesa, geralmente expressa em termos de custo de aquisição, onde também se inclui o preço da energia.[14] Em certos casos, certo grau de ineficiência é preferível, quando o custo para maximizar a eficiência e ao mesmo manter a eficácia, for muito elevado.

Por exemplo, apenas pequena fração da energia utilizada por sistemas automotores cumpre realmente a finalidade para a qual se destina (girar as rodas). Em carro americano típico, aproximadamente 15 por cento da energia contida no tanque de gasolina é empregada para transportar os ocupantes do carro. Dois fatores principais determinam o consumo daquele combustível: a carga colocada sobre a transmissão pelo veículo e subsistemas e a eficiência da mesma, em si.[15] Em análise distinta, Amory Lovins *et al* demonstram que perdem-se aproximadamente 85 por cento da energia do combustível de veículo leve sob a forma de calor e ruído. Apenas de 10 a 15 por cento chegam de fato até as rodas para movimentar o veículo e ocupantes. Além disso, a maioria dessa energia é usada para movimentar o veículo que é mais pesado. Apenas pequena fração, cerca de 1 por cento, de fato, move os ocupantes.[16]

Em alguns casos, é possível alcançar eficiência e eficácia. Por exemplo, certas transmissões não suportam a carga máxima mas sim a carga padrão de rodagem (para carro típico, apenas cerca de 10 por cento de todo o potencial do motor em velocidade de auto-estrada aberta) e incluem sistemas especiais para garantir máxima potência de aceleração.[17] Na verdade, automóveis híbridos usam pequeno motor à gasolina para velocidade de rodagem, incrementada por motor elétrico para aceleração. A analogia ao sistema de propulsão híbrido destinado à aeronaves é incorporada a novos conceitos motores, como o sistema de Tecnologia de Motor Versátil Adaptável *[Adaptive Versatile Engine Technology-ADVENT]*, que altera radicalmente o projeto de ciclo, passando de operação de alta potência, baixa eficiência e tipo turbojato à operação de baixa potência, alta eficiência e tipo *turbofan*. Ao variar a configuração, à medida que funciona, o *ADVENT* promete motores de combustível com eficiência de até 25 por cento e aceleração de até 30 por cento durante a propulsão para a decolagem, permitindo maior alcance, maior tempo de voo / sobrevoo, ou velocidade supersônica mais alta, durante curto

http://www.airpower.maxwell.af.mil/home.htm Contactar o Editor

período de tempo *[higher dash speeds]*.[18] A *NASA* e a Força Aérea buscam novos conceitos, tais como o da aeronave *Blended Wing Body* [fuselagem e asa tipo delta em uma só estrutura] com eficiência superior de até 30 por cento mais do que os aviões convencionais, transportando carga similar, mantendo a eficácia em transporte de carga.[19]

A centralidade do peso comparada ao uso de energia em sistemas móveis é ponto principal. Devido a carga relativamente pequena em velocidade de cruzeiro, os veículos mais leves levam a maior rendimento de combustível.[20] A redução do peso a determinada proporção inicia um efeito dominó por todo o veículo que resulta em várias vezes aquela proporção em consumo reduzido de energia para movimentar a carga.[21]

Em geral, os requisitos militares de alta velocidade e agilidade requerem sistema leve e de menor proteção e não fuselagem pesada ou enorme quantidade de energia para propulsionar o sistema. Mas como é que quando mantemos o mesmo nível de proteção com redução de peso afetamos a relação entre eficácia e eficiência? Ao reduzir o peso, diminuimos a quantidade de energia necessária para movimentar o sistema. Quando reduzimos o peso em quantidade suficiente, sem sacrificar a proteção, é possível a utilização de tipos radicalmente diferentes de força motora, talvez motores elétricos movidos à célula de combustível em lugar de turbinas a combustível. A menor demanda de energia propaga-se em toda a força, i.e., quanto menor a energia necessária para os veículos em missão primária, menor o volume de combustível transportado em veículos de apoio secundário que também utilizam energia.

Portanto, a fabricação de sistemas mais leves é desejável e estrategicamente vantajosa, talvez com o uso de materiais sintéticos, como fibra de carbono, que reduzem drasticamente o peso, o que leva a mais baixo consumo de energia. Na verdade, a pressão que existe para com sistemas mecanizados mais leves, como o *Future Combat System,* reduziria consideravelmente o consumo de combustível, mantendo mobilidade e proteção adequadas à da missão. Na aviação, materiais leves avançados, apropriadamente incorporados à fuselagens, não só são fundamentais aos novos conceitos – como o *Blended Wing Body*, anteriormente mencionado, mas também oferecem grande melhoria em projetos de aeronaves convencionais.

