

Módulo 11: Transporte Sustentável

Escrito por: **Louis G. Neudorff**, Tecnólogo principal — ITS, CH2M HILL, Virginia Beach, VA, USA

Finalidade

O conceito de sustentabilidade tem recebido maior atenção nos últimos anos. O presente módulo aborda o que se entende por transporte sustentável, identifica os vários atributos que compõem uma rede de transportes sustentável e discute como a gestão e a operação de sistemas de transporte (TSM&O — Transportation Systems Management and Operations) e tecnologias de apoio para sistemas de transporte inteligentes, ou ITS (Supporting Intelligent Transportation), podem contribuir para uma rede de transportes sustentável. Conceitos relacionados abordados incluem habitabilidade, adaptação às alterações climáticas e medidas de desempenho.

Objetivos

Os objetivos de aprendizagem do presente módulo são:

- Entender o conceito amplo de sustentabilidade.
- Entender os vários atributos de uma rede de transportes sustentável, que incluem sustentabilidade econômica, sustentabilidade social e sustentabilidade ambiental.
- Entender o que é habitabilidade, como está relacionada à sustentabilidade e como dela se difere.
- Entender o papel que TSM&O e as tecnologias de ITS de apoio podem desempenhar no aumento da sustentabilidade ambiental através da redução das emissões dos veículos, incluindo gases do efeito estufa que contribuem para mudanças climáticas.
- Entender o papel que a TSM&O das tecnologias de ITS de apoio podem desempenhar para aumentar a habitabilidade.
- Entender como outras tecnologias e práticas relacionadas a ITS (por exemplo, pedágios e dispositivos em veículos) pode promover a redução de emissões.
- Entender como a TSM&O e suas tecnologias de ITS podem ser usadas para ajudar na adaptação às mudanças climáticas e seus impactos.
- Considerar a sustentabilidade financeira no contexto mais amplo do transporte sustentável.
- Identificar potenciais medidas de desempenho relacionadas a sustentabilidade e habitabilidade, seu potencial de aplicação e respectivas necessidades de dados.

Introdução: O conceito amplo de sustentabilidade

A definição mais amplamente citada de sustentabilidade baseia-se no conceito de desenvolvimento sustentável, tal como definido pela Comissão Brundtland das Nações Unidas¹ em 1987:

Satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem

suas próprias necessidades.

Ou talvez de forma mais resumida (atribuída a Robert Gray, professor na Universidade de Edimburgo), "tratar o mundo como pretendêsemos ficar."

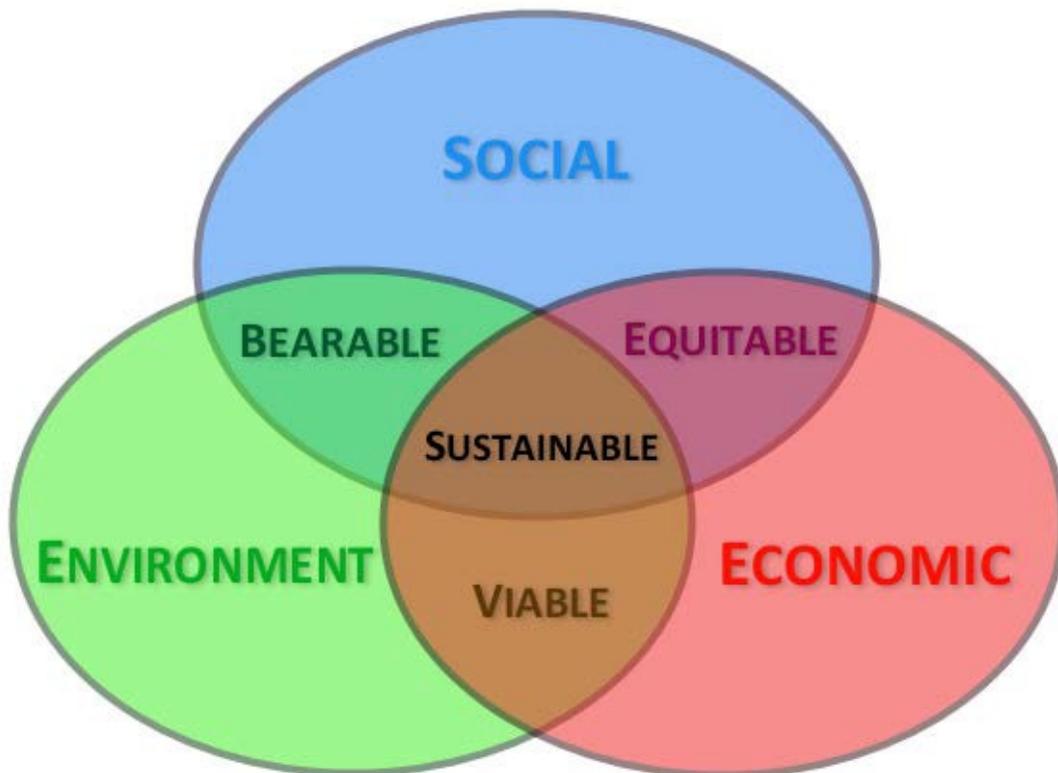
O núcleo do pensamento dominante sobre sustentabilidade veio a ser uma ideia tridimensional: sustentabilidade ambiental, social e econômica. Essas três dimensões são muitas vezes desenhadas como círculos entrelaçados (Figura 1), conforme adotado pela União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN — International Union for Conservation of Nature), para mostrar que essas três dimensões de sustentabilidade precisam ser mais bem integradas, com ações para restabelecer o equilíbrio entre as dimensões.²

Essas três dimensões muitas vezes são chamadas de os três resultados finais, uma frase cunhada pela primeira vez em 1994 por John Elkington. Seu argumento era que as organizações deveriam buscar três resultados finais diferentes (e bem separados), consistindo em três Ps: proveito, pessoas e planeta.³

Esses três resultados finais também são conhecidos como três Es (economia com desenvolvimento, equidade social e ecologia).

(Visite <http://bigthink.com/users/josephsussman> para mais informações.)

Figura 1. As três dimensões da sustentabilidade



O objetivo da sustentabilidade é, portanto, "a satisfação das necessidades sociais e econômicas básicas, presentes e futuras, e o uso responsável dos recursos naturais, mantendo ou melhorando o bem-estar do meio ambiente e da ecologia de que a vida depende."⁴

Transporte sustentável e ITS

Em agosto de 2012, a ITS América adotou uma declaração de posição atualizada intitulada "Tecnologia ITS e transporte sustentável". A declaração descreve "quais são os elementos de transporte sustentável e como a tecnologia de ITS pode fazer parte disso", como segue:

"O transporte é componente essencial e parte integrante de uma sociedade sustentável." A ITS América definiu "transporte sustentável", como "atender e, algumas vezes, redefinir necessidades de mobilidade do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem suas necessidades."

Há vários atributos associados a essas necessidades de mobilidade, uma estrutura tridimensional que consiste em considerações econômicas, sociais e ambientais.

- *Econômicas*: os transportes foram reconhecidos como essenciais para o desenvolvimento econômico. Uma movimentação eficiente e confiável de pessoas, ou seja, a mobilidade, aumenta a produtividade e pode estimular o crescimento econômico.
- *Sociais*: pessoas desfavorecidas no aspecto econômico, social ou físico precisam de opções e escolhas de transporte que lhes ofereçam a oportunidade de trabalhar, aprender e participar da sociedade. Questões sociais correlatas incluem proteção e segurança da rede de transportes.
- *Ambientais*: em uma escala global, a ameaça das alterações climáticas vem chamando a atenção para os impactos ambientais do setor de transportes, que contribui com mais de 25% das emissões de gases do efeito estufa (GHG — GreenHouse Gas) nos EUA.

Além disso, o conceito de transporte sustentável deve ser abordado de forma holística, num processo coletivo em que a tomada de decisões e ações avaliam e equilibram de forma cuidadosa os potenciais impactos dos "três resultados finais".

TSM&O e suas tecnologias de apoio têm sido promovidas como instrumentos para aumentar a eficiência e confiabilidade do sistema de transportes de superfície do país (promovendo, assim, uma sustentabilidade econômica vivaz) e reforçar sua proteção e segurança (atendendo, dessa forma, as necessidades da sociedade). Essas mesmas tecnologias e estratégias também podem ser aplicadas para proteger e preservar o meio ambiente, reduzindo as emissões, incluindo gases do efeito estufa, uma das principais causas do aquecimento global.

Outros módulos desta *ePrimer* descrevem estratégias de TSM&O e suas tecnologias de apoio de uma perspectiva da mobilidade e confiabilidade (ou seja, sustentabilidade econômica) e segurança (isto é, uma consideração importante para a sustentabilidade social). Sendo assim, discussões e exemplos subsequentes encontrados no presente módulo enfocam como a tecnologia de ITS pode contribuir para o aspecto ambiental dos três resultados finais do transporte sustentável.

Habitabilidade e Transporte

Antes de passarmos para os exemplos de ITS e sustentabilidade ambiental, o conceito de

habitabilidade deve ser discutido. A Administração Federal de Rodovias (FHWA — Federal Highway Administration), em seu documento "The Role of Transportation Systems Management & Operations in Supporting Livability and Sustainability: A Primer" (O papel da gestão e operação dos sistemas de transporte no apoio à habitabilidade e à sustentabilidade) ⁶ define habitabilidade como "o uso da qualidade, localização e tipo de instalações e serviços de transporte disponíveis para ajudar a alcançar os objetivos mais amplos da comunidade, como mais opções de viagem, maior competitividade da economia e maior destaque de características únicas da comunidade. A habitabilidade no transporte ajuda a atingir esses objetivos, aproveitando recursos financeiros e usando o processo de planejamento de transportes para fazer avançar projetos de apoio, políticas ou decisões. A habitabilidade beneficia diretamente as pessoas que vivem, trabalham, ou visitam uma área, seja em contexto urbano, suburbano ou rural."

A *cartilha* da FHWA descreve, ainda, a habitabilidade em relação ao transporte como:

- Abordagem da segurança rodoviária e de problemas de capacidade através de melhor planejamento, projeto e construção.
- Integração de considerações de saúde e projeto comunitário no processo de planejamento de transporte, para criar lugares mais habitáveis, onde residentes e trabalhadores contem com uma variedade completa de opções de transporte.
- Uso de abordagens de gestão de demanda de viagens (TDM — Travel Demand Management) para maximizar a eficiência dos investimentos de transporte.
- Desenvolvimento de um transporte público rápido, frequente e confiável, para promover o desenvolvimento econômico e a acessibilidade a uma vasta gama de opções de moradia e emprego.
- Conexão estratégica de elementos modais: ciclovias, instalações para pedestres, serviços de trânsito e rodovias, tudo em um sistema verdadeiramente intermodal e conectado.
- Maximização e expansão de novas tecnologias, como ITS, infraestrutura verde e pavimentação silenciosa.
- Aprimoramento do ambiente natural através de redução de águas pluviais, maior qualidade do ar e menor emissão de gases do efeito estufa.

Esta lista inclui muitos componentes do transporte sustentável (por exemplo, eficiência, segurança e meio ambiente), além de mencionar especificamente os conceitos de ITS e M&O. A *cartilha* da FHWA observa que, na prática, elementos de habitabilidade e sustentabilidade estão intimamente relacionados e as soluções de transporte que respaldam cada área tendem a ser semelhantes. Tanto habitabilidade quanto sustentabilidade tratam de questões de equidade social e saúde humana e procuram promover opções de viagem e atividades econômicas mais ecológicas. As principais diferenças entre habitabilidade e sustentabilidade são os seus prazos e abrangências. A sustentabilidade trata de um enfoque de longo prazo, envolvendo diversas gerações, que aborda metas ambientais maiores, como redução de impactos climáticos, aumento da eficiência energética e redução do uso de recursos naturais. Iniciativas de habitabilidade envolvem muitas vezes estratégias de planejamento, financiamento e implantação de curto prazo, em nível de comunidade. Sistemas de transporte habitáveis acomodam uma variedade de modos de transporte (a pé, de bicicleta, transporte público e automóveis) através da criação de redes de transporte multimodal equilibradas, que oferecem múltiplas opções de transporte.

Exemplos de TSM&O e ITS em prol da sustentabilidade e habitabilidade

Visão global

A *cartilha* da FHWA destaca vários elementos de sistemas de gestão e operação de transportes, de uma forma que respalde a habitabilidade e a sustentabilidade. A TSM&O e suas tecnologias de ITS de apoio* sustentam vários desses principais elementos, por exemplo:

- Melhorar a experiência no transporte coletivo: aumentar a atratividade e o desempenho do transporte público é um componente central para tornar comunidades mais habitáveis e sustentáveis. O transporte coletivo ajuda a reduzir viagens de veículos e congestionamentos, levando a menos emissões de poluentes legislados e de gases do efeito estufa. O uso do transporte público em vez de dirigir pode reduzir o estresse dos usuários, melhorando sua qualidade de vida global. Em uma comunidade, o transporte coletivo aumenta a equidade social, proporcionando mobilidade e acessibilidade. Estratégias de TSM&O nesse sentido incluem prioridade do transporte público em sinais, BRT e uso de acostamentos para ônibus.
- Sustentar uma circulação confiável e eficiente de pessoas e bens: um dos objetivos fundamentais das estratégias de M&O é sustentar de forma ativa uma mobilidade eficiente e confiável de pessoas e bens. Especialmente em regiões e corredores congestionados, estratégias de M&O bem aplicadas podem ajudar a evitar a necessidade de grandes expansões de capacidade, que são caras e não podem atender as perspectivas da comunidade, melhorando a mobilidade de pessoas e bens e contribuindo para maior segurança, melhor qualidade do ar, mais vitalidade econômica regional e maior eficiência do uso da terra. Exemplos de estratégia incluem a gestão de incidentes e emergências, gestão de tempo de viagem, gestão de zona de trabalho, gestão de eventos especiais planejados, cobrança de pedágio automática, controle adaptável de sinal de trânsito, cronometragem de sinais de trânsito para torná-los mais fáceis para a travessia de pedestres, faixas reversíveis, faixas de acostamento, controle de rampas e outras técnicas de gestão do tráfego ativo.
- Gestão da demanda de viagens: administrar e operar o sistema de transporte para melhorar a habitabilidade e a sustentabilidade não significa apenas reduzir atrasos de viagens desnecessárias, mas também administrar a demanda de viagens, de formas que contribuam para mais opções de transporte e um uso mais eficiente do sistema de transporte. A gestão da demanda de transporte (TDM — Transportation Demand Management), inclui uma série de estratégias para incentivar o usuário a usar o sistema de transporte de uma forma que contribua menos para o congestionamento, melhore a qualidade do ar e aumente a qualidade de vida. Estratégias relacionadas a ITS incluem técnicas de pedágio, como faixas de pedágio com valor variável, preços de estacionamento e tarifas de trânsito mais elevadas no período de pico em sistemas de trânsito congestionados.
- Fornecer informações que respaldem escolhas: administrar e operar um sistema multimodal de transporte para aumentar da habitabilidade e sustentabilidade envolve o fornecimento de informações oportunas e precisas aos usuários do sistema sobre as condições do transporte (por exemplo, uma estratégia associada aa gestão de um corredor integrado). Com mais informações, usuários e transportadoras de cargas podem tomar melhores decisões sobre quando ou se viajar, que caminho tomar e que modo escolher. Isso contribui para a habitabilidade através de uma maior previsibilidade dos serviços, mais opções para evitar

atrasos e uma experiência de viagem de alta qualidade. Além disso, essas informações podem salvar vidas e reduzir acidentes, pois o público fica sabendo quando as condições das estradas não são seguras e motoristas de veículos comerciais podem localizar estacionamentos disponíveis para períodos essenciais de descanso.

