GIOVANI PONTES TRINDADE

**AVALIAÇÃO ESTRATÉGICA DOS CORREDORES DE EXPORTAÇÃO
DA SOJA CULTIVADA NO ESTADO DO MATO GROSSO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

São Paulo

2014

GIOVANI PONTES TRINDADE

**AVALIAÇÃO ESTRATÉGICA DOS CORREDORES DE EXPORTAÇÃO
DA SOJA CULTIVADA NO ESTADO DO MATO GROSSO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Prof. Dr. André Bergsten Mendes

São Paulo

2014

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 07 de outubro de 2014.

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador:

FICHA CATALOGRÁFICA

Trindade, Giovani Pontes

Avaliação estratégica dos corredores de exportação da soja cultivada no estado do Mato Grosso / G.P. Trindade. -- versão corr. -- São Paulo, 2014.

55 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1.Planejamento estratégico 2.Infraestrutura de transporte 3.Transportes hidroviário 4.Hidrovia I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II.t.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa. Gostaria de deixar registrado o meu agradecimento a algumas delas: Prof. André Bergsten Mendes – orientador, e acima de tudo um amigo, pela condução dedicada desta pesquisa e pelo apoio contínuo em todos os momentos, principalmente aqueles mais difíceis; Secretária de pós-graduação do PNV – Lânia Camilo, pela amizade e ajuda prestativa; Família – pais, avô, irmão, esposa, filha, pelo apoio permanente. Por último, sou grato a Deus por ter me ajudado a superar os obstáculos mais difíceis destes últimos anos da minha vida.

RESUMO

Uma das principais razões para a falta de competitividade dos produtores de soja da região centro-oeste do Brasil é o custo de transporte da fazenda até o porto de destino para exportação, o que ocorre em função do desbalanceamento da matriz de transporte brasileira. Tendo por objetivo demonstrar as vantagens do modal hidroviário para o transporte de commodities agrícolas por longas distâncias, este trabalho de pesquisa propõe o uso da análise de decisão multicritérios para fazer a avaliação estratégica de sete corredores de exportação da soja cultivada no estado do Mato Grosso, de acordo com quatro objetivos fundamentais: Impacto Social; Impacto Ambiental; Impacto Econômico; Custos de Manutenção da Via. Um caso hipotético demonstra a aplicação do modelo MCDA.

Palavras-chave: planejamento estratégico; infraestrutura de transporte; transporte hidroviário; hidrovia.

ABSTRACT

One of the main reasons for the Brazilian soybean producers' lack of competitiveness is the cost of transportation from the farm to the export Ports, due to the country's unbalanced transport matrix. Trying to show the advantages of water transportation to transport commodities for long distances, this research proposes the use of multi-criteria decision analysis to support the strategic evaluation of seven freight transportation corridors used to export the soybean produced in the state of Mato Grosso, according to four fundamental objectives: Social Impacts, Environmental Impacts, Economic Impacts and Investment Costs. A hypothetical case demonstrates the application of the MCDA model.

Keywords: strategic planning; transport infrastructure; water transportation; waterway.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTO ATUAL	1
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS	7
1.3	DELINEAMENTO DO TEXTO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	INTRODUÇÃO.....	14
2.2	ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS (MCDA)	14
2.3	APLICAÇÕES DE MCDA PARA APOIAR A AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE TRANSPORTE.....	26
2.4	CONCLUSÃO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	34
3	MODELO MCDA	36
3.1	DESENVOLVIMENTO DO MODELO MCDA DE ACORDO COM A TEORIA DE VALOR MULTIATRIBUTO (MAVT)	36
3.2	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	46
3.3	CONCLUSÃO	47
4	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	48
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Evolução de 2004 a 2013 da produção e exportação de soja no Brasil (em mil toneladas).....	2
Figura 1.2 – Market share dos principais produtores mundiais de soja – Safra de 2012	3
Figura 1.3 – Evolução de 2004 a 2013 do market share dos principais estados produtores de soja no Brasil	4
Figura 1.4 – Evolução de 2010 a 2013 da produção e exportação de soja em grão mato-grossense	8
Figura 1.5 – Corredores de exportação da soja do Mato Grosso.....	10
Figura 3.1 – Árvore de Valor	41
Figura 3.2 – Funções de valor	42
Figura 3.3 – Termômetros dos objetivos	44
Figura 3.4 – Resultados finais para o cenário A.....	45
Figura 3.5 – Resultados finais para o cenário B	46
Figura 3.6 – Resultados finais para o cenário C.....	47
Figura 3.7 – Resultados finais para o cenário D.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Exportações brasileiras de soja em grão por porto (em ton.).....	6
Tabela 3.1 – Descrição dos atributos e peso dos objetivos	38
Tabela 3.2 – Alternativas estratégicas	39
Tabela 3.3 – Pesos dos objetivos.....	40
Tabela 3.4 – Descrição de cada nível do atributo qualitativo	41
Tabela 3.5 – Valores dos atributos para cada alternativa	43
Tabela 3.6 – Função de valor multi-atributo com soma ponderada	45