Como lidar com a questão de energia-eficiência-eficácia no desenvolvimento de sistemas de armas é problema complicado. Exceto nos mais simples casos, o grande número de variáveis proíbem abordagens analíticas. No entanto, ao aproveitar todas as oportunidades oferecidas pelos modelos e simulação, os projetistas podem colocar em prática "o jogo" de custo de energia /disponibilidade e seu efeito em operações militares. O DoD pode desenvolver novas métricas relacionadas à energia e avaliar seu efeito em desempenho de combate, assim como o Exército usa modelos e simulação para avaliar o impacto em passar de legado de força pesada ao *Future Combat System*, mais leve e de maior mobilidade. Isso permite a utilização de análise termoeconômica em ampla escala.[22]

Sem requisitos formais, alegamos que embarcar em tais empreeendimentos é desperdício de tempo e dinheiro. Os recursos seriam mais bem gastos na resolução de problemas "reais" a curto prazo. Talvez a energia não seja um problema a curto prazo, contudo torna-se cada vez mais importante e será mais restrita no futuro. Portanto, devemos avaliar agora o efeito de mudanças vindouras, com ou sem os requisitos de usuários. Os resultados providenciarão dados para estabelecer o desenvolvimento de requisitos formais, quando o usuário estiver pronto a defini-los.

Considerações Acerca de Operações e Manutenção

Em campo de batalha, quando a eficiência e a eficácia encontram-se na balança, deve ganhar a eficácia. Uma solução baseada em eficiência, que funciona em guarnição doméstica, pode não funcionar em base no exterior ou expedicionária, particularmente em zona de combate. Em tais sistemas, a eficiência é uma consideração secundária. A eficácia,

baseada em requisitos da missão deve ser o objetivo último.

Os sistemas atuais, bem como aqueles em desenvolvimento, estarão em serviço durante 30 anos ou mais. A Figura 3 demonstra o Pico de Hubbert, sobreposto com prazos de aquisição para três dos mais caros sistemas de armas do DoD, quase já projetados por completo, em fase de prova ou início de produção. Neste caso, as tecnologias avançadas de material leve ou sistemas de energia podem não ser opções viáveis. Dado o enorme investimento já feito, toda estratégia de energia do DoD deve acomodá-los ou arriscar a marginalização dos investimentos, atrasando ainda mais a capacidade de combate necessária.

Nesses casos, devemos garantir acesso a combustíveis similares ao petróleo, talvez passando a biomassa ou carvão pelo processo *Fischer-Tropsch* .[23] Podemos desenvolver usinas de combustível do DoD de propriedade do governo, operadas por empreiteiros, onde o DoD, essencialmente, abastece seus veículos usando combustível próprio, assim como acontece com a munição das fábricas do Exército ou silos para a renovação de aeronaves e tanques. No entanto, já que isso seria extremamente dispendioso, a melhor abordagem seria subsidiar uma capacidade doméstica normalmente utilizada para fins civis, mas disponível para necessidades militares de emergência.

Em outros casos, os simuladores reduziriam o consumo de combustível para treinamento. Por exemplo, os sistemas não-tripulados oferecem meios para atingir a eficácia da missão sem a necessidade de treinar os operadores no local. Muitos sistemas não-tripulados, como o *Global Hawk,* nem sequer são diretamente controlados por um operador. Esse último designa tarefas através de interface com a aeronave. A aeronave então executa as tarefas mais ou menos de forma autônoma. Para outros sistemas não-tripulados, os operadores usam visão sintética para a necessária interação. Em ambos os casos, o operador não consegue identificar se o sistema é real ou simulado. Assim, os operadores recebem treinamento real em terra.