* Estas estratégias são abordadas em mais detalhes em outros módulos.

O fornecimento de informações para o usuário que ajudem os usuários do sistema a evitar congestionamentos e facilitem escolher entre transporte público, caminhar ou bicicleta contribui de forma significativa para a sustentabilidade ambiental, reduzindo emissões de veículos e necessidades de infraestrutura. Informações para o usuário também são cruciais para desvios de tráfego ou passageiros durante um incidente, em condições atmosféricas adversas e em áreas com atividades de obras.

A mensagem principal da *cartilha* da FHWA é que muitas das destas estratégias de TSM&O e tecnologias ITS de apoio que concorrem para um transporte sustentável também podem ajudar na habitabilidade. Essas estratégias de T podem "ajudar a melhorar a forma como os sistemas de transporte existentes interagem com as comunidades que atendem. Como resultado, pensar em como o transporte é administrado e operado pode ser vital para apoiar comunidades habitáveis e iniciativas de planejamento sustentável."⁶

Do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, TSM&O e ITS podem reduzir emissões dos veículos. Isso é discutido abaixo em termos de poluentes legislados e gases do efeito estufa.

Redução de poluentes legislados

As Normas Nacionais da Qualidade do Ar Ambiente (NAAQS — National Ambient Air Quality Standards), dos EUA formam o conjunto de normas federais que dispõem sobre concentrações e limites de exposição permitidos para determinados poluentes. Foram estabelecidos padrões de qualidade do ar para vários desses poluentes legislados associados ao transporte, incluindo monóxido de carbono (CO), ozônio e material particulado (PM-10 e PM-2.5). Se os níveis monitorados infringirem as NAAQS, a Agência de Proteção Ambiental (EPA — Environmental Protection Agency), dos EUA, em cooperação com o estado, designará a área contribuinte como deficiente. Além das emissões de poluentes diretos, veículos motorizados emitem precursores que contribuem para a concentração de poluentes, incluindo óxidos de nitrogênio (NOx), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de enxofre (SOx) e amônia (NH₃).

O transporte é uma importante fonte várias dessas emissões de poluentes atmosféricos. Em todos os EUA, as fontes do transporte rodoviário respondem por 13% das emissões de VOCs, 35% das emissões de NOx, e 38% das emissões de CO.⁷ As emissões das fontes de transporte têm diminuído nas últimas duas décadas e deverão continuar em declínio, por causa dos efeitos benéficos dos aperfeiçoamentos das tecnologias de controle e dos regulamentos mais exigentes sobre emissões. ‡ Desde 1991, o programa de redução de congestionamentos e melhoria da qualidade do ar nos EUA (CMAQ — Congestion Mitigation and Air Quality Improvement), já dedicou mais de US\$ 14 bilhões em fundos rodoviários para projetos que reduzam emissões e aliviem congestionamentos, a maioria deles implantada por repartições de transporte. O transporte, no entanto, continuará a contribuir para a poluição do ar na região nos próximos anos.

Um documento da FHWA de 2006, intitulado "General Emission Impacts of Transportation System Management Strategies" (Impactos gerais das emissões nas estratégias de gestão do sistema de transportes) ⁸ oferece um compêndio de estratégias de controle tradicionais e inovadoras relacionadas aos transportes, identificando, para cada tipo de estratégia, os efeitos nesses sete poluentes: CO, PM-10, PM-2.5, NOx, VOCs, SOx, e NH₃. Para cada estratégia, o documento informa sobre o sentido dos impactos de emissões (aumento, redução, neutro ou incerto), normalmente esperado para cada poluente.

† PM-10 refere-se a partículas de 10 micrômetros de diâmetro ou menores. PM-2.5 refere-se a partículas de 2,5 micrômetros de diâmetro ou menores.

‡ Uma diminuição de 76% das emissões de CO desde 1991, uma redução de 58% de NOX desde 1991 e uma redução de 78% de VOC desde 1991.

No que tange a TSM&O, o relatório indica aquelas estratégias que reduzem a quilometragem percorrida por veículos (VMT — Vehicle Miles Traveled), viagens por veículos redução dos poluentes do ar por veículos em marcha lenta. Estratégias que afetam velocidades de percurso do veículo geralmente não afetarão os níveis de PM, SO_x e NH₃, podendo resultar em aumento ou diminuição dos níveis de CO, NO_x e VOCs, dependendo das velocidades iniciais dos veículos e do nível de alteração de velocidade.

A base de dados de benefícios ITS da FHWA (www.itsbenefits.its.dot.gov) traz informações sobre benefícios energéticos e ambientais (e outros benefícios operacionais) das diversas estratégias de TSM&O. Alguns deles estão resumidos na Tabela 1. Outro exemplo dos benefícios resultantes de controle de sinais de trânsito é dado pela Ficha do Relatório Nacional sobre Sinalização de Tráfego de 2007 do Instituto dos Transportes (ITE — Institute of Transportation)⁹, concluindo que "se o país mantivesse sua sinalização em um nível A, teríamos benefícios significativos na proteção do meio ambiente, incluindo uma redução de emissões nocivas (monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis) de até 22%".

Além de Estocolmo, Suécia, (conforme a Tabela 1), outro exemplo de esquema de preço diante de congestionamento e impactos benéficos sobre emissões é um sistema em Londres, Inglaterra (Figura 2a). Esse sistema opera entre 7 h e 18 h, de segunda a sexta-feira (exceto feriados) e depende de leitores automáticos de placas veiculares, ou ALPR (Automated License Plate Readers) (Figura 2b) para verificar se os veículos que entram na área fizeram o registro e pagaram pelo dia. Os impactos dos esquemas de preço diante de congestionamento são regularmente monitorados pela Transport for London (TfL), incluindo várias medições de qualidade do ar. O Sexto Relatório Anual do Monitoramento de Impactos ¹⁰ da TfL concluiu que "através da redução do volume do tráfego que circula dentro da zona de tarifação (central) e melhorando a eficiência com que ele circula, estimou-se o pedágio urbano tenha sido diretamente responsável, dentro da zona de tarifação original, por reduções de 8% dos óxidos de nitrogênio (NO_x) e de 6% das partículas finas em suspensão (PM₁₀) emitidos pelo tráfego rodoviário.

Esses valores correspondem às emissões anuais totais de todas as fontes do tráfego rodoviário (somente). Todo o restante permanecendo inalterado, essas reduções continuarão nos anos posteriores a 2003."

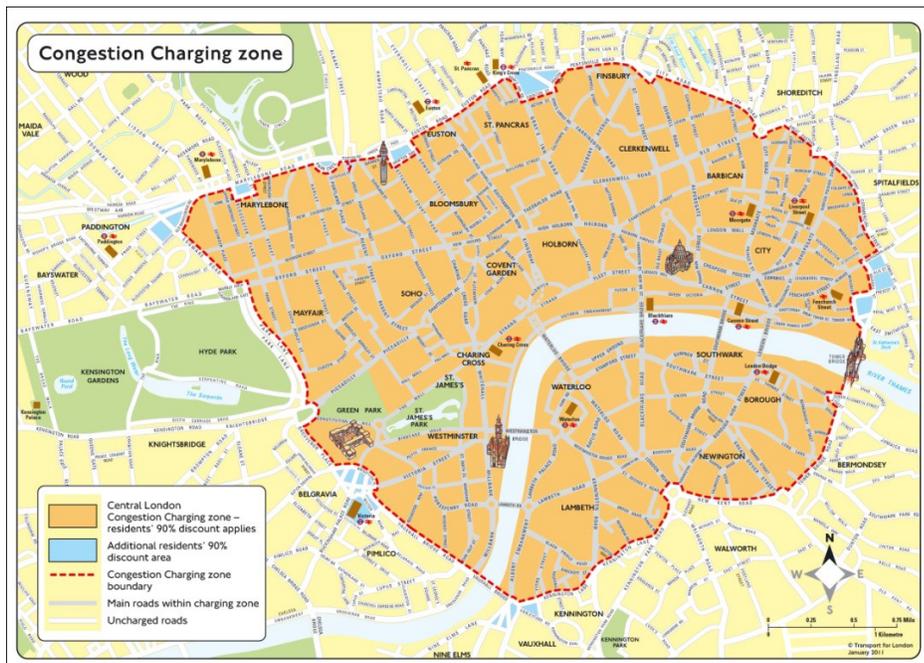
Outro exemplo da tecnologia de ITS sendo usada diretamente para reduzir emissões é a zona de baixa emissão (LEZ — Low Emission Zone), em Londres.¹¹A LEZ foi introduzida em 2008 para incentivar a maioria dos veículos pesados a diesel, mais poluentes, circulando na cidade a se tornarem mais limpos. A LEZ cobre a maior parte da Grande Londres, como mostrado na Figura 3. Para dirigir dentro da zona sem pagar uma taxa diária, veículos como caminhões, ônibus, vans maiores e micro-ônibus devem atender determinados padrões de emissão que limitam a quantidade de material particulado proveniente de seus escapamentos. Câmeras ALPR leem as placas dos veículos que circulam dentro da LEZ e as verifica em um banco de dados de veículos registrados para determinar automaticamente se o veículo atende as normas de emissões da LEZ, se está isento, se tem desconto registrado ou se a taxa diária foi paga.¹²Conforme a Estratégia para a Qualidade do Ar da Prefeitura de Londres¹³, a LEZ resultou em frotas mais limpas de veículos pesados de carga (HGV — Heavy Goods Vehicles) e ônibus em Londres.

Tabela 1. Benefícios de emissão das estratégias de TSM&O

Estratégia de TSMO	Exemplos
Esquema de Preço Diante de Congestionamento	<ul style="list-style-type: none"> Em Estocolmo, o programa de cobrança permanente (Cordon Charging) produziu melhorias no meio ambiente, reduzindo o dióxido de carbono de 10 a 14%, NOx em 7% e o teor de partículas em 9%.
Cobrança Eletrônica de Pedágio	<ul style="list-style-type: none"> Uma avaliação dos sistemas de cobrança eletrônica de pedágio em três grandes praças de pedágio fora de Baltimore, Maryland, indicou que esses sistemas reduziram as emissões nocivas para o meio ambiente de 16 a 63%. O sistema de cobrança eletrônica de pedágio E-ZPass na New Jersey Turnpike eliminou aproximadamente 0,35 toneladas de VOC e 0,056 toneladas de NOx por dia.
Informações para o usuário	<ul style="list-style-type: none"> Um sistema de planejamento de viagem personalizado ajuda usuários a escolher rotas e modos ecológicos, reduzindo as emissões de dióxido de carbono em 20% Resultados de simulações indicaram que as emissões dos veículos poderiam ser reduzidas em 2% se os dados de fluxo do tráfego das vias principais fossem incluídos no sistema de informações para usuários em Seattle, Washington
Controle de sinais de trânsito	<ul style="list-style-type: none"> Em Oakland County, Michigan, o reajuste da sincronização de 640 sinais de trânsito durante um projeto em duas fases resultou em reduções do monóxido de carbono de 1,7 e 2,5%, redução do óxido de nitrogênio de 1,9 e 3,5% e reduções de hidrocarbonetos de 2,7 e 4,2%. Com a implantação da sincronização dos sinais na rede das vias principais em Syracuse, Nova York, as emissões médias dos veículos diminuiu de 9 a 13%. Um sistema adaptativo de controle de sinais em Toronto, no Canadá, reduziu as emissões dos veículos em 3 a 6%. A instalação de sistemas adaptativos de controle de sinal em dois corredores no Colorado reduziu as emissões de poluentes em até 17%.
Controle de rampa	<ul style="list-style-type: none"> As emissões anuais de veículos líquidas aumentaram em 1.160 toneladas quando o sistema de controle de rampa nas vias expressas Minneapolis-St. Paul foi encerrado.
Operações de trânsito	<ul style="list-style-type: none"> A simulação de um sistema de prioridade de sinais de trânsito em Helsinki, Finlândia, indicou que os óxidos de nitrogênio foram reduzidos em 4,9%, o monóxido de carbono diminuiu em 1,8%, os hidrocarbonetos diminuíram 1,2% e o teor de partículas diminuiu 1,0%.
Gestão de incidentes	<ul style="list-style-type: none"> Na Geórgia, o programa de gestão de incidentes Navigator contribuiu para uma diminuição das emissões: 2.457 toneladas a menos de monóxido de carbono, 186 toneladas a menos de hidrocarbonetos e 262 toneladas a menos de óxidos nitrosos.

Fonte: Base de dados de benefícios de ITS da FHWA (www.itsbenefits.its.dot.gov).

Figuras 2a e 2b. Zona de esquema de preço diante de congestionamento em Londres e câmeras ALPR



Fonte do mapa: www.tfl.gov.uk/tfl/roadusers/congestioncharge/whereandwhen/.

Figura 3. Zona de baixa emissão de Londres



Fonte: www.tfl.gov.uk/roadusers/lez/default.aspx.

Redução dos gases do efeito estufa

Diferente da maioria das outras partes do mundo, atualmente não há regulamentos federais nos Estados Unidos abordando ou limitando a quantidade de emissões de gases do efeito estufa (embora alguns estados tenham adotado medidas). Gases do efeito estufa incluem dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e hidrofluorcarbonetos, dos quais o CO₂, com tempo de vida atmosférico de 50 a 100 anos, é o mais importante.

