

ANÁLISE DO RISCO DA FALTA DE COMBUSTÍVEIS AFETANDO OS SISTEMAS DE ATIVIDADES URBANAS E DE TRANSPORTES

André Dantas
Susan Krumdieck
Shannon Page

Universidade de Canterbury, Nova Zelândia

RESUMO

Este trabalho apresenta uma ferramenta de planejamento estratégico chamada *RECATS*. A partir da relação entre a forma urbana e a possibilidade da redução na disponibilidade de combustíveis, calcula-se um fator de risco para um cenário futuro de planejamento urbano e demanda de viagens, considerando modelos de produção global de petróleo, de combustíveis alternativos e de racionamento e gerenciamento da oferta de energia. *RECATS* permite que o usuário especifique a distância, o modo e a frequência do padrão de viagens observados ou previstos para uma forma urbana. O estudo de caso analisa quatro formas diferentes de desenvolvimento urbano para a cidade de Christchurch, Nova Zelândia. Caso a cidade seja submetida a restrições no abastecimento de petróleo, seriam observados diferentes níveis de riscos de acordo com o tipo e intensidade da integração dos padrões de uso do solo e sistema de transportes.

ABSTRACT

A strategic planning tool called *RECATS* is introduced. It explores the link between urban form and susceptibility to fuel shortages in order to quantify a risk factor at a queried year in the future for a given urban form and travel demand configuration. *RECATS* includes models for global peak in oil production, alternative fuels, and energy rationing or supply management. *RECATS* allows the user to specify the distance, mode, and frequency of observed or forecasted travel demand patterns of an urban area. A case study analyses four different urban development forms for Christchurch, New Zealand, which are subject to petroleum supply restrictions. Results show that there would be significantly different risk levels, which would depend on the type and intensity of land use-transport system integration.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, vários estudos têm discutido a disponibilidade futura e/ou a redução das reservas de petróleo e as consequências dessa situação para o transporte de bens e pessoas. Relatórios de agências internacionais indicam que a produção global de petróleo está em declínio, enquanto constata-se que fontes alternativas de energia (carvão, sol, vento, etanol, etc) não são suficientes para substituir o petróleo (Deffeyes, 2001; BTRE, 2005). Ademais, interrupções na distribuição mundial de petróleo, devido a desastres naturais e greves, demonstram a vulnerabilidade e a dependência dos sistemas de transportes em combustíveis fósseis. Newman and Kenworthy (1999) alertam para o fato de que o pico na produção do petróleo terá sérias consequências para a vida em áreas urbanas. A combinação do declínio na produção de energia, da dependência de combustíveis fósseis e das tendências de crescimento urbano desordenado apontam para um cenário de insustentabilidade, já que o petróleo é responsável pela vasta maioria do transporte mecanizado no mundo. Segundo Hirsch *et al* (2005), petróleo é também um dos componentes primários para a obtenção de muitos produtos químicos, que são essenciais para a vida contemporânea.

Apesar dessas perspectivas futuras, atividades de planejamento e pesquisa têm sido limitadas na consideração dos riscos relacionados a possíveis crises no abastecimento de petróleo. Várias iniciativas têm se concentrado em alterar a forma urbana, melhorar o bem-estar da comunidade e garantir a sustentabilidade ambiental e econômica (Lim, 1997; Chatterjee and Gordon, 2006), mas ignoram a disponibilidade de energia no futuro. Por outro lado, os métodos e modelos de transportes raramente consideram a energia como um elemento fundamental para o funcionamento dos sistemas de atividades e transportes (Greiving and

Wegener, 2001; Ortuzar and Willumsen, 1994). Alguns desses modelos são capazes de prever os impactos no consumo de energia considerando mudanças na distribuição modal e /ou a eficiência de veículos. O trabalho de Cooper *et al* (2002) é um exemplo de como o consumo de energia pode ser associado aos padrões de ocupação urbana, mas não leva em consideração os riscos e os impactos decorrentes da redução na disponibilidade de petróleo.

Buscando contribuir para a concepção de estratégias de desenvolvimento urbano que reduzam o risco da falta de combustíveis, este trabalho apresenta uma ferramenta de planejamento estratégico chamada *RECATS* (*Risk of Energy Constrained Activity-Transport Systems*). Esta ferramenta é concebida a partir do princípio de que mudanças na forma urbana e no sistema de transportes podem alterar o padrão de viagens e criar comunidades menos dependentes em combustíveis fósseis. Calcula-se um fator de risco para um cenário futuro de planejamento urbano e demanda de viagens, considerando modelos de produção global de petróleo, de combustíveis alternativos e de racionamento e gerenciamento da oferta de energia.