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por finalidade introduzir o problema abordado nesta pesquisa, intitulada **AVALIAÇÃO ESTRATÉGICA DOS CORREDORES DE EXPORTAÇÃO DA SOJA CULTIVADA NO ESTADO DO MATO GROSSO**, definir os objetivos do estudo, apresentar a metodologia de pesquisa utilizada no trabalho e o delineamento do texto.

1.1 Contexto atual

A economia brasileira cresceu 2,3% em 2013, de acordo com os dados do IBGE. Fazendo uma análise pela ótica da oferta, o setor agropecuário foi o principal responsável por esta expansão da atividade econômica, apresentando um crescimento de 7% em relação ao ano anterior e tendo a sua participação no PIB ampliada de 5,3% para 5,7% em 2013. Dentre as principais culturas deste setor, merece destaque o crescimento da produção de trigo (30,4%), soja (23%), milho (13%) e cana-de-açúcar (10%).

A soja é a cultura agrícola que mais cresceu no Brasil nos últimos anos e, atualmente, representa 49% da área plantada de grãos do país. A produção nacional da soja em grão cresceu 64% entre 2004 e 2013, enquanto que a exportação desta commodity cresceu 122% neste mesmo período. O gráfico da figura 1.1 apresenta a evolução da produção e exportação de soja em grão, ao longo destes dez anos. Os problemas relacionados a alterações climáticas em importantes países produtores de soja, durante a safra de 2012, tiveram como consequência uma redução da oferta e dos estoques mundiais, resultando em um considerável aumento do preço deste grão. Esta conjuntura de mercado, juntamente com o clima favorável ao desenvolvimento da oleaginosa no Brasil, possibilitou a safra recorde de 81,5 milhões de toneladas em 2013.

Figura 1.1 – Evolução de 2004 a 2013 da produção e exportação de soja no Brasil (em mil toneladas)

Fonte: CONAB e ALICEWEB/MDIC

O estudo elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, intitulado Projeções do agronegócio – Brasil 2012/13 a 2022/23 – Projeções de Longo Prazo, estima para 2023 um crescimento de 21,8% na produção e 27,5% na exportação de soja, relativamente à safra de 2013. O cultivo deste grão deve crescer em função de uma série de fatores, tais como: expansão da fronteira agrícola, ocupação de áreas antes destinadas à pastagem e substituição de lavouras menos lucrativas.

Historicamente, os Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de soja, seguidos pelo Brasil e Argentina. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), estes três países são responsáveis por 80% da oferta mundial desta *commodity*. Como a safra americana de 2013 sofreu o impacto de uma forte estiagem que causou uma quebra na produção, os dados referentes à safra de 2012 expressam de maneira mais correta o *market share* dos principais produtores mundiais de soja. O gráfico da figura 1.2 ilustra a participação no mercado destes países para o ano em questão.

Figura 1.2 – Market share dos principais produtores mundiais de soja – Safra de 2012

Fonte: USDA

Em 2013 o Brasil consolidou-se como o maior exportador de soja do mundo, embarcando o equivalente a 42,8 milhões de toneladas deste grão. Mesmo com a quebra na produção, os Estados Unidos exportaram 35,9 milhões de toneladas e a Argentina aparece na terceira posição com 7,8 milhões de toneladas (USDA). A China é o principal destino das exportações brasileiras de soja e em 2013 respondeu por 75% do total exportado. Neste mesmo ano, a União Europeia foi o destino de 12% e a Ásia (exceto China) de 9% das exportações (ALICEWEB/MDIC).