O relatório de 2007¹⁴ do Painel Intergovernamental das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change), concluiu que o aquecimento global e as mudanças associadas ao clima são "inequívocas", uma conclusão baseada nos aumentos globais observados da temperatura do ar e dos oceanos, do derretimento generalizado da neve e do gelo e do nível médio dos mares em todo o mundo. O relatório do IPCC também afirmou que o aumento das temperaturas médias globais desde meados do século 20 se deve "muito provavelmente" § ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa resultantes de atividades humanas. §

O CO₂ é o principal gás do efeito estufa emitido por atividades humanas, sendo responsável por 84% de toda a emissão de GHG nos Estados Unidos em 2010.¹⁵ O setor de transporte de uso final foi responsável por 33% dessas emissões de CO₂ em 2010. Entre as fontes domésticas do transporte, veículos leves (incluindo automóveis de passageiros e veículos comerciais leves) representaram 61% das emissões de CO₂ relacionadas ao transporte, enquanto caminhões médios e pesados representaram 22%. As emissões de CO₂ dos automóveis de passageiros aumentou 20% entre 1990 e 2012.¹⁶ Assim, o fluxo do tráfego nas rodovias dos Estados Unidos foi responsável por mais de um quarto de todas as emissões de gases do efeito estufa naquele país.

Existem várias maneiras de reduzir as emissões de gases do efeito estufa relacionadas ao transporte,** incluindo:

- Aumento da economia de combustível dos veículos (por exemplo, milhas por galão). A eficiência de combustível se traduz em quilômetros por litro, sendo abordada pelas normas de economia média de combustível das empresas (CAFE — Corporate Average Fuel Economy) do governo federal dos EUA. Os padrões CAFE foram aumentados em 2012, uma média de 35,5 milhas por galão (mpg) para frotas de veículos em 2016 e uma média de 54,5 mpg em 2025. Isso pode ser alcançado em veículos com a mais recente tecnologia de motores de combustão interna (ICE — Internal Combustion Engine), como frenagem regenerativa, tecnologia de partida e parada (por exemplo, o motor desliga automaticamente quando o veículo para em um sinal de trânsito e liga novamente quando o acelerador é acionado) e em veículos que usam combustíveis alternativos.
- Redução do teor de carbono do combustível empregado. Veículos movidos por combustíveis alternativos estão gerando grande interesse e incluem veículos totalmente elétricos e híbridos de eletricidade e gás (incluindo híbridos do tipo "plug-in"). O futuro também pode incluir veículos movidos a hidrogênio.

§ "Muito provavelmente" indica mais de 90% de certeza.

**Um relatório da OCDE de 2009 ⁽¹⁷⁾ aborda as estratégias de redução de emissões de gases do efeito

estufa em cinco áreas fundamentais: combustíveis, eficiência dos veículos, gestão de tráfego, políticas de administração da demanda (incluindo o uso do solo) e mudança de modo. Um relatório de 2007 preparado pela FHWA sobre "Benefícios das estratégias de transporte para as emissões de multipoluentes" ⁽¹⁰⁾ indica que as estratégias de transporte geralmente afetam as emissões através da redução da quilometragem percorrida pelos veículos (VMT — Vehicle Miles Traveled), bem como das viagens de veículos; redução de tempos em marcha lenta; mudança dos horários de viagem (por exemplo, de horários de pico para horários fora de pico); alteração das velocidades de tráfego ou do fluxo de tráfego; e alterações das características da frota de veículos (por exemplo, tipo de veículo, tamanho, combustível ou tecnologia de controle de emissões).

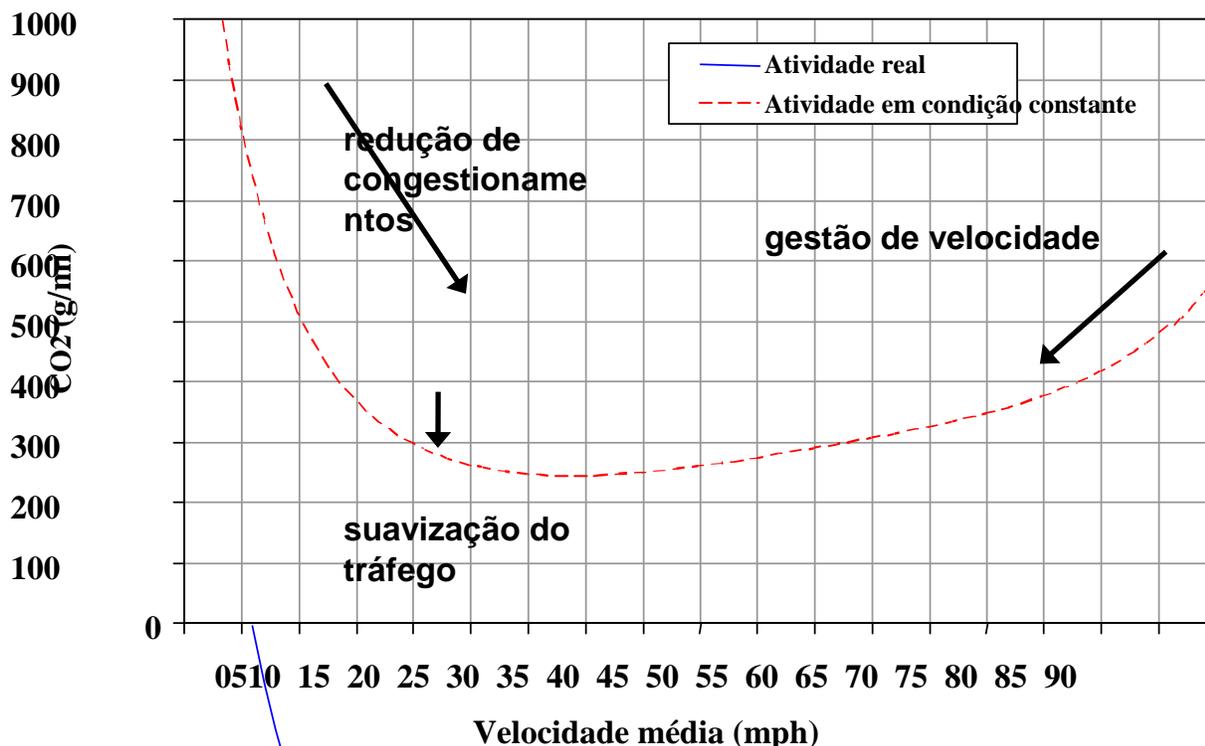
- Diminuição do tempo ao volante ou da quilometragem percorrida por veículo (VMT) Isso pode ser obtido através de melhorias nas alternativas de serviços de transporte coletivo a fim de promover mudanças de modos, medidas de gestão de demanda (como esquema de preço diante de congestionamento), medidas que viabilizem escritórios domésticos para eliminar viagens e, no longo prazo, políticas de uso do solo que promovam um desenvolvimento compacto e voltado para o transporte urbano.
- Operações do sistema de transporte podem ser melhoradas através de várias estratégias de TI e tecnologias ITS de apoio. Essas estratégias incluem, conforme discutido nos módulos anteriores, sinais sincronizados e adaptativos em cruzamentos; sistemas de gestão ativa de tráfego (ATM — Active Traffic Management), que permitam limites de velocidade variáveis e um controle de faixa dinâmico; sistemas de gestão de incidentes e emergências no trânsito; sistemas de prioridade para transporte coletivo em sinais de tráfego; informações em tempo real sobre tráfego e viagem multimodal; roteamento dinâmico; gestão de corredor integrado; sistemas inteligentes de transporte coletivo e estacionamento; cobrança de pedágio eletrônica e do tipo estrada aberta; e mais.

Reduções nos gases do efeito estufa proporcionadas pela TSM&O

Um exemplo de uma curva de emissões de CO₂ baseada na velocidade de um veículo típico percorrendo um trecho de rodovia (linhas azuis sólidas, como mostrado na Figura 4) foi desenvolvido por Matthew Barth e Kanok Boriboonsomsin¹⁸ no Centro de Pesquisa e Tecnologia Ambiental (CERT — Center for Environmental Research and Technology), da Universidade da Califórnia, em Riverside. A linha vermelha tracejada representa o limite inferior aproximado das emissões de CO₂ para veículos viajando em velocidades e condições constantes, como resultado da melhoria das operações de trânsito, incluindo:

- Estratégias de redução de congestionamentos que diminuem congestionamentos graves, de modo que velocidades médias de tráfego mais elevadas sejam obtidas (por exemplo, medição de rampa e administração de incidentes).
- Técnicas de suavização do fluxo de tráfego que podem harmonizar velocidades e suprimir ondas de choque, reduzindo o número de eventos de aceleração e desaceleração (por exemplo, limites de velocidade variáveis, designação dinâmica de faixas por uma gestão ativo do tráfego e adaptação de velocidade inteligente).
- Técnicas de gestão de velocidade que podem reduzir o excesso de velocidade para velocidades mais moderadas de aproximadamente 88 km/h (por exemplo, uma melhor fiscalização).

Figura 4. Uso de estratégias de operação de tráfego na redução das emissões de CO2 em estradas



Outra pesquisa sobre redução da emissão de gases de efeito estufa resultantes de TSM&O e ITS está resumida abaixo.

- A coordenação de sinais de tráfego é abordada em diversas referências. O relatório da Fundação para Tecnologia e Inovação em Informação sobre Sistemas de Transporte Inteligentes¹⁹ indica que "a aplicação de dados de tráfego em tempo real aos sinais luminosos de trânsito nos EUA pode melhorar o fluxo de tráfego de forma significativa, reduzindo paradas em até 40%, duração do percurso em até 25%, o consumo de gás em 10% e as emissões em 22% (redução das emissões de dióxido de carbono de 9.600 toneladas diárias)."

Um relatório publicado pelo ITE ("Impactos energéticos das melhorias nos transportes urbanos"²⁰) analisou dados de vários sistemas e concluiu que os benefícios da interconexão dos sinais de trânsito e a otimização do plano de sincronização proporcionaram uma redução no consumo total de combustíveis em toda a área (o que está diretamente relacionado às emissões de CO2) de 3,5%. O sistema adaptativo de controle de sinais de tráfego na cidade de Estocolmo, Suécia, (o projeto MATSIS 21) resultou em uma redução das emissões de CO2 de cerca de 2.900 toneladas por ano, com o "custo por kg da economia de CO2 entre os mais baixos de todos projetos ambientais realizados pela cidade de Estocolmo".

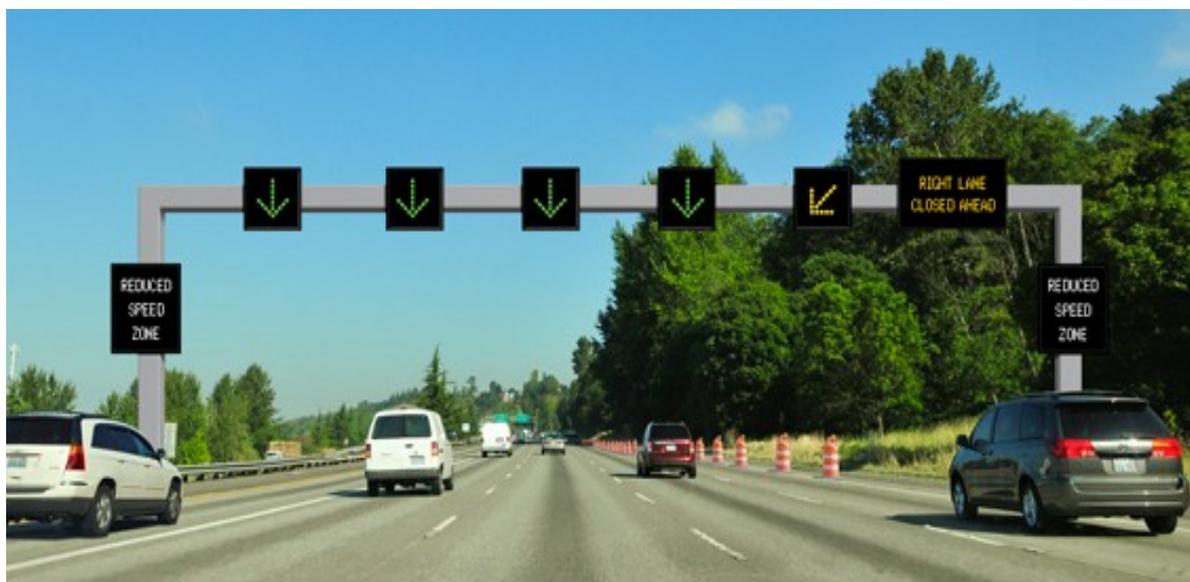
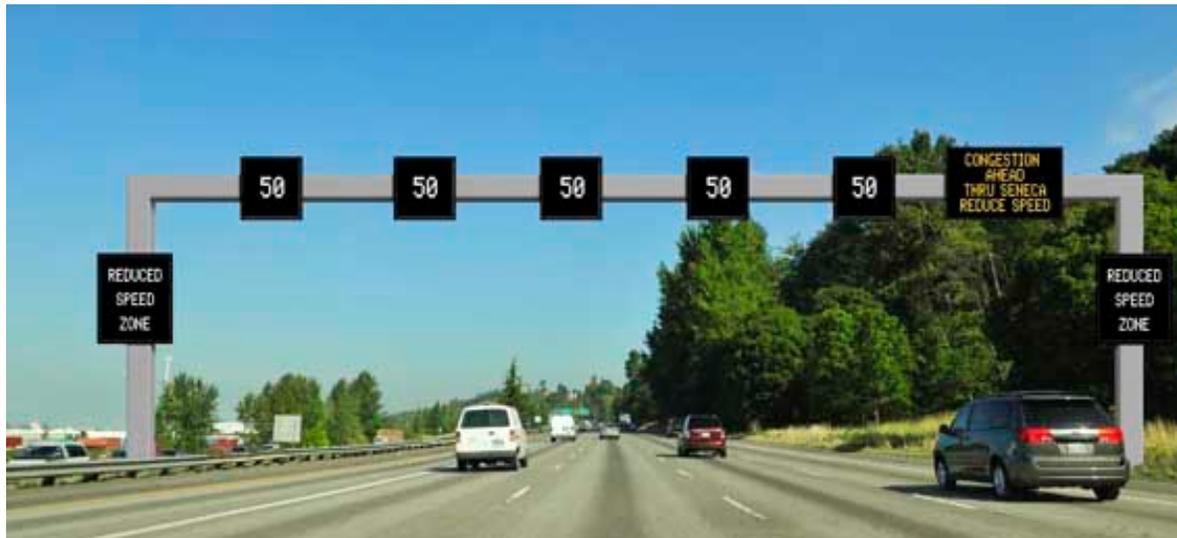
- Várias categorias de estratégias de TSM&O (incluindo estratégias de redução do congestionamento, como controle de rampa e gestão de incidentes; técnicas de gestão de velocidade (como fiscalização automatizada) que possam reduzir velocidades excessivas até um nível mais moderado (ou seja, 88 km/h); e técnicas de suavização do fluxo do tráfego (por exemplo, limites de velocidade variáveis) que reduzem a quantidade de ventos de aceleração

e desaceleração) foram analisadas por Barth e Boriboonsomsin²² usando um Modelo Abrangente de Emissões Modais, ou CMEM (Comprehensive Modal Emissions Model), para uma condição típica de tráfego no sul da Califórnia.