Este trabalho está dividido em quatro seções. Após esta introdução, a segunda seção descreve os princípios e a estrutura da modelagem empregada. A terceira seção apresenta o estudo de caso, no qual são analisadas quatro formas diferentes de desenvolvimento urbano para a cidade de Christchurch, Nova Zelândia. Finalmente, a quarta seção discute e resume as conclusões, as limitações e as recomendações para pesquisas futuras.

2. PRINCÍPIOS E ESTRUTURA DE MODELAGEM EM *RECATS*

Considerando a possível redução na disponibilidade de combustíveis em uma área urbana, o risco é definido como o produto da probabilidade de ocorrência de tal cenário futuro pelo impacto gerado nos sistemas de transportes e nas atividades urbanas. A probabilidade futura da redução na disponibilidade de combustíveis é determinada através da análise das reservas petrolíferas mundiais. Já o impacto gerado nos sistemas de transportes e atividades urbanas considera o ajuste necessário no número e o tipo de viagens, para que a área urbana possa se adaptar às limitações na energia disponível.

Para considerar e quantificar essa definição de risco, os seguintes princípios são adotados na modelagem:

- Princípio 1: Comunidades urbanas transformar-se-ão significativamente, para que elas possam adaptar-se às limitações na disponibilidade de energia. Consequentemente, as atividades e o comportamento das pessoas mudarão e isso afetará o padrão de viagens. Dependendo do nível de disponibilidade de combustíveis, as pessoas passarão a dar prioridade à participação em atividades específicas que minimizem o impacto negativo da interrupção do fornecimento energético e que garantam a continuidade das atividades sócio-econômica, política e cultural da sociedade;
- Princípio 2: As pessoas irão ajustar o padrão de viagens de acordo com o grau de Essencialidade, que é uma medida individual utilizada para determinar quais viagens são Essenciais, Necessárias ou Opcionais em termos da contribuição para o bem estar do indivíduo;
- Princípio 3: De acordo com o grau de Essencialidade, dois tipos de alterações ocorrerão. São elas:
 - (a) Mudanças nas características das viagens (frequência; modo; distância, destino) irão ocorrer para preservar as atividades; e/ou
 - (b) Perda ou eliminação de uma viagem para participação de uma atividade, que seria

realizada caso não existisse qualquer restrição em termos de combustíveis.

- Princípio 4: A perda ou eliminação de viagens causará maior impacto do que a mudança nas características da viagem;

- Princípio 5: Existirão três níveis de impacto, caso a participação em atividades seja comprometida. São eles:

(i) Baixo impacto – se viagens Opcionais forem afetadas, então assume-se que a eliminação de viagens de baixa especialidade gerará baixo impacto no bem-estar do indivíduo;

(ii) Médio Impacto – se viagens Necessárias não forem realizadas, então existirá um impacto médio no bem-estar do indivíduo; e

(iii) Alto impacto – se viagens Essenciais forem afetadas, então ocorrerá a um Alto impacto no bem-estar do indivíduo.

Considerando esses princípios, calcula-se o fator de risco através de um processo iterativo de ajustamento da demanda de viagens original, ou seja, sem restrições em termos de energia disponível. A Figura 1 representa esse processo iterativo em cinco passos. As sub-seções seguintes descrevem cada um dos passos separadamente.