Embora a região centro-oeste seja o grande celeiro da soja no país, a região sul, onde há mais de cinquenta anos a cultura desta oleaginosa se instalou de maneira mais efetiva, também concentra uma parte significativa da produção nacional do grão. Juntas, estas duas regiões foram responsáveis pela oferta de 84% da soja em grão cultivada no Brasil em 2013. O Mato Grosso é o maior produtor, seguido pelos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e

Mato Grosso do Sul. O gráfico da figura 1.3 demonstra a evolução do *market share* dos principais estados produtores, ao longo dos últimos dez anos.

Figura 1.3 – Evolução de 2004 a 2013 do *market share* dos principais estados produtores de soja no Brasil

Fontes: CONAB

O maior produtor nacional de soja em grão é também o maior exportador. Em 2013, o Mato Grosso respondeu por 29% das exportações do grão, o equivalente a 12,3 milhões de toneladas. No mesmo período, o Rio Grande do Sul embarcou 7,9 milhões de toneladas e o Paraná 7,5 milhões de toneladas, enquanto que Goiás e Mato Grosso do Sul embarcaram 3,2 e 2,3 milhões de toneladas, respectivamente (ALICEWEB/MDIC).

Dado que a soja em grão é uma *commodity*, o aumento da margem de lucro dos produtores rurais está diretamente ligado à redução dos custos logísticos, de modo que o produto chegue ao porto de exportação ao menor

custo possível. Durante o escoamento das safras colhidas entre 2010 e 2013, os gargalos da infraestrutura logística do país tornaram-se muito evidentes, atingindo o ápice na safra de 2013. Atualmente, os pontos mais preocupantes são os seguintes:

- Déficit de armazenagem;
- Inexistência de uma rede de transporte intermodal eficiente;
- Estradas em condições precárias de conservação, o que tem um impacto direto nos altos custos de transporte;
- Carência de investimentos em ferrovias e hidrovias, que acabam tendo o seu potencial subaproveitado;
- As longas filas de caminhões e navios nos portos demonstram a ineficiência operacional e falta de competitividade do setor portuário brasileiro.

Os portos de Santos (SP), Paranaguá (PR) e Rio Grande (RS) são as principais portas de saída da soja destinada à exportação. Durante o escoamento da safra recorde de 2013, estes três portos operaram no limite de suas capacidades, sendo que boa parte da produção da região centro-oeste precisou ser exportada pelo porto de Rio Grande, contribuindo para aumentar ainda mais o preço do frete pago pelo produtor rural. Ao mesmo tempo em que os principais portos das regiões sul e sudeste operam no limite da capacidade, portos das regiões norte e nordeste se apresentam como uma alternativa para o escoamento da soja, o que acaba demandando investimentos na infraestrutura de transporte intermodal, de acesso à hinterlândia portuária e de transbordo de carga. A tabela 1.1 apresenta a quantidade exportada, por porto, de 2010 a 2013.

Tabela 1.1 – Exportações brasileiras de soja em grão por porto (em ton.)

Porto	UF	2010	2011	2012	2013
Santos	SP	8.226.982	9.230.508	10.396.325	12.893.109
Paranaguá	PR	5.333.970	6.924.388	6.954.322	7.735.132
Rio Grande	RS	4.564.075	5.755.691	3.540.700	8.206.122
São Francisco do Sul	SC	3.044.282	2.609.398	2.880.518	4.032.264
Vitória	BA	2.379.156	2.452.879	2.392.146	2.823.224
São Luís	MA	2.063.214	2.514.376	2.750.687	2.974.624
Salvador	BA	1.232.150	1.525.901	1.721.014	1.778.558
Manaus	AM	1.283.034	1.086.216	1.364.627	1.278.985
Outros	-	946.292	886.203	916.077	1.074.086
Total		29.073.156	32.985.560	32.916.417	42.796.104

Fonte: ALICEWEB/MDIC

O transporte intermodal é caracterizado pela utilização, combinada, de pelo menos dois modais diferentes dentro de uma mesma cadeia de transporte. Na maior parte do trajeto, a carga é transportada por meio de ferrovias, hidrovias de águas interiores ou embarcações de longo curso, procurando fazer uso do modal rodoviário para percorrer a menor distância possível (Macharis e Pekin, 2009). O conceito de corredor de transporte intermodal pode ser definido como um conjunto de infraestruturas de transporte que interligam duas ou mais regiões. Este conjunto pode ser composto por rodovias, ferrovias, hidrovias, canais, corredores exclusivos para ônibus, conexões aéreas ou marítimas, etc., o que implica o uso de diferentes modais para o transporte tanto de carga quanto de passageiros (Priemus e Zonneveld, 2003).