O estudo indicou que "cada um dos três métodos poderia baixar o CO₂ de 7 a 12%. Embora os efeitos individuais possam não ser tão grandes, o efeito sinérgico dos três métodos combinados pode resultar em uma quantidade maior (ou seja, quase 20%)".

- Um sistema que forneceria recomendações dinâmicas de velocidade para motoristas com base nas condições do tráfego (por exemplo, nível de serviço e níveis de congestionamento) e outras variáveis externas, como condições meteorológicas, também foi avaliado por Barth e Boriboonsomsin²³ através do modelo CMEM e usando dados do Sistema de Medição de Desempenho das Vias Expressas da Califórnia. Foi determinado que o oferecimento dessa consultoria dinâmica aos motoristas (com consequente suavização do tráfego durante condições congestionadas) poderia resultar em aproximadamente 10 a 20% de redução no consumo de combustível e nas emissões de CO₂, sem afetar drasticamente os tempos de percurso em geral. (Nota: A análise partiu do princípio de que as sugestões dinâmicas de velocidade seriam oferecidas através de um dispositivo a bordo do veículo, porém a mesma informação poderia ser fornecida através de um sinais de limites de velocidade variável instaladas como parte de um sistema ativo de administração do tráfego, conforme mostrado na Figura 5.)
- Um estudo de um sistema de limite de velocidade variável na M25 ao redor de Londres, Inglaterra,²⁴ indica que "os objetivos principais originais do projeto foram suavizar o fluxo do tráfego, melhorar os tempos de percurso, a confiabilidade no tempo do percurso e o uso de faixas, e reduzir a incidência de paradas e partidas, com remoção de parte do estresse ao volante. Realizações notáveis posteriores incluíram o desenvolvimento de uma tecnologia comprovada e a redução de problemas ambientais (ou seja, ruído e poluição)". Além da redução do número típico de ondas de choque durante as horas do tráfego intenso da manhã e do número e da gravidade dos incidentes, "a emissões foram diminuídas, no geral, entre 2 e 8%. O ruído do tráfego semanal adjacente ao esquema foi reduzido em 0,7 dB."
- O relatório da Fundação para Tecnologia e Inovação em Informação sobre ITS25 indicou que "em 2010, o Japão espera reduzir as emissões de CO₂ em 31 milhões de toneladas abaixo dos níveis de 2001, com a redução de 9 milhões de toneladas proveniente de veículos com maior eficiência de combustível, 11 milhões de toneladas de melhorias no fluxo do tráfego e 11 milhões de toneladas do uso mais eficiente dos veículos, sendo os dois últimos fatores resultantes diretamente dos investimentos do país em ITS".

Figura 5. ATM consistindo em limites de velocidade variáveis e harmonização da velocidade



Fonte: Cortesia do DOT do Estado de Washington.

Esses resultados indicam fortemente que as estratégias de TSMO e suas tecnologias de ITS de apoio têm um papel importante a desempenhar na redução das emissões dos gases do efeito estufa provenientes da rede de transportes de superfície. Nem todas essas pesquisas, no entanto, têm sido tão favoráveis às estratégias de ITS e sua capacidade de reduzir as emissões de gases do efeito estufa. A mais notável delas é "Moving Cooler: An Analysis of Transportation Strategies for Reducing Greenhouse Gas Emissions" (*Análise das estratégias de transporte para redução das emissões de gases do efeito estufa*)²⁶ O texto do relatório resume as operações e o ITS como segue:

Alterações do sistema de transporte que melhoram o fluxo de tráfego em geral propiciam uma redução dos gases do efeito estufa de aproximadamente 0,1% em comparação com medições de referência††

Juntas, essas melhorias nas operações do sistema podem resultar em reduções cumulativas de até 0,6% em relação às medições de referência. Considerados os investimentos de tecnologia presumidos com base nessas melhorias, os custos de implantação para a maioria tendem a ser maiores do que as economias previstas no custo por veículo. É preciso lembrar, porém, que a redução de custo dos veículos, avaliada no dito relatório, não inclui os custos associados à duração do percurso e aos benefícios de segurança, que são os benefícios mais substanciais dessas estratégias.

Essa "redução cumulativa de 0,3 a 0,6%" nas emissões de CO2 em um período de 40 anos oriundas de ITS é muito baixa quando comparada aos resultados de outros estudos e análises resumidos acima. Além disso, é mais baixa do que a maioria das outras estratégias avaliadas, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo dos resultados do relatório "Moving Cooler"

Reduções cumulativas nas emissões de gases do efeito estufa	Mín	Máx
Seguro PAYD + Taxas VMT	1,2 %	7,1 %
Esquema de preço diante de congestionamento regional	0,8 %	1,8 %
Estratégias combinadas de uso do solo	0,3 %	2,1 %
Estratégias combinadas para pedestres/bicicletas	0,2 %	0,5 %
Economias de capital no transporte coletivo	0,4 %	1,1 %
Estratégias de transporte baseadas no empregador	NA	1,7 %
Limites de velocidade mais baixos/fiscalizados	2,0 %	3,6 %
Direção Ecológica	1,1 %	2,7 %
ITS/Operações	0,3 %	0,6 %
Cargas (APUs de caminhões/Capacidade ferroviária)	NA	0,4 %
Expansão rodoviária/Melhorias no estrangulamento do tráfego	Aumento nas emissões de gases do efeito estufa	

Uma revisão dessa tabela traz duas questões:

- Várias outras estratégias, especialmente um esquema de preço diante de congestionamento e limites de velocidade mais baixos/fiscalizados, precisam que as tecnologias de ITS operem com eficiência. Além disso, a direção ecológica (conforme discutida em detalhes mais adiante no presente módulo) pode se beneficiar da TSM&O e do ITS.

†† O Sumário Executivo indica: "A implantação do conjunto completo de aprimoramentos operacionais e de ITS poderia obter de 0,3 a 0,6% de reduções acumuladas".

‡‡ A avaliação da Zona de Esquema de Preço Diante de Congestionamento em Londres, mencionada acima,

identificou uma redução de 16% nas emissões de dióxido de carbono (CO2)

- Possíveis motivos para os resultados de ITS/Operações no relatório "Moving Cooler" terem sido tão inferiores aos de outros estudos.

Um documento preparado pela ITS America²⁷ examinou os resultados e pressupostos do relatório "Moving Cooler" no que tange às estratégias de TSM&O e respectivas tecnologias de ITS de apoio e identificou vários motivos prováveis para as diferenças entre aquele relatório e os resultados de outros estudos. De longe, a diferença mais significativa envolveu pressupostos relativos à demanda induzida. Considerando-se que os outros estudos e análises analisados anteriormente estimam as reduções nas emissões de gases do efeito estufa imediatamente ou após apenas alguns anos após a implantação de estratégias operacionais e ITS, as análises do "Moving Cooler" abrangem um período de 40 anos e incluem uma estimativa de VMT induzida. Especificamente, o impacto dessa demanda induzida nas estratégias de operação, conforme calculado pelo "Moving Cooler", é uma média compensada de 63 a 74% das reduções acumuladas de gases do efeito estufa resultante de menores retardos. Essa inclusão (ou não inclusão) da demanda induzida nas análises é responsável por grande parte, talvez a maior parte, da disparidade dos resultados.

Considerações sobre demanda induzida

A questão da demanda induzida não é trivial. Muitos na comunidade ambiental acham que grande parte dos aprimoramentos que a tecnologia de ITS oferece será eliminada com o tempo pela demanda induzida. Ou seja, o tráfego adicional começará a usar as vias como resultado das iniciativas para melhorar os tempos de percurso e a confiabilidade geral. No passado, isso não era visto como um obstáculo, porque o tráfego e a VMT estão altamente relacionados ao crescimento econômico. Contudo, se a redução dos gases do efeito estufa é uma das metas para o transporte sustentável, a comunidade de ITS precisa resolver esse problema. Além disso, pesquisas e pressupostos relacionados à demanda induzida (decorrente da melhoria de tempos de percurso) têm sido baseados em adições de capacidade, algo muito diferente do aumento da eficiência da infraestrutura existente proporcionado pela tecnologia de transporte.

Uma análise aprofundada da demanda induzida está além do escopo deste documento, mas algumas considerações importantes devem ser mencionadas.

- Demanda induzida pode ser definida como "a viagem adicional que acontece como resultado da redução do custo geral das viagens (excluindo aumentos independentes devido ao crescimento populacional e de renda). Em termos econômicos, quando o preço geral das viagens diminui porque a viagem está mais fácil, ou mais rápida, ou mais conveniente (por exemplo, um aumento na oferta), a quantidade adicional de viagens resultante é induzida pela demanda. O maior elemento desse preço, ou "custo generalizado," é a duração do percurso. Outros componentes do preço generalizado incluem combustível, manutenção, acidentes/seguro, uso e propriedade, taxas e estacionamento". ²⁸
- A grandeza da demanda induzida é normalmente identificada por períodos de curto prazo e de longo prazo, refletindo diferentes efeitos comportamentais. Efeitos de curto prazo podem incluir alterações em horários de partida, trocas de rota, trocas de modo, viagens mais longas e algum aumento na geração de viagens. Efeitos de longo prazo dizem respeito à forma como os padrões de uso do solo e de desenvolvimento se ajustam ao novo quadro de maior acessibilidade, gerando posteriormente viagens novas ou prolongadas.
- Parece que toda a pesquisa sobre demanda induzida e as estimativas resultantes de elasticidade, incluindo valores da análise "Moving Cooler", tiveram por base os efeitos

induzidos pela demanda da nova capacidade de transporte de (por exemplo, expansão de estradas já existentes ou construção de novas instalações).

Estratégias de TSM&O e capacidades adicionais não são a mesma coisa. Em geral, estratégias operacionais e ITS de apoio não adicionam capacidade (com a possível exceção da combinação de novas tecnologias com os recursos viários existentes conhecida como "Hard Shoulder Running"). Em vez disso, elas promovem um uso mais eficiente da capacidade existente, maximizando o potencial de rendimento da infraestrutura (conforme definido pela capacidade da instalação). Ações voltadas para a capacidade consistem mais no aumento da mobilidade em período de pico, enquanto ações de eficiência visam aumentar a qualidade do fluxo (ou seja, gerenciar e, se possível, reduzir o congestionamento) durante todo o dia, uma distinção importante.²⁹ Além disso, as estratégias de TSM&O podem contribuir para preservar o solo e reduzir a expansão pela limitação do desenvolvimento de novas infraestruturas, reduzindo ou retardando a necessidade de construir capacidades viárias adicionais e contribuindo para o princípio de "corrigir antes de mudar".³⁰

A maior eficiência e qualidade do fluxo resultante do ITS reduz o tempo (e o custo) de percurso de uma viagem, também podendo aumentar a confiabilidade e, assim, permitir que usuários recalculam seu tempo de deslocamento para mais próximo de seu tempo preferido. Os aspectos econômicos indicam que essas melhorias, por sua vez, induzem a um consumo adicional e um aumento na VMT. Sendo assim, não há dúvida de que existem alguns níveis de demanda induzida no curto prazo. É preciso também questionar, contudo, se novos desenvolvimentos e geradores de viagens já foram construídos (ou seja, o conceito de demanda induzida de longo prazo) devido a um aprimoramento na coordenação de sinais de trânsito, em programas de gestão de acidentes, no controle de rampas e em outros aspectos operacionais e de ITS. Geralmente o que acontece é o inverso: estratégias de TSM&O e ITS são implantadas em resposta a novos desenvolvimentos e geradores de viagens. Há necessidade de mais pesquisa, porém um forte argumento diz que os impactos da demanda induzida de TSM&O/ITS são muito menos considerados nas análises do relatório "Moving Cooler".

TSM&O e potenciais compensações de carbono

A questão da demanda induzida e seu impacto nos benefícios no longo prazo da redução dos gases do efeito estufa resultante de TSM&O poderia se tornar muito importante no futuro, se os mercados de carbono em todo o mundo se expandirem e amadurecerem. A eliminação das emissões de gases do efeito estufa oriunda de medidas de TSM&O pode vir a ser convertida em créditos de compensação comercializáveis, que por sua vez poderiam ser vendidos como parte de um programa do tipo "cap-and-trade" (em que limites de emissões geram créditos negociáveis), proporcionando dessa forma outra fonte de receita pela implantação de medidas de TSM&O e ITS.

(Entidades que comprem créditos os usariam para ajudar a cumprir suas metas de conformidade.)

Há um exemplo de TSM&O/ITS disso. O Gabinete de Transportes de Portland (Oregon) liderou um projeto para aprimorar a sincronização dos sinais de trânsito em 17 grandes vias principais, incluindo algumas das mais congestionadas de Portland. Os custos da cidade com o programa foram cobertos por um contrato com pagamentos vinculados ao desempenho, celebrado com a The Climate Trust, segundo o qual essa organização sem fins lucrativos faria pagamentos à

cidade com base nas emissões de CO2 economizadas pelo projeto de otimização dos sinais de trânsito. Em seguida, a cidade transferiu a propriedade dos créditos de CO2 oriundos da redução de emissões proporcionada pelo projeto para a The Climate Trust, que recolheu os créditos.

§§ "Cap and Trade" é um programa em que o governo garante a redução de emissões estabelecendo um limite obrigatório para as emissões globais abaixo dos níveis de poluentes existentes e oferecendo fontes abrangidas pelas permissões de emissão equivalentes ao limite de emissões que podem ser comprados ou vendidos (negociados). O limite de emissões diminui ao longo do tempo, até que atinja o limite de emissões globais desejado. O governo pode distribuir permissões de emissão, seja gratuitamente ("alocação"), por venda (leilão), ou uma combinação desses modos.