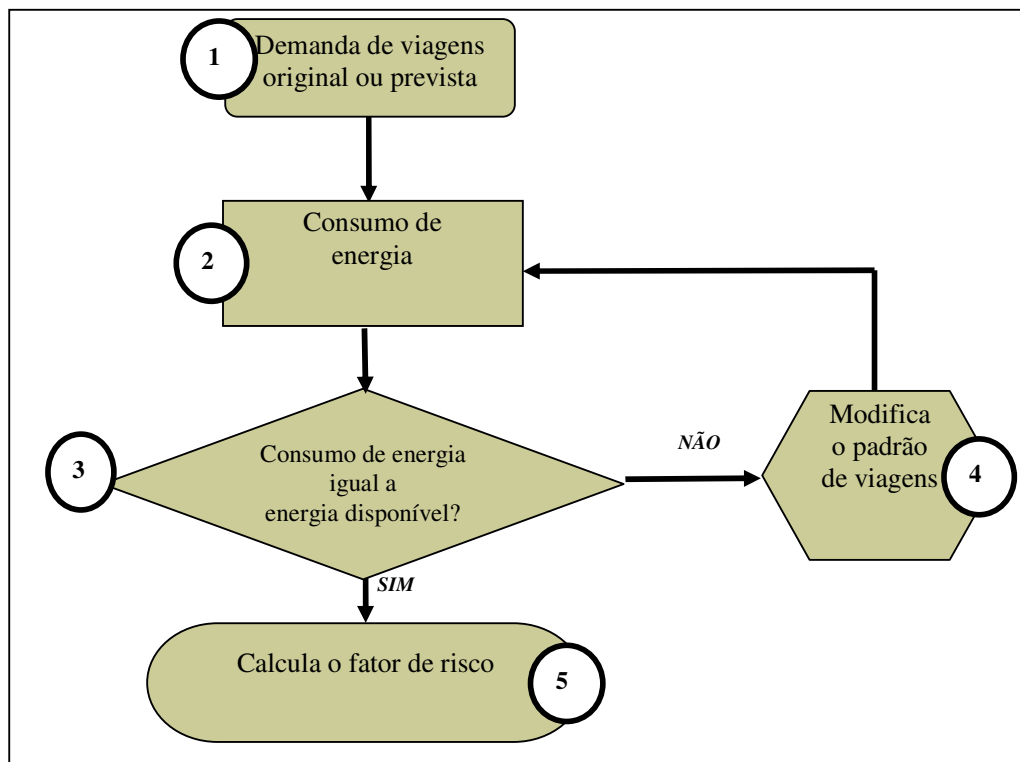


Figura 1: Representação esquemática dos passos para o cálculo do risco no *RECATS*

2.1. Padrão de viagens sem restrição no consumo de energia

O padrão de viagens original ou previsto para o futuro é determinado utilizando dados da demanda de viagem, tais como escolha modal, distâncias e propósito das viagens. Converte-se as características da área urbana e do padrão de viagens em um índice T que expressa o nível de atividade sem qualquer restrição no consumo de energia. Esse índice considera a demanda de viagens TD para todos os grupos de distância e modo de viagem. As equações 1 e 2,

respectivamente, representam TD e T para um dado cenário futuro de planejamento.

$$TD^{m,d} = MS^{m,d} * PO * \mu \quad (1)$$

$$T^{m,d,s} = TD^{m,d} * ES^s \quad (2)$$

Onde:

$T^{m,d,s}$ = indicador do nível de atividades relacionadas ao modo m , grupo de distância d e nível de essencialidade s ;

$TD^{m,d}$ = demanda de viagens no modo de viagens m e grupo de distância d ;

PO = população na área de estudo;

μ = média de viagens por pessoa por dia;

MS = matriz de divisão modal por grupo de distância; e

ES = matriz de divisão da essencialidade das viagens.

2.2. Consumo da energia

O consumo de energia é calculado considerando o padrão de viagens original ou previsto. Utilizando TD , PO e indicadores de eficiência veicular por modo de transporte, a equação 3 é empregada para calcular o consumo de energia E para um dado cenário de área urbana.

$$E = \sum_m \sum_d TD^{m,d} * EC^{m,d} DB^d \quad (3)$$

Onde:

$EC^{m,d}$ = matriz de consumo médio de energia por modo de transporte m e grupo de distância d ; e

DB^d = matriz de grupos de distância.

2.3. Análise comparativa entre consumo e disponibilidade de energia

Considerando-se a disponibilidade de energia para um cenário futuro de planejamento, compara-se a energia consumida e a disponível. Utilizando os resultados do consumo de energia, obtido anteriormente, aplica-se a Equação 4 para obter a quantidade de energia disponível (AE).

$$AE_e = (100\% - \Phi_e) * E \quad (4)$$

Onde

e = cenário de interrupção na produção e distribuição de combustíveis;

AE_e = energia disponível para um cenário e ; e

Φ_e = nível de redução na energia disponível para um cenário e .

Utilizando a Equação 5, verifica-se a necessidade de mudanças no consumo de energia.

$$ME_e = \begin{cases} 0; E \leq AE_e \\ 1; E > AE_e \end{cases} \quad (5)$$

Onde:

ME_e = valor binário indicando a necessidade de mudanças no padrão de viagens (T) e consequentemente no consumo de energia para se ajustar ao cenário de interrupção na distribuição e na disponibilidade de combustíveis.

2.4. Adaptação dos padrões de viagens

Uma vez determinado que a energia consumida é maior do que aquela disponível, o padrão de

viagens original ou previsto é modificado e a energia consumida é recalculada. Esse processo de ajuste continua até que o nível de consumo seja igual a quantidade de energia disponível. Gradualmente, os ajustes nos padrões de viagens são realizados considerando o princípio de preservação das viagens Essenciais e /ou Necessárias. Isto é possível com da mudança do modo de transporte (carro, ônibus, bicicleta, etc) e da distância da viagem (longa, média e curta).

Através de quatro estágios de alteração no padrão de viagens observado, obtém-se um novo indicador de nível de atividades Ψ , que deriva daquele originalmente observado (T). Os quatro estágios de modificação são:

- Estágio 1 – Combinação de viagens, buscando a preservação na participação em atividades;
- Estágio 2 – Mudança modal, de forma que um modo de transporte de menor nível de consumo de energia seja utilizado;
- Estágio 3 – Alteração no destino da viagem, buscando reduzir a distância entre a origem e participação na atividade desejada; e
- Estágio 4 – Eliminação uma viagem, considerando que não existe energia suficiente para realizá-la.