Também empregamos simuladores para atingir níveis de fidelidade sem precedentes em treinamento de sistemas tripulados. A

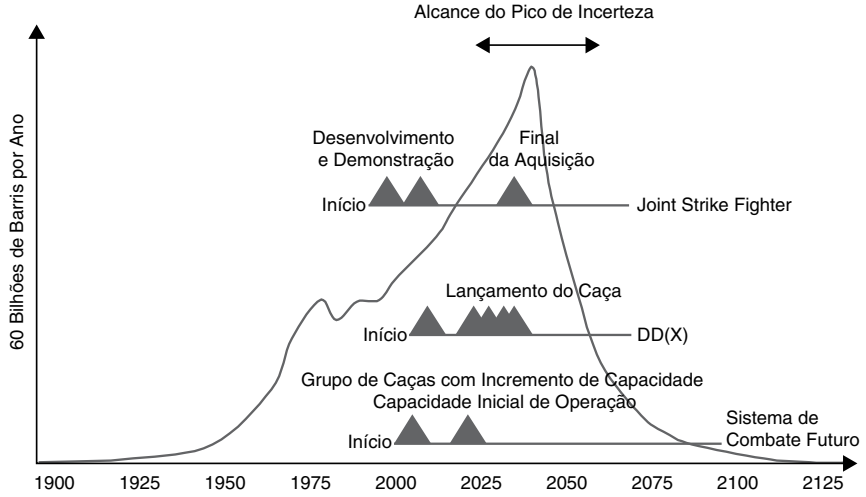

Figura 3. Pico de Hubbert sobreposto com marcos típicos do ciclo de vida dos programas de aquisição atuais. (De "Air Force Proposes Initial Joint Strike Fighter Locations," US Federal News Service, 4 de outubro de 2006; Douglas Barrie, "Lightning Strike," *Aviation Week and Space Technology* 165, no. 20 [20 de novembro de 2006]: 44; "Future Combat Systems Restructuring: A Balancing Act," US Federal News Service, 8 de fevereiro de 2007; and "Program Schedule," http://peoships.crane.navy.mil/DDG1000/images/scheduleIV_lg.jpg [acessado em 21 de agosto de 2009].)

Força Aérea utiliza-os, a fim de reduzir as horas de treinamento em aeronaves. Progrediu ao ponto de colocar em rede simuladores para bases separadas por larga distância em sistema de treinamento de missão distribuída.[24] Na verdade, essas medidas não só economizam combustível, mas também permitem treinamento que de outra forma só seria possível a grande custo e esforço, devido a dificuldade de transporte de recursos a um só local. Entretanto, esses sistemas sofisticados são mais adequados a treinamento em sistemas de grandes armas, complexos e interligados. Para operações que requerem discernimento, habilidade e interação face a face, em condições ambientais difíceis, como contrainsurgência ou operações especiais, os simuladores não são tão úteis. Felizmente, grande número dessas operações e o treinamento necessário usam muito menos combustível do que os grandes combates força-força.

A consideração de eficácia, energia e eficiência para sistemas não destinados a combate, como os das bases em território continental dos Estados Unidos, oferece um conjunto diferente de opções para os projetistas de sistemas. Nessas situações, a eficiência desempenha maior papel. Por exemplo, as bases do DoD, que normalmente adquirem eletricidade de serviços públicos locais, utilizando recursos próprios apenas em situações de emergência para necessidades básicas (emergências médicas ou de controle de tráfego aéreo), já começaram a implementar mudanças. A Força Aérea usa fontes de energia "verde", como a energia eólica, para fornecer eletricidade às bases ocidentais.[25] À medida que o custo da energia aumenta, administradores de instalações do DoD melhoraram a eficiência de novos edifícios, incorporando produção de energia distribuída, utilizando telhados com painéis solares, por exemplo. O DoD pode obter a própria versão da iniciativa solar da Califórnia *[California Solar Initiative]*, que obriga o estado a incorporar sistemas fotovoltaicos em um milhão de telhados durante a próxima década. A iniciativa resultará em energia renovável suficiente para que não necessitem construir cinco novas usinas de energia convencional.[26] Finalmente, o *DoD* pode modernizar edifícios antigos com medidas de eficiência energética. A parte do programa de estímulo que cabe ao Departamento, inclui nova tecnologia para melhor eficiência como, por exemplo, o uso de veículos elétricos, reduzindo o consumo em bases domésticas e no exterior e a melhoria em eficiência de motores a jato.[27]

No que diz respeito ao transporte, a maioria das instalações opera uma frota de veículos à gasolina ou diesel, que transitam apenas alguns quilômetros por dia e nunca saem da base. Poderíamos abordar eficiência energética e dependência em petróleo, através da conversão dessas frotas à fontes de energia alternativas, tais como combustível *flex* e eletricidade, reduzindo assim a demanda sem sacrificar a eficácia. Isso já está sendo feito em muitas bases que usam carrinhos de golfe reforçados para certas tarefas que antigamente exigiam caminhonetes à gasolina.