Uma compensação de gases do efeito estufa representa uma redução, prevenção, destruição ou um sequestro de emissões de gases do efeito estufa de uma fonte não abrangida por uma exigência de redução de emissões. Antes que um projeto possa criar um crédito de compensação, as reduções nas emissões devem atender critérios geralmente de várias categorias, incluindo:

- Reais: as reduções nas emissões de gases do efeito estufa devem ser reais.
- Mensuráveis: as reduções nas emissões de projetos de compensação devem ser quantificadas com exatidão.
- Adicionais: as reduções em projetos de compensação devem demonstrar que são adicionais às reduções que ocorreriam sem a compensação.
- Monitoradas: projetos de compensação devem ser monitorados para garantir que haja redução nas emissões.
- Com verificação independente: todas as reduções de gases do efeito estufa devem ser verificadas por terceiros ou repartição governamental conforme metodologias aceitas.
- Medidas com base em referências confiáveis: valores de referência confiáveis, ou estimativas de emissões sem o projeto, devem ser estabelecidos para medição das reduções no projeto de compensação.
- Permanentes: reduções nas emissões por compensação podem, algumas vezes, ser revertidas, seja por intervenção humana ou por atos da natureza.

O projeto de TSM&O/ITS deve qualificar todos esses itens, muito embora, conforme notado anteriormente, muitas pessoas na comunidade ambiental não acreditam que os benefícios da redução dos gases do efeito estufa sejam permanentes, por causa da demanda induzida. Essa é uma questão que merece pesquisas adicionais.

Direção Ecológica

Direção ecológica é o conceito de mudar o comportamento na direção e a manutenção do veículo para afetar o consumo de combustível e as emissões de gases do efeito estufa dos veículos existentes. *Ecológica* também significa econômica. Inúmeros recursos e orientações sobre direção ecológica podem ser encontrados na Internet.^{31,32,33,34}

A Tabela 3 apresenta um resumo das melhores práticas de direção ecológica.

Tabela 3. Resumo das melhores práticas de direção ecológica

<p>Ao dirigir</p> <ul style="list-style-type: none">• Antecipe o fluxo do tráfego (agir em vez de reagir)• Evite partidas e paradas súbitas (acelere e freie suavemente)• Mantenha uma velocidade na rodovia ideal para uma boa quilometragem• Entre na onda verde• Use o controle de cruzeiro• Navegue de forma a reduzir o dióxido de carbono• Evite viagens curtas• Evite o excesso de marcha lenta (desligue motor quando parado)• Use a marcha mais alta possível• Minimizar o uso do ar condicionado• Compre um passe automático para estradas com pedágio

Manutenção e outras considerações

- Mantenha os pneus cheios corretamente
- Obedeça a sua luz de aviso para verificar o motor (manutenção regular)
- Escolha o óleo certo
- Retire o excesso de peso
- Otimize a aerodinâmica do veículo

Não há tecnologias associadas à direção ecológica, conforme definida no estudo "Moving Cooler". Em vez disso, essa estratégia e as reduções resultantes nas emissões de gases do efeito estufa dependem de uma mudança na eficiência do comportamento de cada motorista e do aprimoramento da manutenção do veículo, através de campanhas de conscientização pública e programas de treinamento.^{***}

Esses programas educacionais têm sido bem-sucedidos em vários países europeus e agora estão ganhando destaque na América do Norte. Como prática, a promoção da direção ecológica através da educação pública e da disseminação de informações baseadas na Internet vem ganhando atenção entre montadoras, formuladores de políticas e pesquisadores, por seu baixo custo de implantação. Além disso, as práticas de direção ecológica podem ser aplicadas a quase todos os veículos. Um estudo recente³⁵ na Universidade da Califórnia, em Berkeley, avaliou a eficácia da informação estática sobre condução ecológica baseado na web. Uma comparação entre um grupo experimental e um grupo de controle descobriu que a exposição a informações sobre direção ecológica influenciou o comportamento na direção e as práticas de manutenção das pessoas. No geral, 57% dos entrevistados do grupo experimental aumentaram sua pontuação de direção ecológica. A mudança de distribuição no grupo experimental foi estatisticamente significativa, especialmente no que tange às principais práticas, incluindo velocidades de cruzeiro mais baixas em rodovias e ajustes do comportamento na direção. O número de entrevistados que mudaram de forma significativa suas práticas de manutenção (16%) foi menor do que a maioria que alterou suas práticas de direção (71%), sugerindo que alterar seu comportamento na direção é mais fácil do que planejar melhores práticas de manutenção.

†††

É claro que nem todo mundo modifica seu comportamento como resultado de informações estáticas e algumas pessoas só o fazem em pequenos aspectos. Várias estratégias de TSM&O e tecnologias de ITS podem promover ainda mais diversas práticas recomendadas de direção ecológica. Por exemplo:

- Antecipar o fluxo do tráfego (agir em vez de reagir): um dos principais objetivos de informações para o usuário em tempo real durante o percurso, além da designação dinâmica de faixas, é informar os motoristas sobre as condições adiante, para que possam antecipá-las e tomar decisões informadas.
- Manter uma velocidade em rodovia ideal: essa é uma das metas dos limites variáveis de velocidade e da harmonização de velocidade, conforme previsto pelo ATM. Um fluxo de tráfego mais suave também é proporcionado por diversas estratégias de TSM&O, incluindo gestão de incidentes, controle de rampa, gestão de corredor integrado e outras.
- Usar a onda verde: antes de tudo, isso requer a implantação de sistemas de gestão do tráfego das vias principais para criar a onda verde.

- Navegar de modo a reduzir o CO2: isso pode ser bastante aprimorado por informações em tempo real para o usuário, que por sua vez precisará de tecnologias de ITS para coletar essas informações de todas as instalações e modos que compõem a rede de transporte, a fim de integrar as informações de diferentes fontes e, então, apresentá-las de maneira que o usuário possa tomar decisões informadas sobre tempo de viagem, modo de viagem, ou se a viagem deverá ser feita.

*** O relatório *Moving Cooler* indica que a direção ecológica proporciona "reduções cumulativas dos gases do efeito estufa entre 1,1% e 2,7% em relação às medições de referência (se amplamente adotada e praticada)".

††† Informações adicionais sobre a pesquisa da direção ecológica podem ser encontradas em <http://itswc.confex.com/itswc/AM2012/flvgateway.cgi/id/1801?recordingid=1801>, uma apresentação ("*Atualização sobre a Pesquisa de Direção Ecológica da Universidade da Califórnia, em Riverside*"), apresentada por Matthew Barth, professor de engenharia da UCR.

Tradicionalmente, sistemas de navegação usam algoritmos para tentar minimizar distâncias ou tempos de viagem. Agora, novas técnicas de navegação estão sendo desenvolvidas para minimizar o consumo de energia e as emissões veiculares. Vários aplicativos de smartphones estão disponíveis para medir a pegada de carbono e os hábitos de direção em uma viagem.

Tecnologias e aplicações para veículos conectados facilitarão a direção ecológica (por exemplo, veículo para veículo (V2V) e comunicações usando informações da rede rodoviária).

Fornecedores do mercado de reposição já estão oferecendo funções de feedback para o motorista que informam o consumo de combustível e o nível de emissões, além de propiciarem intervenções que fornecem sugestões para o motorista sobre como dirigir, em tempo real.

Potenciais aumentos de emissões oriundos de medidas de TSM&O e ITS

Embora estratégias de TSM&O e suas tecnologias de ITS de apoio possam reduzir as emissões diretas (incluindo de gases do efeito estufa) nas proximidades de uma rede de transportes, também podem aumentar a pegada de carbono total de uma repartição de transporte pelo aumento de emissões indiretas, como a energia elétrica para dispositivos ITS e equipamento de TMC, aquecimento e arrefecimento de TMC e viagens adicionais entre casa e trabalho do novo pessoal de TMC. Várias entidades envolvidas no transporte são membros da Climate Registry, que desenvolveu um protocolo geral de relatório que discrimina o que relatar, como quantificar emissões e como relatar emissões.³⁶ Ao desenvolver e conceber sistemas baseados em ITS, toda a pegada de carbono deve ser considerada. Pode ser viável o uso de fontes renováveis de energia para operação e manutenção de instalações de transporte, reduzindo dessa forma a pegada de carbono.

Adaptação às alterações climáticas

Alterações climáticas não são um fenômeno novo na história do planeta. Durante milênios, o planeta já experimentou ciclos de aquecimento e esfriamento, resultantes da sempre dinâmica órbita terrestre ao redor do sol e da rotação vacilante do planeta em torno de seu próprio eixo, variações nas descargas solares e, mais recentemente, atividades humanas (como as emissões de gases do efeito estufa provenientes dos combustíveis fósseis e do desmatamento).

As consequências das mudanças climáticas e das variações de temperatura têm sido significativas, contribuindo para mudanças nos equilíbrios regionais e entre diferentes regiões e impactando padrões de migração, crescimento populacional e desenvolvimento social no mundo antigo. Em seu livro "Por que o Ocidente manda — por enquanto"³⁷, Ian Morris chama a mudança climática de um dos quatro cavaleiros do apocalipse, contribuindo para reviravoltas na civilização.

Houve muitos desses períodos de aquecimento e esfriamento ao longo da história do planeta.

§§§

E assim continua até o presente. As estatísticas do Centro Nacional de Dados Climáticos (NCDC — National Climate Data Center), indicam que dos 10 anos mais quentes já registrados (desde que esses registros começaram em 1880), nove ocorreram na última década (2001 a 2010), com 2008 em 11º lugar.

‡‡‡ Essa informação se baseia em "reconstruções de temperatura" usando datas como coeficientes entre dois isótopos de oxigênio em núcleos de gelo, larguras de anéis em árvores, coeficientes de estrôncio e cálcio em recifes de coral e sedimentos em oceanos e lagos.

§§§ Por exemplo: por volta de 200 aC, mudanças climáticas contínuas inauguraram o que os climatologistas chamam Período Quente Romano Warm Period, correspondendo à ascensão do Império Romano, como se este fosse empurrado para áreas que o aquecimento tornou mais produtivas para a agricultura (por exemplo, França, Romênia, Inglaterra).

Além disso, reconstruções de temperatura indicam que as temperaturas médias da superfície do globo nos últimos 25 anos têm sido maiores do que em período comparável desde 1600 dC e provavelmente desde 900 dC.³⁸

Conforme o IPCC,³⁹ o aumento nas temperaturas da última década demonstram uma elevação mais rápida da temperatura do que em décadas anteriores, com 11 dos 12 anos de 1995 a 2006 estando entre os mais quentes registrados na história. As mudanças têm sido maiores sobre massas terrestres e em latitudes setentrionais, incluindo a América do Norte. Mudanças de temperatura afetam outros aspectos do clima, como padrões de vento, tempestades e precipitação. Os aumentos nas temperaturas globais desde os tempos pré-industriais têm correspondido a um aumento nos níveis atmosféricos dos gases do efeito estufa.

Há muitos exemplos recentes de condições climáticas extremas, como:

- A tempestade de neve de dezembro de 2010, em Nova York, que deixou muitas pessoas presas em vagões de metrô e trem desaquecidos. Em seguida, veio a segunda maior nevasca de janeiro no sul da Nova Inglaterra, causando o desabamento de muitos telhados.
- A tempestade de fevereiro de 2011 que paralisou estados do Centro-oeste até a Nova Inglaterra, deixando muitos motoristas e usuários dos transportes coletivos presos em vários estados do país. Artigos da Associated Press notaram que a tempestade deixou aproximadamente 60 cm de neve em seu caminho, cobrindo mais de 3.000 quilômetros, prejudicando aeroportos e isolando motoristas do Texas a Dakota do Sul, onde autoridades resgataram motoristas presos em mais de 150 veículos.
- A intensa onda de calor na Califórnia em 2010, cujas temperaturas registraram um recorde inédito de 43 °C no Centro de Los Angeles, causando falta de energia e aumentando a preocupação com incêndios florestais.
- Ondas de calor causaram 40.000 mortes, levantando preocupações significativas de saúde, durante o calor europeu de 2003 e a onda de calor de 2010 em Moscou, Rússia.
- As inundações de 2010 no norte de Nova Gales do Sul e ao sul de Queensland, na Austrália, que puseram fim a uma década de seca (considerada a pior da Austrália em um século), foram seguidas por outra enchente em Queenstown, na Austrália, em janeiro de 2011, com três quartos do estado declarados zona de desastre.
- A supertempestade Sandy, que no final de outubro 2012 causou estragos em partes da Costa Leste dos EUA, especialmente em Nova Jersey e Nova York, resultando em mais de 125 mortes e cerca de US\$ 62 bilhões em danos e outras perdas nos Estados Unidos.

Registros indicam que o clima se voltou contra a humanidade, terminando esse período de aquecimento com temperaturas caindo cerca de 2° F entre 200 e 500 dC, resultando em verões mais frios e secos (o que os climatologistas chamam de a Era Glacial da Idade da Escuridão). A ela se seguiu um "Período de Aquecimento Medieval", entre 1000 e 1300 dC, quando as temperaturas em toda a Eurásia de aumentaram 1 a 2 °F e a precipitação diminuiu em talvez 10%. No norte da Europa frio e úmido, essa mudança provavelmente foi bem-vinda, com a população duplicando. Contudo, no núcleo islâmico mais quente e seco, a população provavelmente caiu em 10%.

Assim como as mudanças climáticas afetam a história do desenvolvimento econômico e social, a rede de transporte e o acesso que oferece (ou não) também influencia os processos de desenvolvimento. A rede de transporte (e outros sistemas) deve, portanto, estar preparada para se adaptar às condições climáticas severas que podem ser esperadas para o futuro. Conforme discutido em um artigo na Circular E- C152 do Conselho para Pesquisa de Transportes (TRB — Transportation Research Board): "Adaptação dos transportes aos impactos das mudanças climáticas"⁴⁰, organizações de planejamento metropolitana (MPO — Metropolitan Planning Organizations), regionais e departamentos de transporte (DOT) estaduais e os departamentos terão de considerar abordagens operacionais adequadas de curto prazo e processos de planejamento de longo prazo para se adaptarem às mudanças na rede de transporte resultantes do aquecimento global e minimizar potenciais impactos das mudanças climáticas sobre o sistema de transporte, seja diminuindo a vulnerabilidade do sistema, ou aumentando sua capacidade de resistência, ou alguma combinação dessas medidas.

Um relatório do TRB41 identifica várias condições resultantes das alterações climáticas, que são de particular importância para o sistema de transporte nos Estados Unidos. Estratégias de TSM&O serão cada vez mais necessárias para ajudar na adaptação a esses eventos, conforme resumido na Tabela 4 (com as duas primeiras colunas retiradas diretamente do relatório do TRB).