Uma vez obtido Ψ , estima-se o novo nível de consumo de energia, (ξ), previamente definido na Equação 3. O padrão de viagens é modificado até que ξ seja igual ao total de energia disponível ($\xi=AE_e$), ou seja, até que o critério de convergência seja alcançado ($ME_e=0$).

2.5. Determinação do nível de risco

O fator de risco é calculado considerando a probabilidade da redução na disponibilidade de petróleo e os padrões de viagens originais e modificados. Utilizando os resultados anteriormente obtidos, calcula-se o risco R_e de acordo com a Equação 6.

$$R_e = P_e * \left(\frac{\sum_m \sum_d \sum_s T^{m,d,s}}{\sum_m \sum_d \sum_s \Psi^{m,d,s}} - 1 \right) \quad (6)$$

Onde:

P_e = Probabilidade de ocorrência de um evento e .

A análise do fator de risco R_e deve ser feita de forma comparativa com outros cenários de planejamento urbano e de transportes, para que se possa avaliar a influência das variáveis de interesse (configuração do sistema de transportes, padrões de uso do solo, tecnologia dos modos de transportes, etc). Assim, poder-se-á avaliar a eficiência das políticas de planejamento em termos da minimização dos impactos de possíveis eventos de falta de petróleo. Teoricamente, o risco será máximo caso nenhuma atividade possa ser realizada ($\Psi=0$) devido a falta de energia. Por outro lado, o risco será mínimo caso todas as atividades existentes sejam mantidas ($\Psi=T$), mesmo com a redução na disponibilidade de energia.

2.6. Interface com RECATS

O software *RECATS* possui seis áreas principais de interface, conforme apresentado na Figura 4. São elas:

- divisões modal e de distância (*Mode and Distance Split*): proporção de viagens diárias por modo e grupo de distância;
- restrição na energia disponível (*Energy Constraint*): redução percentual no volume de combustível disponibilizado para um cenário futuro (por exemplo: ano 2030);
- eventos de redução na disponibilidade de energia (*Energy Reduction Events*): considerando o horizonte de planejamento, mostra-se graficamente a relação entre o ano de ocorrência da redução da disponibilidade de combustíveis e a produção e consumo de petróleo;
- formas urbanas (*Urban Forms*): permite que valores de cenários de planejamento sejam armazenados, recuperados e organizados considerando o tipo de forma urbana;
- Eficiência veicular (*Fleet Efficiency*): determina o nível de consumo de energia (litros por 100 quilômetros) para modos de transporte carro e ônibus e grupos de distância de viagens;
- opções de modificação (*Mitigation Options*): permite a seleção dos quatro estágios de modificação na demanda de viagens, conforme previamente definido na Seção 2.4;
- divisão relativa da essencialidade das viagens (*Importance split*): representa o peso relativo de cada um dos tipos de viagens (Essenciais, Necessárias e Opcionais);
- análise dos resultados (*Analysis Output*): uma vez acionado o processo iterativo de cálculo do risco (*Calculate*), os resultados são apresentados em termos do consumo inicial de combustível, consumo modificado, o impacto e o fator de risco. *RECATS* também mostra, graficamente, a distribuição de viagens antes e depois das modificações em virtude da redução na disponibilidade de combustíveis.