Mesmo com dimensões continentais, o Brasil apresenta uma matriz de transporte fortemente concentrada no modal rodoviário, que responde por 65,5% da carga transportada no país. O modal ferroviário representa 19,2%, o aquaviário 11,4% (9,6% referente à cabotagem e 1,8% ao transporte hidroviário), o dutoviário 3,8% e o aéreo 0,1% da matriz de transporte brasileira. O claro desequilíbrio existente nesta configuração fica ainda mais evidente quando faz-se uma comparação com a matriz de transporte dos

Estados Unidos, onde 38% da produção é transportada por ferrovias, 28,7% por rodovia, 11,4% pelo modal aquaviário (4,6% referente à cabotagem e 6,8% ao transporte hidroviário), 21,5% pelo modal dutoviário e 0,4% pelo aéreo (ILOS 2012).

As deficiências da infraestrutura de transporte brasileira reduzem a competitividade dos produtos nacionais no mercado externo, pois os elevados custos de transporte têm uma influência muito grande sobre os custos logísticos, que atualmente equivalem a 10,6% do PIB. Nos Estados Unidos estes custos são da ordem de 7,7% do PIB. Estima-se que os custos com o transporte de carga representem aproximadamente 32% da totalidade dos custos logísticos no Brasil, o que reforça ainda mais a importância de se fazer investimentos na infraestrutura de transporte intermodal, buscando obter, no longo prazo, um equilíbrio da matriz (PNLT, 2014).

Regiões onde há uma escassez de investimentos em infraestrutura podem se tornar periféricas, o que pode ser verificado quando uma determinada região não consegue se conectar a um corredor de transporte intermodal através de rotas de acesso. Quando isso ocorre, as atividades econômicas da região afetada pela falta de investimentos acabam sendo penalizadas, podendo desencadear uma migração da atividade produtiva para regiões com melhor infraestrutura de transporte. Portanto, o planejamento estratégico da infraestrutura de transporte deve contemplar o desenvolvimento de corredores de transporte intermodal, bem como o acesso de regiões mais afastadas a estes corredores (Monios e Lambert, 2012).

1.2 Problema de pesquisa e objetivos

A região centro-oeste do Brasil possui um grande potencial de expansão da área destinada ao plantio da soja, além de apresentar uma elevada

produtividade por hectare de área plantada. Entretanto, há uma enorme perda de competitividade, por parte dos produtores rurais desta região, no que diz respeito aos custos de transporte desta *commodity* agrícola desde a propriedade rural até o porto onde será exportada. O Mato Grosso é o maior produtor e exportador de soja em grão do país e, mesmo assim, os produtores rurais deste estado pagam o frete mais caro para o transporte da soja destinada à exportação, principalmente em função das longas distâncias percorridas até os portos das regiões sul e sudeste, fazendo uso de rodovias em estado precário de conservação. O gráfico da figura 1.4 demonstra a clara tendência de crescimento da produção e exportação de soja em grão cultivada no estado do Mato Grosso, o que contribui para o agravamento dos problemas da infraestrutura de transporte utilizada para o escoamento da produção.

Figura 1.4 – Evolução de 2010 a 2013 da produção e exportação de soja em grão mato-grossense

Fonte: CONAB

Nas últimas décadas, o planejamento do transporte de carga no Brasil tem dado ênfase à questão do tempo de conclusão das obras e, desta forma, os tomadores de decisão no âmbito governamental têm priorizado os investimentos para o desenvolvimento da infraestrutura dos modais rodoviário e ferroviário. O transporte hidroviário é considerado um sistema de transporte de carga secundário, principalmente em função dos altos investimentos e do longo período de tempo necessário para a implantação das hidrovias. As obras de infraestrutura incluem a construção de eclusas e barragens, bem como a dragagem de canais, de modo a garantir a navegabilidade ao longo de toda a hidrovia. A tomada de decisão estratégica referente a investimentos em hidrovias é desafiadora devido à presença de um alto nível de incerteza sobre o futuro no longo prazo e à necessidade de se considerar múltiplos objetivos estratégicos, muitas vezes conflitantes entre si.