Tabela 4. Potenciais impactos das mudanças climáticas na infraestrutura de transportes

Mudanças Climáticas	Impacto no Transporte	Considerações Operacionais
Aumento nos dias muito quentes	<ul style="list-style-type: none"> • Amolecimento e distorção de pavimentos • Expansão térmica de juntas de dilatação de pontes • Deformidades em trilhos ferroviários • Limitações de períodos de atividade de construção devido a preocupações de saúde e segurança • Superaquecimento de veículos (resultando em incidentes nas estradas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de velocidade menores e variáveis (via ATM) • Restrições para caminhões • Desvios em estradas e do transporte coletivo • Gestão de zonas de trabalho (adequando-se ao fechamento adicional de faixas) • Aumento nas atividades de gestão de incidentes
Elevação do nível do mar	<ul style="list-style-type: none"> • Inundações de estradas, túneis e linhas ferroviárias no litoral • Erosão de suportes de estradas e pontes (escavação) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fechamento de estradas e faixas • Interrupção do serviço de transporte coletivo • Desvios em estradas e do transporte coletivo
Aumento nos eventos de precipitação intensa	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento nos atrasos e interrupções de trânsito relacionados às condições meteorológicas • Aumento de incidentes • Erosão de suportes de estradas e pontes (escavação) 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de velocidade menores e variáveis (via ATM) • Fechamento de estradas e faixas • Restrições para caminhões • Desvios via ICM • Aumento nas atividades de gestão de incidentes

Aumento nas condições de seca de algumas regiões	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento na susceptibilidade a incêndios florestais e redução da visibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Limites de velocidade menores e variáveis via ATM • Fechamento de estradas • Desvios via ICM • Aumento nas atividades de gestão de incidentes
Aumento na intensidade de furacões	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuações de emergência mais frequentes e potencialmente mais extensas 	<ul style="list-style-type: none"> • Operações de faixas no contrafluxo • Controle e fechamento de rampas • Gestão de Corredor integrado (ao longo de rotas de evacuação)

Um elemento subjacente a todas as considerações e estratégias operacionais apresentadas na Tabela 4 diz respeito ao fornecimento de informações em tempo real para usuários sobre impactos nos transportes em curso e como podem afetar suas viagens, alertando-os sobre modificações à norma (por exemplo, limites de velocidade reduzidos e faixas fechadas), permitindo assim que tomem melhores decisões sobre como viajar (modo), quando viajar (tempo), para onde e se viajar (localização) e por que rota viajar (caminho). Além disso, dado o amplo alcance geográfico dos impactos de mudanças climáticas, é preciso abordar soluções operacionais para reduzir os impactos no transporte em bases regionais.

Conforme as mudanças climáticas continuam a afetar cada vez mais a rede de transportes, a incorporação de dados meteorológicos, assim como de informações sobre condições da infraestrutura de transporte, em algoritmos automatizados e de prognóstico e ferramentas de apoio à tomada de decisões operacionais se tornará ainda mais importante. A Tabela 5 identifica algumas das tecnologias e dos algoritmos existentes e emergentes para coleta em tempo real de dados sobre condições meteorológicas e monitoramento das condições da infraestrutura.

Tabela 5. Tecnologias e algoritmos para monitoramento da infraestrutura de transportes

<ul style="list-style-type: none"> • Estação de sensor ambiental (ESS — Environmental Sensor Station). Localização viária com um ou mais sensores fixos de medição das condições atmosféricas, do calçamento e/ou dos níveis hídricos. <ul style="list-style-type: none"> ○ Dados atmosféricos incluem temperatura e umidade do ar, distância de visibilidade, velocidade e direção do vento, tipo e taxa de precipitação e qualidade do ar. ○ Dados de pavimentação incluem temperatura do pavimento, ponto de congelamento do pavimento, condição do pavimento (por exemplo, se molhado, congelado ou inundado), concentração química do pavimento e as condições do subsolo (por exemplo, temperatura do solo). ○ Dados do níveis hídricos também podem incluir níveis de córregos, rios e lagos nas proximidades de estradas. • Monitoramento da escavação em pontes. A escavação de pontes é a remoção de solo, areia, rochas em torno de fundações de pontes, comprometendo a integridade da estrutura. É uma causa comum de fadigas de pontes nos Estados Unidos. O aumento da intensidade de eventos de precipitação pode aumentar o potencial de falhas e escavações.
--

A própria infraestrutura de ITS, incluindo as centrais de gestão de transportes, também pode precisar de ser reforçada (por exemplo, com servidores remotos de backup, backup de bateria para sinalização essencial em estradas e backup de comunicações para essa sinalização), para

que as tecnologias possam continuar a funcionar durante e imediatamente após eventos meteorológicos severos. O período imediatamente após um evento meteorológico severo, quando moradores querem voltar para suas casas e retomar o trabalho, pode ser o mais importante para que um certo grau de normalidade (uma forma de habitabilidade, talvez) possa ser alcançado o mais rápido possível.

Informações em tempo real sobre meteorologia e condições da infraestrutura também deverão ser compartilhadas entre órgãos competentes envolvidos na operação do sistema de transportes (por exemplo, TMC) e na resposta a um evento meteorológico extremo (por exemplo, uma central de operações de emergência), para auxiliar nos processos de tomada de decisões. Considerando-se as recentes tendências climáticas, a interdependência entre atividades tende a aumentar e, assim, uma abordagem eventual se torna menos apropriada. A criação e o uso de procedimentos padronizados de operação entre repartições podem contribuir para o compartilhamento de dados sensíveis urgentes.

Uma iniciativa da FHWA já em andamento há vários anos tem sido a integração e o uso compartilhado do sistema de informações meteorológicas para rodovias (RWIS — Road Weather Information System). Programas e atividades específicas incluem:⁴²

- O sistema *Clarus*, projetado para permitir que vários órgãos públicos possam avaliar com mais exatidão as condições climáticas e da pavimentação, bem como seus impactos sobre as operações. Esse conhecimento é fundamental para o planejamento, a realização e a avaliação da eficácia de atividades, como manutenção de inverno em estradas, gestão do tráfego conforme a meteorologia, difusão de informações para usuários, administração da segurança, despacho de veículos de transporte coletivo e controle de inundações.
- Pesquisa sobre viabilidade do uso de veículos como plataformas para sensores meteorológicos móveis.
- Diretrizes para instalação de estações de sensor ambiental (ESS — Environmental Sensor Station), do RWIS no ambiente rodoviário, para aumentar a capacidade de observação.
- Sistema de apoio a decisões de manutenção (MDSS — Maintenance Decision Support System), ferramenta que integra previsões meteorológicas rodoviárias pertinentes, regras de práticas de manutenção codificadas e dados de recursos de manutenção, visando oferecer estratégias recomendadas para o tratamento de estrada a gerentes de manutenção de inverno.
- Análise de fatores humanos da consultoria sobre meteorologia rodoviária e do controle de informações, a fim de identificar as necessidades do usuário em termos de informações meteorológicas (tanto antes quanto durante a viagem) e determinar as mensagens e os métodos mais eficazes para comunicar informações sobre a meteorologia rodoviária.
- Integração da meteorologia às centrais de gestão de tráfego, incluindo um guia de autoavaliação para ajudar TMCs a avaliar suas necessidades de integração de informações meteorológicas e ajudar na criação de um plano para atender essas necessidades.

Essas atividades gestão da meteorologia rodoviária também podem contribuir para a sustentabilidade ambiental. Exemplos da base de dados de benefícios de ITS da FHWA (www.itsbenefits.its.dot.gov) incluem:

- Dados de avaliações mostram que estratégias contra congelamento e encharcamento podem reduzir as aplicações de areia em 20 a 30%, as aplicações de produtos químicos em até 10% e o escoamento de cloro e sedimentos para os cursos de água locais.
- O pessoal de manutenção de inverno indicou que medidas de RWIS reduziram o uso de sal, enquanto técnicas anticongelamento limitaram os danos à vegetação marginal, às águas subterrâneas e à qualidade do ar (onde houve aplicação de abrasivos).

Medição de desempenho

"Sustentabilidade é a próxima grande jogada nos transportes. O jogo fica sério quando acompanhamos o placar." Greenroads (www.greenroads.org).

É possível que o registro de pontuações comece relativamente logo. A legislação dos EUA conhecida como Seguindo adiante rumo ao progresso no século 21 (MAP-21 — Moving Ahead for Progress in the 21st Century) trata de medidas de desempenho. Requisitos importantes incluem:

- Metas a serem estabelecidas para a sustentabilidade ambiental (juntamente com segurança, condição de infraestrutura, redução dos congestionamentos, confiabilidade do sistema, movimentação de cargas e vitalidade econômica e redução nos atrasos das entrega de projeto).
- O USDOT (Departamento de Transportes dos EUA) desenvolverá medidas de desempenho com os estados, MPOs, órgãos de trânsito e públicos interessados, com a FHWA promulgando medidas e normas de desempenho até 1º de abril de 2014.
- Estados e MPOs devem fixar metas de desempenho e relatar anualmente seu progresso em relação às metas.

Medidas de desempenho são indicadores que fornecem a base para avaliar as condições de operação do sistema de transportes e identificar a localização e gravidade de congestionamentos e outros problemas. O aumento das expectativas do cliente e a responsabilidade do setor público têm ajudado a concentrar a atenção na medição de desempenho como uma das ferramentas essenciais de gestão de transportes. Em essência, se os resultados não forem medidos, não será possível diferenciar sucessos de fracassos; se o sucesso não pode ser visto, não pode ser recompensado; e se o fracasso não pode ser visto, não pode ser corrigido.

Módulos anteriores abordaram potenciais medidas de desempenho para a área discutida no módulo específico. Medidas de desempenho para o transporte e habitabilidade sustentáveis serão, por definição, transversais, abordando indicadores de mobilidade e confiabilidade (como parte da sustentabilidade econômica), indicadores de segurança e multimodalidade (como parte da sustentabilidade social) e indicadores ambientais (e outros) que não são necessariamente discutidos em outros módulos. Um exemplo de metas, objetivos e indicadores de dimensões econômicas, sociais e ambientais do transporte sustentável, bem como de governança e planejamento com qualidade, pode ser encontrado na Tabela 6.⁴³

Outro conjunto de indicadores de medição foi lançado pela FHWA em outubro de 2012: a ferramenta de sustentabilidade para avaliação voluntária de infraestrutura (INVEST — Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool) para integração de práticas recomendadas de sustentabilidade a projetos e programas de transporte.⁴⁴ No contexto da INVEST, uma rodovia sustentável deve atender requisitos funcionais de desenvolvimento social e crescimento

econômico, tendo em vista a melhoria do meio ambiente e a redução do consumo de recursos naturais. A sustentabilidade de uma rodovia deve ser considerada no decorrer de todo o projeto, desde a concepção até a construção, manutenção e operação.

A INVEST é uma ferramenta de autoavaliação baseada na Web (disponível em www.sustainablehighways.org) que ajuda profissionais de transporte a conhecer princípios de sustentabilidade e a Iniciativa Rodovias Sustentáveis da FHWA; percorrer práticas recomendadas e critérios para rodovias sustentáveis; e avaliar ou pontuar projetos usando diferentes conjuntos de indicadores com base no tipo e local do projeto.

**** Com tutorial multimídia em

<http://mp125118.cdn.mediaplatform.com/125118/wc/mp/4000/5592/5599/18858/Archive/default.htm?ivt=%7B6d0eccff-4ff1-bba1-c102-d80de1a4a7f5%7D>.

A INVEST inclui um manual de metas e critérios que aborda o ciclo completo de um projeto, incluindo planejamento de sistemas (SP — System Planning); desenvolvimento de projeto (PD — Project Development); e operações e manutenção (OM — Operations and Maintenance). Cada critério descreve uma prática em particular, oferece métodos para implementá-la e inclui fontes típicas de documentação de práticas. Vários dos critérios estão diretamente relacionados a estratégias de TSM&O e tecnologias de ITS descritas na *ePrimer*. Por exemplo:

- SP-9: Gestão da demanda de viagens — pontos concedidos pela implantação de estratégias de TDM (como esquema de preço e organização do gestão de transportes) e por medidas quantificáveis de desempenho de TDM.
- SP-14: Gestão e operação de sistemas de transporte — pontos concedidos pelo desenvolvimento de um plano de TSM&O e por sua incorporação em Plano de Transporte de Longo Alcance, para implantação de estratégias de TSM&O (quanto mais estratégias, mais pontos) e por medidas quantificáveis de desempenho de TSM&O.
- PD-14: ITS para operações de sistema — implantação de uma ou mais aplicações (como gestão de emergências, informações para usuários, central de comunicações, gestão de fixas como limites variáveis de velocidade e designação de faixas via ATM, gestão meteorológico rodoviário, vigilância, controle de sinais de trânsito e gestão de incidentes), com o número de pontos dependendo do número de estratégias instaladas.
- PD-17: Eficiência energética — inclui o consumo de energia de equipamentos de iluminação e dispositivos de ITS.
- OM-11: Manutenção da infraestrutura de controle de tráfego — pontos concedidos pela preservação e manutenção de controle de tráfego permanente, ITS e dispositivos de segurança.
- OM-12: Programa de gestão meteorológico rodoviário — embora soluções de ITS não estejam incluídas neste critério, são concedidos pontos por um programa que inclua estratégias para minimizar impactos de diversas situações meteorológicas (ou seja, planos de adaptação).