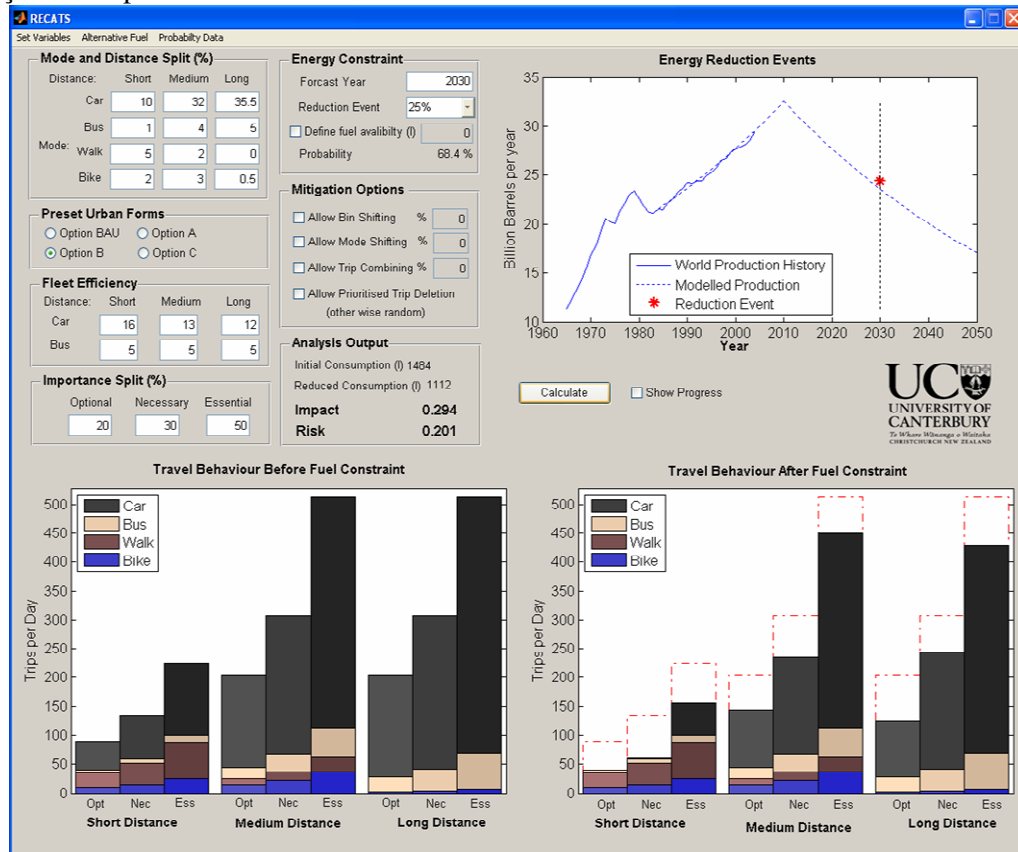


Figura 4: Tela principal de interface do software *RECATS*

3. ESTUDO DE CASO

Christchurch é a maior cidade da Ilha do Sul da Nova Zelândia. Recente estimativas indicam que a população na Região Metropolitana de Christchurch é de aproximadamente 350 mil habitantes. Nos últimos dez anos, observou-se um crescimento de cerca de 10%, o que é considerado significativamente alto para os padrões do país (CCC, 2003). Em previsões conservadoras, estima-se que no ano de 2041 a população será de cerca de 500 mil pessoas (UDSF, 2004). Além do crescimento populacional, Buchanan (2004) verificou mudanças consideráveis nos padrões de ocupação e uso do solo, principalmente na região norte da cidade.

O software *RECATS* foi empregado no processo de desenvolvimento de políticas de desenvolvimento urbano de Christchurch. Nesse contexto, buscou-se analisar os riscos futuros associados a uma forte redução na disponibilidade de combustíveis e os impactos nos sistemas de atividades urbanas e de transportes. As próximas seções descrevem os cenários futuros de planejamento e os resultados obtidos.

3.1. Cenários futuros de planejamento

Como parte do processo de planejamento estratégico da cidade, em 2005 foi criado um grupo de trabalho chamado UDSF (*Urban Development Strategy Forum*), que envolve várias instituições governamentais e representantes da comunidade (UDSF, 2006). O UDSF criou quatro cenários de planejamento, buscando realizar uma análise comparativa que indique a melhor alternativa de desenvolvimento futuro. As características dos quatro cenários são as seguintes:

- Cenário Atual: sem maiores intervenções no sistema de transportes e nos padrões de uso do solo observados atualmente;
- Cenário A: concentração do desenvolvimento e crescimento dentro dos limites municipais, baseando-se no incentivo a uma maior densidade na ocupação do uso do solo e ao uso de modos de transportes de baixo consumo de energia (à pé, bicicleta, ônibus);
- Cenário B: consolidação das áreas atualmente construídas e subsequente expansão de áreas imediatamente adjacentes através do uso intensivo de corredores de ônibus conectando as várias partes das cidades; e
- Cenário C: alto nível de dispersão urbana (baixa densidade de ocupação do uso do solo) e sistema viário extenso e dominante, gerando uma grande separação entre as atividades urbanas (residências, empregos, serviços, etc).

3.2 Demanda de viagens

A partir de várias fontes de dados (CCC, 2003; UDSF, 2004; USDF, 2006), foi possível determinar o padrão de viagens para os cenários de planejamento. Utilizando essa base de dados, inicialmente, dividiu-se as distâncias de viagens em três grupos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Grupos de distâncias de viagens

Distância (Km)	Grupo		
	d=1	d=2	d=3
	0-1.5	1.5-6	6>

Determinou-se, considerando os estudos de Buchanan (2004), Transfund (2000) e Denne *et al* (2005), que a divisão relativa da essencialidade das viagens (*ES*) seria a seguinte: Viagens Opcionais (*s*=1) igual a 20% do total; Viagens Necessárias (*s*=2) igual a 30% do total;

Viagens Essenciais ($s=3$) igual a 50% do total.