Tradicionalmente, os modais rodoviário e ferroviário apresentam os resultados dos investimentos em infraestrutura muito mais rápido do que o modal hidroviário. Em um passado recente, os decisores responsáveis pelo planejamento estratégico da infraestrutura de transporte do país optaram pelo desenvolvimento do modal rodoviário, principalmente em função da necessidade de se obter resultados imediatos para os investimentos públicos diante de um rápido crescimento da economia e do transporte de mercadorias. Independentemente do estado de conservação das rodovias, a ineficiência deste modal para longas distâncias acaba afetando a competitividade dos produtos nacionais no mercado internacional.

Diante deste contexto, o presente estudo se propõe a apoiar o processo decisório referente ao planejamento estratégico da infraestrutura de transporte, o que implica a priorização de projetos para os quais serão destinados recursos públicos. Para tanto, será apresentado, hipoteticamente, um processo de tomada de decisão estratégica que busca avaliar a performance dos principais

corredores de transporte de carga utilizados para escoar a soja produzida no estado do Mato Grosso e destinada à exportação. Os corredores de transporte avaliados neste estudo são:

- 1) Escoamento da produção através do Porto de Santos (rodo – ferro);
- 2) Escoamento da produção através do Porto de Paranaguá (rodo);
- 3) Escoamento da produção através do Porto de Santarém 1 (rodo);
- 4) Escoamento da produção através do Porto de Ponta da Madeira – Itaqui (rodo – ferro);
- 5) Escoamento da produção através do Porto de Itacoatiara (rodo – hidro);
- 6) Escoamento da produção através do Porto de Vitória (rodo – ferro);
- 7) Escoamento da produção através do Porto de Santarém 2 (rodo – hidro);

A figura 1.5 apresenta os sete corredores de transporte de carga tendo como origem o estado do Mato Grosso.

Figura 1.5 – Corredores de exportação da soja do Mato Grosso

Os corredores de transporte de carga em questão podem ser caracterizados pela utilização de um único modal, o rodoviário, bem como pelo uso combinado dos modais rodoviário e ferroviário ou rodoviário e hidroviário. Embora ainda não seja possível escoar a soja do Mato Grosso pelo porto de Santarém fazendo uso do transporte hidroviário, este corredor de transporte de carga é considerado na análise, intencionalmente, para demonstrar as vantagens deste modal, em comparação aos modais rodoviário e ferroviário, quando o processo de tomada de decisão contempla as questões sociais e ambientais.

Este trabalho de pesquisa tem como principal objetivo hierarquizar os corredores de exportação da soja mato-grossense, levando-se em consideração os impactos social e ambiental de cada modal de transporte e não apenas os aspectos financeiros e econômicos. Para alcançar o objetivo central da pesquisa, será necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Identificar na literatura o uso de abordagens de análise de decisão multicritérios para apoiar o planejamento estratégico da infraestrutura de transporte.
- Apresentar a abordagem de análise de decisão multicritérios adotada para apoiar o processo de tomada de decisão.
- Identificar os *stakeholders* envolvidos no processo decisório.
- Identificar os critérios de análise.
- Criar um modelo de análise de decisão multicritérios.
- Analisar os resultados e fazer uma análise de sensibilidade.

Para fazer uma avaliação estratégica destes corredores de exportação da soja produzida no Mato Grosso, a metodologia de pesquisa adotada foi a análise de decisão multicritérios (*Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA*).