Tabela 6. Principais indicadores de metas, objetivos e desempenho de transporte sustentável 43

Metas de sustentabilidade	Objetivos	Indicadores de desempenho
I. Econômicos		
Produtividade econômica	Integração do sistema de transportes. Maximização da acessibilidade Esquema de preço e incentivos eficientes	<ul style="list-style-type: none"> • PIB per capita • Partes do orçamento dedicadas aos transportes. • Retardos do congestionamento per capita. • Esquema de preço eficiente (rodovias, estacionamentos, seguro, combustível, etc).
Desenvolvimento econômico	Desenvolvimento econômico e empresarial	<ul style="list-style-type: none"> • Acesso a oportunidades de educação e emprego. • Suporte a indústrias locais.
Eficiência energética	Minimizar custos energéticos, principalmente	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de energia de transporte per capita • Uso de combustíveis importados per capita.
Viabilidade financeira	Todos os residentes podem ter acesso a serviços e atividades básicos (essenciais).	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade e qualidade de modos financeiramente viáveis (caminhada, ciclismo, caronas e transporte público). • Porção das residências de baixa renda que
Operações de transporte eficientes	Operações eficientes e gestão de ativos maximiza a economia.	<ul style="list-style-type: none"> • Custo do fornecimento de serviços em comparação com contrapartes. • Resultados de auditoria de desempenho.
Social		
Equidade/imparcialidade	O sistema de transporte recebe todos os usuários, incluindo aqueles com necessidades especiais, de baixa renda e	<ul style="list-style-type: none"> • Diversidade do sistema de transporte. • Parte dos destinos acessíveis por pessoas com necessidades especiais e de baixa renda.
Segurança, proteção e saúde	Minimizar riscos de acidentes e assaltos, e contribuir para a adequação física.	<ul style="list-style-type: none"> • Taxas de acidente de trânsito per capita (ferimentos e mortes). • Taxas de assaltos a usuários (crimes). • Exposição a poluentes perigosos.
Desenvolvimento comunitário	Contribuição para a coesão comunitária.	<ul style="list-style-type: none"> • Uso combinado do solo. • Possibilidade de deslocamentos a pé ou de bicicleta • Qualidade ambiental e rodovias e ruas.
Preservação da herança cultural	Apoio a atividades culturais.	<ul style="list-style-type: none"> • Preservação de recursos e tradições culturais. • Rapidez de resposta a comunidades tradicionais.
Ambiental		
Estabilidade climática	Redução das emissões do aquecimento global	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões per capita de gases do efeito estufa (C, CFCs, CH., etc.).
Prevenção da poluição do ar	Redução da emissão de poluentes Redução da exposição a poluentes	<ul style="list-style-type: none"> • Emissões per capita (PM, VOCs, NOx, CO, etc.). • Normas e planos de gestão da qualidade do ar.
Prevenção da poluição	Atenuação da exposição ao ruído do	<ul style="list-style-type: none"> • Níveis do ruído do tráfego
Proteção da qualidade da água e redução dos danos hidrológicos.	Atenuação da área de superfícies impermeáveis.	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de combustível per capita. • Gestão de óleo usado, vazamentos e águas pluviais. • Área de superfície impermeável per capita.
Espaços abertos e proteção da biodiversidade	Incentivo a um desenvolvimento mais compacto. Preservação de um habitat de alta qualidade.	<ul style="list-style-type: none"> • Terreno per capita dedicado a instalações de transporte. • Contribuição para o desenvolvimento de um crescimento inteligente. • Políticas de proteção para solos aráveis e habitats de alto valor.
Governança e planejamento com qualidade		
Planejamento abrangente, inclusivo e integrado	Análise integrada e abrangente. Forte envolvimento dos cidadãos. Planejamento de custo de arrendamento (seleção das soluções mais vantajosas e custeadas)	<ul style="list-style-type: none"> • Metas, objetivos e indicadores claramente definidos. • Disponibilidade de informações e documentação sobre planejamento. • Parte da população envolvida nas decisões. • Consideração do alcance de objetivos, impactos e opções.

- OM-13: Gestão e operações de transporte — pontos concedidos pela preservação e manutenção de um controle de tráfego permanente e seus dispositivos e sistemas. A intenção desse critério é incentivar uma gestão ativa dos veículos dentro da infraestrutura viária existente, para aliviar as principais causas de congestionamentos resultantes de: capacidade insuficiente (estrangulamentos do tráfego); sistemas precários de operações de transporte (como sistemas de sinais de trânsito com má sincronização); incidentes (acidentes, veículos defeituosos); condições meteorológicas (neve, gelo, nevoeiro); zonas de obras; e eventos não recorrentes (eventos especiais).

Custeio sustentável

Embora não faça parte dos três resultados finais da sustentabilidade, as iniciativas combinadas para reduzir as emissões de gases do efeito estufa (através de veículos mais eficientes em termos de combustível, veículos elétricos (EV), menor VMT e operações aprimoradas) têm sido bons para o meio ambiente. Essas iniciativas, no entanto, não têm sido tão bons para a principal fonte de financiamento para melhorias do transporte.

Grande parte das receitas necessárias para preservar, manter, gerenciar e operar o sistema de transportes do país vem de impostos estaduais e federais sobre combustíveis, que normalmente são pagos no momento da compra, com base na quantidade de combustível consumido pelos motoristas. O imposto federal sobre combustíveis (nos EUA) é de 18,4 centavos de dólar por galão de gasolina e 24,4 centavos de dólar por galão de diesel e tem sido assim desde 1993.

Os estados americanos adicionam hoje aproximadamente 30 centavos de dólar por galão em média, com a quantidade real variando por estado.

Conforme notado anteriormente, ao longo dos últimos anos, a eficiência de combustível dos veículos aumentou. Além disso, foram introduzidos veículos que usam combustíveis e meios de propulsão alternativos (diferente de gasolina ou diesel), como veículos elétricos, ou EV (Electric Vehicles) e veículos elétricos híbridos de conexão, ou PHEV (Plug-In Hybrid Electric Vehicles), uma tendência que deverá continuar e, talvez, até mesmo acelerar durante a próxima década. Os usuários desses veículos mais eficientes em termos de uso e alternativas de combustível estão pagando menos impostos sobre o combustível do que as frotas de veículos anteriores pela mesma quilometragem percorrida, sendo que veículos elétricos não pagam nenhum imposto sobre combustível. A situação foi agravada ainda mais por grandes aumentos nos preços dos combustíveis, que tendem a reduzir o número total de quilômetros percorridos. Como resultado, as receitas fiscais dos combustíveis não acompanharam as necessidades de financiamento do transporte, embora a população ao volante tenha aumentado. Esse hiato no custeio geral, tanto em nível estadual quanto federal, só tende a crescer, conforme a economia média da frota de veículos aumenta.

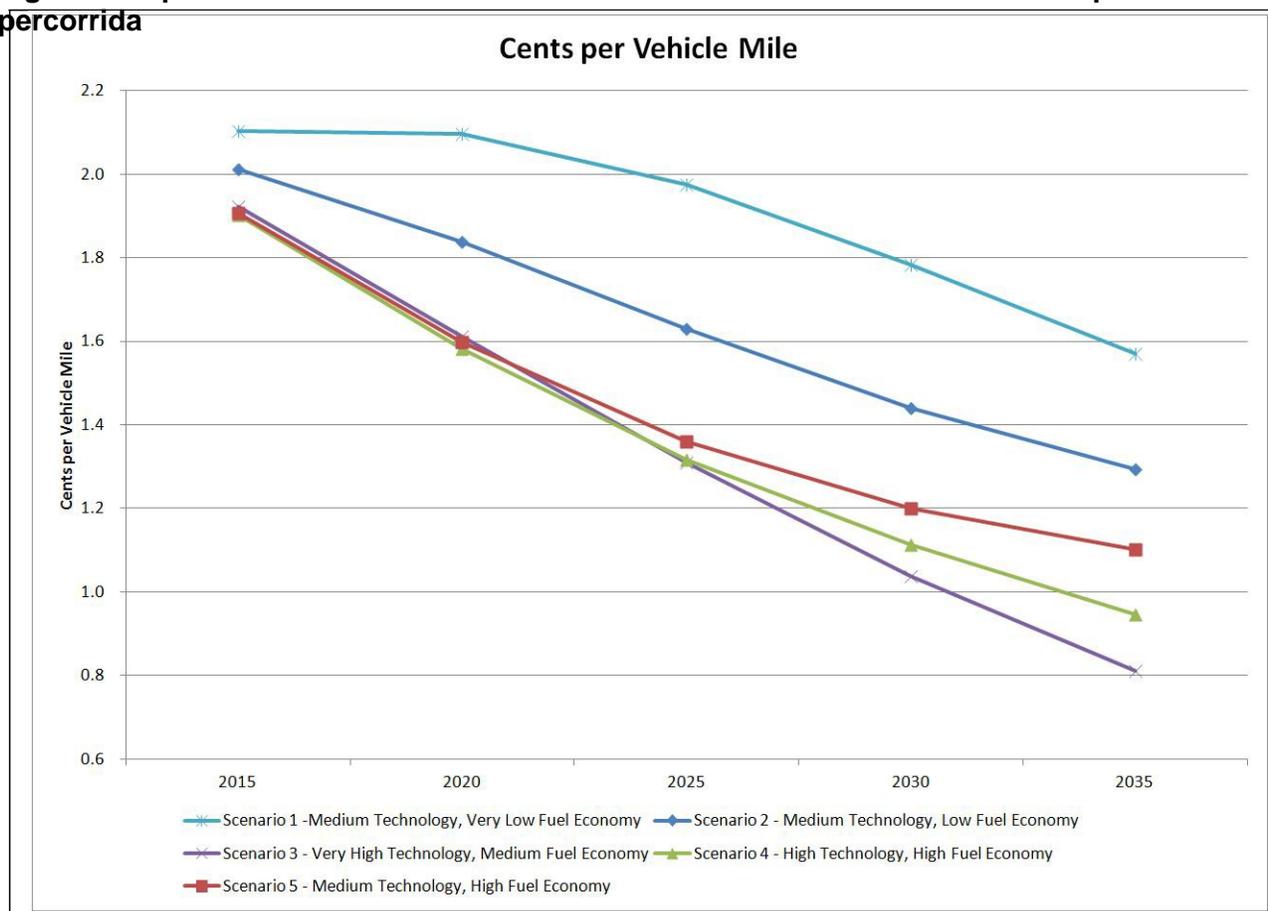
O conjunto de hipóteses previstas para a frota de veículos do Oregon⁴⁵ ilustra as implicações dessas tendências de consumo de combustível atuais em relação às receitas fiscais dos combustíveis. A Figura 7 mostra os centavos médios de dólar pagos por quilômetro por veículo para diferentes hipóteses de previsão. Cada hipótese envolve uma combinação distinta de vendas previstas e propriedade de vários tipos de veículos e eficiência de combustível no Oregon. Essas previsões se baseiam na literatura recente sobre o assunto e empregam o Modelo de Planejamento das Emissões pelo Transporte Estadual de Gases do Efeito Estufa (GreenSTEP) do

Departamento de Transportes do Oregon. A hipótese identifica pressupostos sobre o veículo médio em três categorias tecnológicas:

- Tecnologia representa a venda de veículos com tecnologia EV/PHEV. Quatro categorias foram desenvolvidas:
 - baixa — representa uma penetração mínima de mercado dos EVs/PHEVs devido ao custo, nenhum grande avanço na tecnologia das baterias e aumento da eficiência de ICE; e
 - muito alta — representa a outra extremidade do espectro de penetração de mercado dos EVs/PHEVs, em que estes se tornam o tipo de veículo predominante nas estradas.
- Milhas por galão representa a quilometragem média por galão de ICE e veículos híbridos, indo desde:
 - muito baixa (ou seja, média de 24,9 mpg em 2015, aumentando para 40,5 mpg em 2035) a
 - alta (ou seja, média de 72 km/g em 2015 e 75,4 km/g em 2035) — A maior hipótese de quilômetros por galão presume um influxo significativo de tecnologias de partida e parada de motores e similares nos próximos anos.

Como pode ser visto na Figura 6, não importa que hipótese de futuro se concretize, as receitas fiscais dos combustíveis continuarão a diminuir, com a pior hipótese sendo a de Tecnologia Muito Alta, em que a maioria dos veículos será de EVs e PHEVs que não pagarão impostos sobre combustíveis (ou pagarão um mínimo), sem contribuir para a operação e manutenção das rodovias que usam. Essa tendência ocorre mesmo que o índice de VMT seja um traço ou aumente a cada ano até 2035 nessa previsão.

Figura 6. Impostos estaduais e federais sobre o combustível de veículos leves por milha percorrida



Entre os formuladores de políticas e analistas do setor de todo os EUA, um consenso crescente emergiu, segundo o qual impostos baseados no consumo de combustível não podem mais ser usados para proporcionar receitas sustentáveis para manter e operar a infraestrutura de transporte do país, sendo necessários novos paradigmas para o custeio do transporte. Vários estudos indicam que a tarifa do uso rodoviário baseada diretamente na distância percorrida (também conhecida como taxa do usuário baseada em milhagem, ou MBUF (Mileage-Based User Fee), ou imposto sobre milhagem) é uma das principais opções.

++++

Qualquer tarifa de uso rodoviário desse tipo exigirá tecnologia de ITS, incluindo telemática de veículos e normas aprimoradas. Informações adicionais sobre MBUF podem ser encontradas no Módulo 8.

Existe ainda a questão da equidade, uma forma de sustentabilidade social, segundo a qual todos os usuários de uma rodovia devem pagar uma parcela justa, com base no seu uso da rede de transporte, e contribuir para a gestão e a operação das estradas, incluindo a redução dos congestionamentos (que sua condução ajuda a criar) e o reforço da segurança, conforme proporcionada pelo ITS.

O Futuro

Vários futuros em potencial (em alguns casos, prováveis) já foram identificados, incluindo um maior uso de veículos movidos a combustíveis alternativos (como eletricidade) que não geram emissões (embora ainda haja uma pegada de carbono associada aos EVs, oriunda das usinas elétricas que produzem a eletricidade para o ponto de recarga), além da possibilidade de usar as reduções de gases do efeito estufa proporcionadas pelas tecnologias de TSM&O e ITS como créditos de compensação para um programa do tipo "cap-and-trade", criando, assim, outra fonte de custeio. A pesquisa sobre direção ecológica e intervenção dinâmica continua.^{46,47}

Conforme discutido em outros módulos, a previsão é de que o programa de veículos conectados venha melhorar muito a mobilidade e a segurança (que são parte de uma rede de transporte sustentável). Veículos conectados também contribuirão para a sustentabilidade ambiental através de informações exibidas no veículo, que promoverão ainda mais a direção ecológica e rotas ecológicas com dados ambientais em tempo real gerados pelo veículo contribuindo para operações e medição de desempenho em tempo real.

A coleta de dados de emissões dos veículos pode ser problemática. Poluentes legislados são monitorados por meio de uma ampla rede estadual e municipal de estações de monitoramento ambiental (SLAMS — State and Local Ambient Monitoring Stations), além de outras redes, tudo supervisionado pela EPA. A capacidade de discernir pelos dados o nível de redução dos poluentes legislados que pode ser atribuído diretamente às estratégias de TSM&O é problemática, para dizer o mínimo. Além disso, as informações não estão disponíveis em tempo real.

Gases de efeito estufa (GHG — Greenhouse Gases), especialmente dióxido de carbono, representam uma dificuldade ainda maior. Uma parte desse produto químico permanece no solo, outra é usada pela vegetação no processo de fotossíntese, outra encontra seu caminho para a atmosfera, onde contribui para o aquecimento da superfície do planeta, reduzindo radiação a saída de radiação, e parte vai para os corpos hídricos, onde se dissolve para formar ácido

carbônico.