Considerando a definição do grupo de distâncias das viagens (Tabela 1), calculou-se a divisão modal para cada um dos modos de transportes mais comuns em Christchurch. São eles: automóvel (MS 1), transporte público por ônibus (MS 2), à pé (MS 3) e bicicleta (MS 4). Utilizando essa divisão modal e considerando uma estimativa populacional de 500 mil pessoas e que cada pessoa realiza 5 viagens em média por dia, computou-se os indicadores de demanda de viagens (TD) e de atividades ($T^{m,d,s}$).

3.3 Consumo de Energia

Considerando que o consumo médio de combustível ($EC^{m,d}$) seria 10 litros por 100 quilômetros para os modos carro e ônibus, determinou-se o consumo de energia para cada cenário de planejamento através da aplicação da Equação 3. O consumo de energia (E) para os cenários Atual, A, B e C foi, respectivamente, 1.536, 1.151, 1.483 e 1.852 milhões de litros por dia.

3.4 Análise dos cenários de planejamento

Para determinar o nível de risco para cada um dos cenários de planejamento, as condições seguintes foram adotadas nas simulações;

- a divisão da essencialidade das viagens (ES) não mudaria após o evento da redução na disponibilidade de petróleo;
- nenhuma alocação especial de combustível seria feita para priorizar o transporte público por ônibus;
- a eliminação de viagens é realizada com base nos níveis de essencialidade;
- os grupos de distância não mudariam após o evento da redução na disponibilidade de petróleo;
- a localização das atividades não mudaria após o evento da redução na disponibilidade de petróleo;
- nenhuma opção de modificação (*Mitigation Options*) seria utilizada após o evento de redução da disponibilidade de petróleo; e
- a eficiência e a ocupação veicular não seriam alteradas após o evento de redução na disponibilidade de petróleo.

As probabilidades da ocorrência de um evento de redução na disponibilidade de combustíveis foram obtidas do estudo da produção mundial de petróleo conduzido por Dantas *et al.* (2007). Essas probabilidades foram incorporadas ao software *RECATS*, permitindo que vários cenários de redução sejam considerados e analisados.

Tendo como base o objetivo do estudo que é analisar os riscos futuros associados a um alto nível de redução na disponibilidade de combustíveis e os impactos nos sistemas de atividades urbanas e de transportes, examinou-se o cenário de redução de 20% da oferta de petróleo. Verificou-se que existe uma probabilidade de 99,9% de que a redução de 20% da oferta de petróleo exista no ano de 2041.

Finalmente, conduziu-se o cálculo do nível de risco e as mudanças em decorrência da redução de 20% da oferta de petróleo afetando cada um dos cenários de planejamento. Os indicadores de risco calculados foram 117, 105, 110 e 126 para os Cenários Atual, A, B e C, respectivamente. Esses resultados indicam que o Cenário C geraria um risco significativo para

a comunidade como um todo. Na eventualidade da redução de 20% na oferta de petróleo, poucas pessoas poderiam participar de atividades sócio-econômicas sem o uso do modo carro, em virtude do espalhamento urbano e da falta de alternativas de transporte e atividades urbanas. Por outro lado, os Cenários A e B propiciariam os níveis mais baixos de risco, porque estariam fundamentados em uma estrutura urbana menos dependente do transporte motorizado e também contariam com altas densidades de ocupação urbana, o que reduziria as distâncias das viagens.

Em termos dos impactos provenientes da limitação no uso de combustíveis fósseis, calculou-se as mudanças nos padrões de viagens para cada um dos cenários. Conforme apresentado na Figura 5, o padrão de viagens seria diferentemente afetado em função do tipo de cenário de planejamento a ser adotado, mas todos sofreriam significativamente já que no mínimo 383 mil viagens teriam que ser “eliminadas” diariamente.

Claramente, o Cenário C estaria submetido a mudanças consideráveis, tais como a perda quase que completa de viagens opcionais de longa distância. Ou seja, a comunidade no Cenário C estaria relegada a realizar apenas a realização de viagens relacionadas ao propósito trabalho, educação e compras de suprimentos. Ademais, verifica-se que no Cenário C a população ficaria bastante vulnerável em razão da quase que inexistência do sistema de transporte público. Conclusões similares podem também ser alcançadas com a manutenção da relação ao Cenário Atual, pois esse é uma representação reduzida do Cenário C.

Apesar de levarem a mudanças significativas, Cenários A e B propiciariam um menor impacto na vida da comunidade. Mesmo com a eliminação de parte das viagens opcionais de longa distância, nota-se que a combinação do adensamento do uso do solo e do transporte coletivo permite a substituição de uma considerável parte das viagens do modo carro. A diferença entre os resultados dos Cenários A e B é expressa em termos da diferença entre o número total de viagens eliminadas (18 mil viagens diárias), que é obviamente considerável e está diretamente relacionada à eliminação de viagens no modo carro e ônibus. Isso se deve ao fato de que o Cenário A permitiria o uso mais intenso dos modos a pé e bicicleta, enquanto que o Cenário B ainda dependeria dos modos de transportes motorizados (carro e ônibus).