MCDA é uma abordagem capaz de modelar as compensações entre preferências e valores, tanto dos tomadores de decisão, quanto das demais partes interessadas do processo decisório. A análise de decisão multicritérios também possibilita a realização de uma análise de sensibilidade, tendo como objetivo verificar a robustez dos resultados obtidos durante a análise de decisão. Em um processo de tomada de decisão estratégica, esta abordagem de apoio à tomada de decisão proporciona uma estrutura de modelagem para avaliar o impacto que potenciais opções estratégicas possam ter sobre objetivos múltiplos e conflitantes. MCDA decompõe um problema de decisão em problemas menores, modela os objetivos e valores e apresenta uma maneira formal de integrar os resultados de modo que uma preferível sequência de ações possa ser determinada (Montibeller; Franco, 2007).

A ferramenta de análise de decisão V.I.S.A, desenvolvida pela empresa SIMUL8 com base na teoria de valor multiatributo (MAVT – *Multi Attribute Value Theory*), auxilia o analista no processo de criação do modelo MCDA. Este *software* possibilita o desenvolvimento de um modelo de medição de valor, de tal forma que as decisões sejam modeladas por meio da hierarquização de funções de valor com múltiplos critérios, os quais são ponderados entre si.

1.3 Delineamento do Texto

O presente texto está estruturado nos seguintes capítulos:

2. Revisão Bibliográfica – apresenta as principais abordagens de análise de decisão, destacando a aplicação daquelas que utilizam modelos de mensuração de valor para avaliar projetos de infraestrutura de transporte.

3. Modelo MCDA – apresenta o processo de desenvolvimento do modelo MCDA, com base na teoria de valor multiatributo, e a análise de sensibilidade dos dados.

4. Conclusões e Recomendações – apresenta a conclusão deste trabalho de pesquisa e indica possíveis extensões dos métodos adotados neste estudo;

5. Referências Bibliográficas – relaciona a bibliografia consultada durante o desenvolvimento desta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Diferentes abordagens de análise de decisão têm sido aplicadas no processo de planejamento estratégico de sistemas de transporte, dado que os métodos tradicionais de otimização encontram limitações quando múltiplos e conflitantes objetivos estão envolvidos no processo decisório. A revisão da literatura, a seguir, busca apresentar as principais abordagens de análise de decisão, destacando a aplicação daquelas que utilizam modelos de mensuração de valor para avaliar projetos de infraestrutura de transporte.

2.2 Análise de decisão multicritérios (MCDA)

O ambiente em que as decisões são tomadas, tanto no setor público quanto no mundo corporativo, é muito complexo e o objetivo da análise é justamente elucidar esta complexidade de modo que se obtenha um maior conhecimento sobre o processo de tomada de decisão estratégica. Keeney (1982) define análise de decisão como “uma filosofia, articulada por um conjunto de axiomas lógicos, e uma metodologia e coleção de procedimentos sistemáticos, baseados nestes axiomas, para se analisar responsavelmente as complexidades inerentes aos problemas de decisão.” Os axiomas fornecem uma base sólida e uma abordagem geral para se incluir julgamentos subjetivos e valores na análise de decisão (Keeney, 1982).

A análise busca decompor um problema de decisão em uma série de problemas menores para poder lidar com cada um separadamente. Por meio de um mecanismo formal é possível integrar os resultados desta primeira etapa

com o intuito de determinar uma linha de ação. A decomposição de problemas de decisão em partes menores e a posterior integração com base na lógica dos axiomas para indicar a escolha da melhor alternativa é uma orientação da análise de decisão denominada “*divide and conquer*”. Esta orientação exerce papel fundamental na abordagem de problemas de caráter interdisciplinar (Goodwin; Wright, 1988).

Phillips (1989) argumenta que a análise de decisão tem sofrido mudanças ao longo dos anos, evoluindo e deixando de ser uma disciplina puramente matemática, utilizada para se obter soluções ótimas, para se tornar uma estrutura formal que promove o pensamento criativo e permite que novas perspectivas sejam trazidas à tona durante o processo decisório. Este autor afirma que “[...] a análise de decisão ajuda a proporcionar [...] uma linguagem para expressar as preocupações do grupo e uma forma de combinar diferentes perspectivas” (PHILLIPS, 1987, p.150). Aspectos subjetivos e não quantificáveis passaram a fazer parte da análise de decisão e, diante desta nova realidade, a busca por uma solução que seja satisfatória para problemas complexos, e não mais uma única solução ótima, deu origem ao termo conhecido como *satisficing* (WALKER, 2000).