†††† Por exemplo, em 2009, a Comissão Nacional de Financiamento da Infraestrutura do Transporte de Superfície concluiu que "no longo prazo (mais de 20 anos), impostos sobre combustíveis serão insustentáveis e a taxaçoão baseada em distância estará entre as alternativas mais preferidas. Um sistema de tributaçoão baseado na distância percorrida pelo veículo (VMT — Vehicle-Miles-Traveled) é a melhor opção para elevar as receitas de que o país precisa e contribuir para que as metas da política nacional sejam atingidas". O Relatório Rand de 2012 ("Impostos do usuário com base em distâncias para o custeio dos transportes: uma cartilha para tomadores de decisão em estados e municípios") conclui que "um sistema de cobrança por distância, embora de concepçoão e implantaçoão desafiadoras e de administraçoão custosa, ofereceria uma fonte de custeio muito mais estável nas décadas futuras, além de oferecer respaldo às metas da política".

Todos os exemplos anteriores de como medidas de TSM&O e ITS podem reduzir emissões de CO2 foram baseados em modelos e outras ferramentas de análise e não em medições diretas.

Isso está sendo tratado como parte do programa RITA, ITS-JPO: Aplicações para o meio ambiente: Síntese de informações em tempo real (AERIS — Applications for the Environment: Real-Time Information Synthesis). O objetivo do programa de pesquisa AERIS48 "é gerar e obter dados de transporte ambientalmente relevantes em tempo real e usar esses dados para criar informações de ação que respaldem e facilitem opções de transporte ecológicas por parte de usuários e operadores do sistema de transporte. Empregando uma abordagem multimodal, o programa AERIS trabalhará em parceria com a iniciativa de pesquisa de comunicações de veículo para veículo (V2V — Vehicle To Vehicle), para melhor definir como dados e aplicações de veículos conectados poderiam contribuir para atenuar alguns dos impactos ambientais negativos do transporte de superfície".

Pode contar com dados de emissões de veículos em tempo real oferece muitas perspectivas animadoras de como a rede de transportes poderia ser gerenciada e operada. Por exemplo:

- O feedback do motorista para promover práticas de direção ecológica, incluindo menção a uma aproximação e partida ecológica em aplicações de cruzamentos sinalizados e aplicações dinâmicas para definição de rotas ecológicas bom base em dados em tempo real sobre tráfego e emissões.
- Zonas dinâmicas de baixa emissão, incluindo estratégias de limites variáveis baseadas em incentivos.
- Esquema de preços variáveis (por exemplo, faixas HOT) com base em emissões.
- Alterações e parâmetros de TSM&O em tempo real (sincronização de sinalização, exibidores de velocidade variável, taxas de controle de rampa e estratégias de gestão de corredor integrado) com base em dados de emissões (por exemplo, um dia dedicado à qualidade do ar).

Resumo

A *Cartilha* da FHWA sobre "O papel da gestão e das operações de sistemas de transportes na contribuição para a habitabilidade e sustentabilidade" destaca nove elementos fundamentais (fundamentos) para administração e operação de sistemas de transporte de forma que contribua para a habitabilidade e a sustentabilidade. Esses fundamentos são:

- Operar de modo a atender as prioridades da comunidade: a escolha e implantação de estratégias de M&O devem atender as prioridades da comunidade, refletindo metas e objetivos da comunidade para o sistema de transportes em seu contexto mais amplo, conforme expresso pelo processo de planejamento. Essas metas formam a base para decidir o que é considerada uma boa operação do sistema de transporte. Ao focar prioridades da comunidade, as operações do sistema de transporte podem ajudá-la a atingir seus objetivos mais amplos.
- Aumentar o número de oportunidades de deslocamentos seguros e confortáveis a pé ou de bicicleta (por exemplo, pela sincronia e contagem regressiva de sinais).

- Melhorar a experiência do transporte coletivo, aumentando a atratividade e o desempenho do transporte público (por exemplo, priorizando o transporte coletivo em sinais, corredores de ônibus e uso de acostamentos, além da integração de informações em tempo real).
- Contribuir para uma movimentação confiável e eficiente de pessoas e bens (ou seja, gerenciar congestionamentos e aumentar a confiabilidade, ajudando a evitar a necessidade de grandes expansões de capacidade, que são caras e podem não se adequar às necessidades comunitárias).
- Gerenciar a demanda de viagens
- Oferecer informações que respaldem escolhas (por exemplo, gestão do corredor integrado).
- Contribuir para que a infraestrutura instalada enfatize as conexões entre uso do solo e transporte, bem o design urbano e as operações, empregando soluções sensíveis ao contexto e que integrem transporte, construção, design e paisagem para criar um sentido de lugar.
- Usar medidas de desempenho equilibradas, que considerem a rede de transportes em sua forma mais ampla e os resultados da sustentabilidade (como equidade social, impactos econômicos e qualidade ambiental).
- Colaborar e coordenar amplamente, equilibrando com cuidado as necessidades de vários segmentos de uma população da geração atual e de gerações futuras, visando garantir uma qualidade de vida saudável e vivaz para todos.

Conforme discutido ao longo do presente módulo, a gestão de sistemas de transportes e suas tecnologias desempenhará um papel fundamental em quase todos esses elementos, além de contribuir para as iniciativas de adaptação às mudanças climáticas e promover a sustentabilidade financeira da rede de transportes.

Por fim, a sustentabilidade ambiental é tanto uma questão política quanto técnica. Considerações políticas estão fora do escopo deste documento, mas pode ser interessante para o leitor consultar uma apresentação do diretor executivo do independente Centro Climático de Georgetown, que oferece um panorama estadual e regional das mudanças climáticas.

†††† O Centro Climático de Georgetown procura promover políticas climáticas, energéticas e de transporte eficientes nos Estados Unidos, que reduzam emissões de gases de efeito estufa e ajudem comunidades se adaptar às mudanças climáticas. A apresentação pode ser encontrada em:
<http://itswc.confex.com/itswc/AM2012/flvgateway.cgi/id/1805?recordingid=1805>.

Referências

1. Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development [Nosso futuro em comum: Relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento], 1987, disponível em www.un-documents.net/ocf-02.htm#
2. Adams, W.M., "[The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century](#)" [O futuro da sustentabilidade: repensando o meio ambiente e o desenvolvimento, no século vinte e um], Relatório do IUCN Renowned Thinkers Meeting, 29 a 31 de janeiro de 2006.
3. The Economist, 17 de novembro de 2009.
4. USDOT, FHWA, Ferramenta para avaliação de rodovias sustentáveis, <https://www.sustainablehighways.org/1/home.html>
5. "ITS Technology and Sustainable Transportation" [A tecnologia de ITS e o transporte sustentável], ITS America Position Statement, agosto de 2012.
6. "The Role of Transportation Systems Management & Operations in Supporting Livability and Sustainability: A Primer" [O papel da gestão e das operações de sistemas de transportes na contribuição para a habitabilidade e sustentabilidade: uma cartilha], FHWA-HOP-12-004, janeiro de 2012.
7. <http://www.epa.gov/ttn/chieftrends/index.html#tables>
8. "General Emissions Impacts of Transportation System Management Strategies" [Impactos gerais das emissões nas estratégias de gestão do sistema de transportes], FHWA-HEP-07-004, 2006
9. ITE 2007 National Traffic Signal Report Card.
10. Transport for London, *Sixth Annual Impacts Monitoring Report*, julho de 2008.
11. Site Transport for London: www.tfl.gov.uk/roadusers/lez/default.aspx
12. Ibid.
13. "Cleaning the Air" – The Mayor's Air Quality Strategy ["Limpeza do ar" — estratégia de qualidade do ar] Prefeitura de Londres, dezembro de 2012.
14. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, "Climate Change 2007 — Synthesis Report", adotado seção por seção pelo plenário do IPCC XXVII (Valência, Espanha, 12 a 17 de novembro de 2007)
15. Site da EPA www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html
16. Agência de Proteção Ambiental dos EUA, "Inventory of U.S. Greenhouse Emissions and Sinks: 1990–2010" [Inventário de emissões e destinos dos gases do efeito estufa: 1990—2010], 15 de abril de 2012.
17. "Reducing Transport GHG Emissions – Opportunities and Costs (Preliminary Findings)," [Redução das emissões de gases do efeito estufa dos transportes — Oportunidade e custos (conclusões preliminares)], Fórum Internacional dos Transportes, OCDE, 2009.
18. Barth, M. e K. Boriboonsomsin, "Traffic Congestion and Greenhouse Gases" [Congestionamentos de tráfego e gases do efeito estufa] *TRR News*, número 268, maio-junho de 2010.
19. Ezell, S., "Explaining International IT Application Leadership: Intelligent Transportation Systems" [Explicando a liderança internacional em aplicação de IT: sistemas de transporte inteligentes] The

Information Technology and Innovation Foundation, janeiro de 2010.

20. Wagner, F., "Energy Impacts of Urban Transportation Improvements" [Impactos energéticos das melhorias nos transportes urbanos], Institute of Transportation Engineers, 1980.

21. "Green and ITS – An Overview of Innovations for a Sustainable Transport System in Stockholm" [Ecologia e ITS — Um panorama das inovações para um sistema sustentável de transportes em Estocolmo], SWECO ITS, 2009.

22. Barth, M. e K. Boriboonsomsin, "Real-World CO2 Impacts of Traffic Congestion" [Impactos do CO2 do congestionamento de tráfego no mundo real], Transportation Research Record nº 2058, pp. 163 a 171, Transportation Research Board, National Academy of Science, 2008.

23. Barth, M. e K. Boriboonsomsin, "Energy and Emissions Impacts of a Freeway-Based Dynamic Eco-Driving System" [Impactos energéticos e de emissões em um sistema dinâmico de direção ecológica baseado em vias expressas], Transportation Research, Parte D 14 (2009) 400—410.

24. Harbord, White, McCabe, Riley, e Tarry, "Calmed and Controlled — Improving Efficiency, Safety, and Emissions" [Calmo e controlado — Melhorando a eficiência, a segurança e as emissões], *Traffic Technology Annual*, 2007.

25. Ezell, S., "Explaining International IT Application Leadership: Intelligent Transportation Systems" [Explicando a liderança internacional em aplicação de IT: sistemas de transporte inteligentes] The Information Technology and Innovation Foundation, janeiro de 2010.

26. Moving Cooler: An Analysis of Transportation Strategies for Reducing Greenhouse Gas Emissions [Análise das estratégias de transporte para redução das emissões de gases do efeito estufa], Cambridge Systematics, Urban Land Institute, julho de 2009.

27. Neudorff, Louis, "Moving Cooler—An Operations and ITS Perspective" [Perspectiva operacional e de ITS], fevereiro de 2010

28. Eno Foundation, "Working Together to Address Induced Demand" [Trabalhando juntos para tratar da demanda induzida], 2002.

29. Litman, Todd, "Generated Traffic and Induced Travel, Implications for Transport Planning" [Tráfego gerado e viagens induzidas, implicações para o planejamento dos transportes], Victoria Transport Policy Institute, fevereiro de 2009.

30. FHWA, "The Role of Transportation Systems Management & Operations in Supporting Livability and Sustainability: A Primer" [O papel da gestão e das operações de sistemas de transportes na contribuição para a habitabilidade e sustentabilidade: uma cartilha], FHWA-HOP-12-004, janeiro de 2012.

31. Manual do motorista ecológico, Aliança das Montadoras de Automóveis (Acessado em 2010 em www.ecodrivingUSA.com, agora indisponível).

32. www.ecodrive.org/

33. www.ecodriving-online.eu/en-US/tips.aspx

34. <https://www.drivingskillsforlife.com/index.php?option=content&task=view&id=3> (da FORD)

35. "Eco-driving and Carbon Footprinting: Understanding How Public Education Can Result in Reduced Greenhouse Gas Emissions and Fuel Use" [Direção ecológica e pegada de carbono: entendendo como a educação pública pode resultar em menos emissão de gases do efeito estufa e uso de combustíveis],

Susan A. Shaheen, Ph.D., Elliot W. Martin, Ph.D. e Rachel S. Finson, M.A, uma publicação do Mineta Transportation Institute CA-MTI-12-2808, abril de 2012.

36. www.theclimateregistry.org/

37. Morris, Ian, Why the West Rules — For Now, The Patterns of History and What They Reveal About the Future [Por que o Ocidente manda — Por enquanto: padrões históricos e o que revelam sobre o futuro], Farrar, Straus and Giroux, 2010. As informações contidas neste parágrafo foram retiradas desse livro.

38. Conselho Nacional de Pesquisa (EUA), Comissão para Reconstrução da Temperatura da Superfície nos Últimos 2.000 Anos Reconstruções da temperatura na superfície nos últimos 2.000 anos (2006), National Academies Press.

39. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, "Climate Change 2007 — Synthesis Report", adotado seção por seção pelo plenário do IPCC XXVII (Valência, Espanha, 12 a 17 de novembro de 2007)

40. Radow, L. e L. Neudorff, "Transportation Adaptation's Bearing on Planning, Systems Management, Operations, and Emergency Response" [Os rumos da adaptação dos transportes em termos de planejamento, gestão de sistemas, operações e resposta de emergência], Circular TRB E-C152: Adaptação dos transportes aos impactos das mudanças climáticas, junho de 2011.

41. Conselho de Pesquisa dos Transportes, "Potential Impacts of Climate Change on U. S. Transportation" [Impactos potenciais das mudanças climáticas nos transportes dos EUA], Relatório especial 290, 2008.

42. http://ops.fhwa.dot.gov/weather/mitigating_impacts/programs.htm

43. Litman, T, "Well Measured - Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning" [Desenvolvimento de indicadores para o planejamento do transporte sustentável e habitável], Victoria Transport Policy Institute, dezembro de 2012.

44. www.sustainablehighways.org, com tutorial multimídia em <http://mp125118.cdn.platform.com/125118/wc/mp/4000/5592/5599/18858/Archive/default.htm?ivt=%7B6d0eccff-4ff1-bba1-c102-d80de1a4a7f5%7D>

45. "Oregon's New Mileage Tax System Concept and Initial Demonstration System for a Road Usage Charge Pilot Program" [Novo conceito de um sistema de tributação por milhagem e demonstração inicial do sistema para uso rodoviário], relatório preparado por J. Whitty e L. Neudorff para o GAO, julho de 2012.

46. Martin, Chan, e Shaheen, "How Public Education on Eco-driving Can Reduce Both Fuel Use and Greenhouse Gas Emissions" [Como a educação pública sobre direção ecológica pode reduzir o uso de combustíveis e as emissões de gases do efeito estufa], TRR, nº 2287, 2012, pp. 163—173 e 2)

47. Martin, et al., "Dynamic Eco-driving in Northern California: A Study of Survey and Vehicle Operations Data from an Ecodriving Device" [Direção ecológica dinâmica no norte da Califórnia: um estudo de dados de levantamento e operações de veículos provenientes de dispositivo de direção ecológica], Conferência Anual do de 2013 TRB.

48. www.its.dot.gov/aeris/