Esses resultados do nível de risco e dos impactos na demanda de viagens foram apresentados ao USDF, que decidiu explorar em detalhes os Cenários A e B considerando também outros indicadores de bem-estar da comunidade (saúde, educação, meio-ambiente, economia, etc).

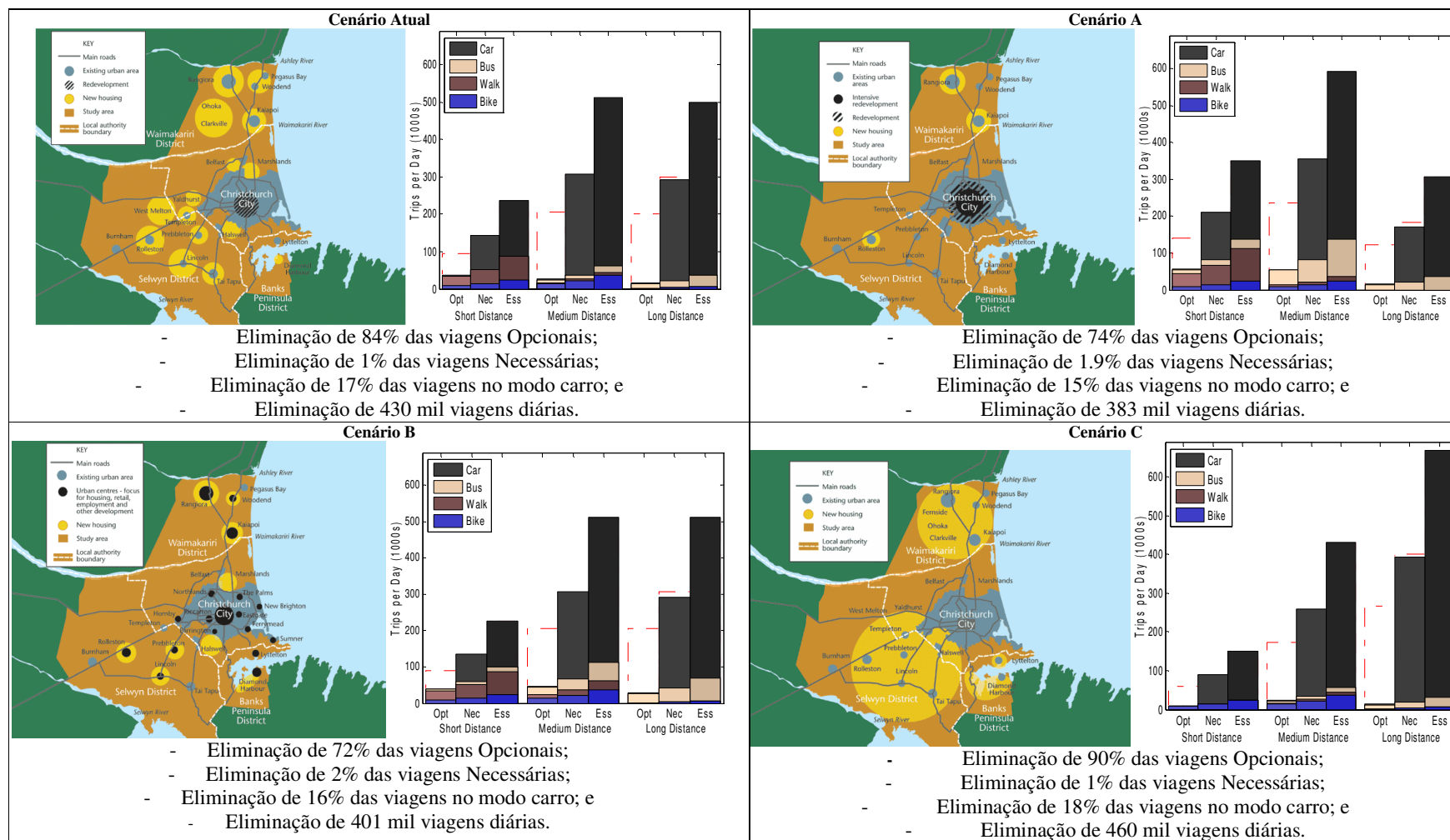


Figura 5: Demanda de viagens modificada para os cenários de planejamento

4. CONCLUSÕES

Apresentou-se, neste trabalho, uma estrutura analítica e lógica para quantificar e avaliar os riscos de possíveis reduções na disponibilidade de combustíveis. Essa estrutura foi implementada, com o auxílio na forma de uma ferramenta de planejamento estratégico chamada *RECATS*, que pode ser utilizada no suporte à decisão para o desenvolvimento urbano e do sistema de transportes.