Tanto em infraestrutura como em transporte, existe a oportunidade de sinergia entre os setores civis/comerciais e militares na economia do país. Como assinala o Tenente-Coronel Michael Hornitschek, o *DoD* serve de catalisador para mudanças.[28] Essa sinergia economiza o dinheiro dos contribuintes [Imposto de Renda]e torna-se em verdadeiro mercado, enquanto os militares servem de campo de prova para o mercado civil. Assim, com o desenvolvimento desse mercado, o *DoD* faria uso de grandes sistemas econômicos para satisfazer as demandas de sistemas não combatentes. Essas abordagens devem receber o respaldo de mudanças em diretrizes que exigem a contabilização de custos de energia reais, sem encobri-los durante o planejamento, programação e orçamento.[29]

Conclusão

A redução da dependência em petróleo estrangeiro resultaria em efeitos estratégicos e econômicos benéficos. Diminuiria a importância estratégica do Oriente Médio. Os E. U.A. não mais necessitariam depender dessa região conturbada do mundo. Também reduziria o atrito com países como a China, com quem irão enfrentar concorrência cada vez maior para fontes de energia. Finalmente, re-

duziria a probabilidade de que os países que controlam essas fontes ditem as condições. Sem dúvida, a longo prazo, a energia possuirá grande efeito ao determinar onde, quando e com quem lutará o *DoD*.

No entanto, a questão não é simplesmente a redução de consumo de energia e o aumento de eficiência. Devido ao alto risco que acompanha as operações militares, devemos manter o enfoque em eficácia, criando assim um equilíbrio entre a eficiência de um lado a eficácia de outro e a necessidade de abordagens que buscam a solução adequada para a missão atual. Devemos equilibrar os fins que buscamos, a maneira como atingi-los e os meios que usamos. No futuro, com as restrições em energia, conseguiremos chegar a esse ponto somente se mantivermos a perspectiva em sistemas, tentando encontrar o verdadeiro equilíbrio estratégico entre eficácia, eficiência e energia. ❑

Notas

1. Adam E. Sieminski, "World Energy Futures," in *Energy and Security: Toward a New Foreign Policy Strategy*, ed. Jan H. Kalicki and David L. Goldwyn (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005), 21–22, 24, 48. Ver também "Introduction," 2–3.

2. Guy Caruso, "When Will World Oil Production Peak?" (apresentação no 10th Annual Asia Oil and Gas Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 13 de junho de 2005).

3. "World Primary Energy Consumption (Btu), 1980–2006," US Energy Information Agency, 13 de julho de 2006, http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tablee1.xls (acessado em 22 de abril de 2007); e "World Population, 1980–2006," US Energy Information Agency, 6 de outubro de 2006, http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tableb1.xls (acessado em 22 de abril de 2007).

4. Peter Tertzakian, *A Thousand Barrels a Second: The Coming Oil Break Point and the Challenges Facing an Energy Dependent World* (New York: McGraw-Hill, 2006), 105.

5. Tenente-coronel Michael Hornitschek, *War without Oil: A Catalyst for True Transformation*, Occasional Paper no. 56 (Maxwell AFB, AL: Center for Strategy and Technology, Air War College, fevereiro 2006), 20, http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cst/csat56.pdf (acessado em 31 de julho de 2009).

6. Richard H. Truly and Alvin L. Alm, *Report of the Defense Science Board on More Capable Warfighting through Reduced Fuel Burden* (Washington, DC: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, 2001), ES-3, 16–18, http://handle.dtic.mil/100.2/ADA392666 (acessado em 31 de julho de 2009).

7. Department of Defense Instruction 5000.02, *Operation of the Defense Acquisition System*, 8 de dezembro de 2008, 59, http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/500002p.pdf (acessado em 31 de julho de 2009).

8. H. C. Van Ness, *Understanding Thermodynamics* (New York: Dover Publications, 1969), 35–36.

9. George Tsatsaronis e Antonio Valero, "Thermodynamics Meets Economics," *Mechanical Engineering*, agosto 1989, 84–86.

10. David J. Moorhouse, "Proposed System-Level Multidisciplinary Analysis Technique Based on Exergy Methods," *Journal of Aircraft* 40, no. 1 (janeiro-fevereiro 2003): 11–12.

11. Ibid.

12. "DARPA's Vulture: What Goes Up, Needn't Come Down," *Defense Industry Daily*, 26 de agosto de 2008, http://www.defenseindustrydaily.com/DARPAs-Vulture-What-Goes-Up-Neednt-Come-Down-04852 (acessado em 29 de junho de 2009).

13. David M. Paulus Jr. e Richard A. Gagglioli, "Rational Objective Functions for Vehicles," *Journal of Aircraft* 40, no. 1 (janeiro-fevereiro 2003): 27.

14. Moorhouse, "Proposed System-Level Multidisciplinary Analysis," 14.

15. Marc Ross, "Fuel Efficiency and the Physics of Automobiles," *Contemporary Physics* 38, no. 6 (1997): 363, 388.

16. Amory B. Lovins et al., *Winning the Oil Endgame: Innovation for Profits, Jobs, and Security* (Snowmass, CO: Rocky Mountain Institute, 2004), 46, http://www.oilendgame.com (acessado em 3 de agosto de 2009).

17. Ibid., 47.

18. Jeffrey M. Stricker, "Efficient/Adaptive Cycle Engines" (apresentação durante o USAF Energy Forum, Crystal City, VA, 8 de março de 2007).

19. Leifur T. Leifsson e William H. Mason, "The Blended Wing Body Aircraft" (Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, [2005]), http://www.aoe.vt.edu/research/groups/bwb/papers/TheBWBAircraft.pdf (acessado em 29 de junho de 2009).

20. Ross, "Fuel Efficiency," 382–83.

21. Lovins et al., *Winning the Oil Endgame*, 52.

22. Tsatsaronis e Valero, "Thermodynamics Meets Economics," 84.

23. "Alternative and Advanced Fuels: Fischer-Tropsch Diesel," US Department of Energy, http://www.eere.energy.gov/afdc/fuels/emerging_diesel.html (acessado em 18 de setembro de 2008).

24. Geoff Fein, "Synthetic Training Enables U.S., Coalition Forces to Play in Virtual Missions," *Defense Daily International*, 14 de abril de 2006, 1.

25. "Partner Profile: U.S. Air Force," Green Power Partnership, US Environmental Protection Agency, http://www.epa.gov/greenpower/partners/partners/usairforce.htm (acessado em 19 de maio de 2006).

26. Richard Chapo, "Governor Schwarzenegger Turns California to Solar Roof Systems," *Ezine Articles*, http://ezinearticles.com/?Governor-Schwarzenegger-Turns-California-to-Solar-Roof-Systems&id=130953 (acessado em 10 de junho de 2006).

27. Tim Kauffman, "Stimulus Funds Boost Efforts to Reduce Fuel Consumption," *Federal Times* 45, no. 5 (30 março 2009): 17.

28. Hornitschek, *War without Oil*, 5, 73.

29. Kip P. Nygren, Darrell D. Massie e Paul J. Kern, "Army Energy Strategy for the End of Cheap Oil" (estudo entregue durante a 25th Army Science Conference, Orlando, FL, 29 de novembro de 2006), 5–6, http://www.globaloilwatch.com/reports/Army.pdf (acessado em 3 de agosto de 2009).

Coronel John B. Wissler, USAF, possui Mestrado em Ciências da Universidade de Maryland; Instituto de Tecnologia da Força Aérea; Doutorado do Instituto de Tecnologia da Califórnia; Mestrado em Estudos Estratégicos, Escola Superior de Guerra do Exército dos Estados Unidos. Diretor-Assistente de Engenharia, Centro de Sistemas Eletrônicos, Base Aérea Hanscom, Massachusetts. Desempenhou vários cargos em pesquisa, desenvolvimento e aquisição, inclusive missões no Laboratório de Pesquisa da Força Aérea, onde comandou os Locais de Pesquisa Hanscom e Wright. Autor de inúmeros artigos e estudos referente à aeronáutica, lasers e gerenciamento de engenharia. Formado pela Escola de Oficiais de Esquadrão, Escola Superior de Comando e Pessoal, Escola Superior de Guerra e Escola Superior de Guerra do Exército.

As opiniões expressas ou insinuadas nesta revista pertencem aos seus respectivos autores e não representam, necessariamente, as do Departamento de Defesa, da Força Aérea, da Universidade da Força Aérea ou de quaisquer outros órgãos ou departamentos do governo norte-americano.