A concepção do software *RECATS* decorre da percepção de que a atual modelagem em transportes não incorporou ainda a energia como um elemento fundamental e que pode afetar consideravelmente a forma como o planejamento, a organização, a operação e o gerenciamento do sistema de transporte são realizados. Considerando a natureza finita dos combustíveis fósseis e a impossibilidade de substituir completamente o petróleo como fonte principal de energia, observa-se que a disponibilidade futura desse insumo irá determinar a forma como as pessoas participarão das atividades e conseqüentemente afetará a demanda de viagens. Esse entendimento é significamente diferente daquele observado nos paradigmas atuais de planejamento de transportes, que pressupõem que a demanda de viagens deve ser o fator determinante e que a energia estará sempre disponível.

Os resultados do estudo de caso demonstram que é possível comparar e avaliar cenários de planejamento considerando possíveis restrições na oferta e na distribuição de petróleo. Conforme já especulado na literatura científica, verificou-se que o desenvolvimento urbano de baixa densidade seria significamente mais vulnerável do que aqueles envolvendo o aumento da densidade do uso do solo, sistemas de transporte público e modos de transportes não motorizados.

A principal limitação deste trabalho refere-se ao fato de que existem poucos estudos ou dados sobre o comportamento de pessoas sob condições de restrição da oferta e distribuição de combustíveis. Obviamente, isso limita a mensuração da capacidade do modelo proposto para prever mudanças no comportamento urbano e no uso do solo. Pesquisas futuras, nesta área de interesse, portanto, deveriam concentrar-se no desenvolvimento de novos métodos para obter dados e informações sobre o comportamento urbano e o padrão de viagens, sob condições de restrições energéticas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte financeiro obtido junto a Land Transport New Zealand e as várias discussões técnicas com a comunidade de planejamento urbano e transportes na Região Metropolitana de Christchurch. Agradecemos, também, ao Engenheiro Ricardo Timóteo Antunes, ANTT, Brasília, pelos comentários e correções que foram consideradas nesta versão final do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buchanan, N. (2004) *The effect of urban growth on travel patterns in Christchurch*; Master of Arts (Geography) Thesis; University of Canterbury, New Zealand.
- BTRE – Bureau of Transport and Regional Economics (2005) *Is the world running out of oil?*; Department of Transport and Regional Services; Australia Government; Canberra, Australia.
- CCC – Christchurch City Council (2003) *Christchurch City Social Trends Report*; Christchurch, New Zealand.
- Chatterjee, K and Gordon, A. (2006) *Planning for an unpredictable future: Transport in Great Britain*; Transport Policy; in press.

- Cooper, J., Donegan, K., Ryley, T.; Smyth, A.; Granzow, E. (2002) *Densification and urban compaction: reinforcing the drive for sustainability*; Proceedings of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, USA.
- Dantas, A., Krumdieck, S., Page, S. (2007) *Energy Risk to Activity Systems as a Function of Urban Form*; Land Transport New Zealand Report LR 050, Wellington, New Zealand.
- Deffeyes, K. S. (2001) *Hubbert's peak: the impending world oil shortage*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, USA.
- Denne T., Small J. Colegrave F., Hale R., Twomey I., and Smith B., (2005). *Oil Demand Restraint Options for New Zealand*, Ministry of Economic Development, COVEC Ltd. and Hale & Twomey Limited.
- Greiving, S. and Wegener, M. (2001) *Integration of Transport and land-use planning: state of the art*, 8th World Conference in Transportation Research, Seoul, F1-6102.
- Hirsch, R. L., Bezdek R., Wendling R., (2005) *Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation, & Risk Management*, U.S. Department of Energy Report: DOE NETL available at: http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/Oil_Peaking_NETL.pdf
- Lim, C.C. (1997) *The status of transportation demand management in Greater Vancouver and energy implications*, Greater Vancouver Regional District, Burnaby 1997.
- Newman, P. & Kenworthy, J (1999) *Sustainability and cities: Overcoming Automobile Dependence*, Island Press, Washington, DC, USA.
- Ortuzar, J. D., Willumsen, L.G. (1994) *Modelling Transport*, John Wiley&Sons, Chichester.
- Transfund (2000) *Person Travel Characteristics of New Zealanders: Analysis of Home Interview Survey Data*; Transfund New Zealand Research Report No. 183, Wellington, New Zealand.
- UDSF – Urban Development Strategy Forum (2004) *Report #5 – technical report on assessment of options and appendix – 13*; December, Christchurch, New Zealand.
- UDSF – Urban Development Strategy Forum (2006) <http://www.greaterchristchurch.org.nz/>; Last accessed on May 2006.

André Dantas (andre.dantas@canterbury.ac.nz)

Susan Krumdieck (susan.krumdieck@canterbury.ac.nz)

Shannon Page (shannon.page@canterbury.ac.nz)

University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch, New Zealand.