Para Keeney e Raiffa (1972), a análise de decisão tem como função principal apoiar o decisor para que ele possa tomar uma boa decisão. Segundo estes autores:

A análise formal deve servir como um auxílio para o tomador de decisão, não como um substituto para ele. Como processo, ela tem a intenção de promover o pensamento consistente sobre a área do problema: geração de alternativas, antecipação de futuras contingências, exame de efeitos secundários dinâmicos e assim por diante. Além disso, uma boa análise deve iluminar a controvérsia – para descobrir onde existem diferenças básicas em valores e incertezas, para facilitar o acordo, para aumentar o nível do debate e

para entender a retórica – em resumo “para estimular uma boa tomada de decisão”. (Keeney; Raiffa, 1972, p. 65)

De acordo com Bell; Raiffa e Tversky (1988), a pesquisa sobre análise aplicada ao processo de tomada de decisão divide-se em três áreas, as quais sejam:

1. **Análise Descritiva:** procura explicar *como e por que* as pessoas pensam e agem de determinada forma quando tomam uma decisão. É uma atividade tanto empírica quanto clínica, que pode exigir modelagem matemática e análise estatística de alta complexidade, com ampla aplicação nas ciências sociais que estudam o comportamento dos indivíduos.
2. **Análise Normativa:** busca demonstrar, por meio da coerência e racionalidade expressas em termos de axiomas, como deve se dar o processo de tomada de decisão em que indivíduos racionais tenham que escolher entre opções concorrentes.
3. **Análise Prescritiva:** a análise descritiva é capaz de identificar uma série de pontos fracos relacionados ao processo de tomada de decisão intuitiva, onde o decisor não recorre a nenhum tipo de ajuda externa. Com o intuito de auxiliar o tomador de decisão durante este processo, a análise prescritiva tenta aproximar a tomada de decisão do mundo real aos fundamentos teóricos estabelecidos pela análise normativa.

Os resultados de uma análise são considerados prescritivos quando eles indicam ao decisor o que deve ser feito com base nos julgamentos obtidos durante o processo de análise de decisão. Se o tomador de decisão está de acordo com o conjunto de regras expressas na forma de axiomas, então, para agir de maneira racional na escolha entre alternativas concorrentes, a linha de ação indicada pela análise deve ser adotada (Goodwin; Wright, 1988).

A tomada de decisão, de maneira geral, implica a escolha de uma ou mais alternativas a partir de uma lista de opções que representam as soluções aceitáveis para determinado problema e as possíveis consequências de cada uma delas. A análise formal do processo de tomada de decisão visa maximizar as consequências positivas ao mesmo tempo em que busca minimizar as negativas. Estas consequências podem ser encaradas como uma medida de desempenho. Desta forma, a análise do problema de decisão procura levar em consideração as medidas de desempenho de todas as alternativas, de maneira simultânea, para que o decisor possa exercer a sua escolha racionalmente. Este processo ocorre, portanto, em um contexto caracterizado por múltiplas medidas de desempenho, ou seja, por múltiplos critérios (SEN; YANG, 2011).

Segundo Belton e Stewart (2002), critério é um padrão de julgamento, por meio do qual uma determinada linha de ação pode ser considerada mais desejável do que outra. No momento em que há um número considerável de padrões de julgamento, conflitantes entre si, a consideração de diferentes opções de escolha torna-se um problema de tomada de decisão multicritérios (MCDM – *Multiple Criteria Decision Making*). Diante de problemas dessa natureza, a análise de decisão multicritérios (MCDA – *Multiple Criteria Decision Analysis*) procura auxiliar o tomador de decisão na difícil tarefa de organizar e sintetizar uma grande quantidade de informação, reflexo de diferentes pontos de vista que geralmente mudam com o passar do tempo, de modo que ele se sinta confiante para tomar uma boa decisão, ciente de que todos os fatores ou critérios foram devidamente considerados na análise. Belton e Stewart (2002) utilizam a expressão MCDA como um “termo guarda-chuva” para descrever um conjunto de abordagens formais que procuram considerar, de maneira explícita, os múltiplos critérios envolvidos na análise de problemas de decisão que apresentam uma estrutura complexa.

Problemas deste tipo normalmente envolvem múltiplos objetivos, incerteza e múltiplos *stakeholders*. Como nenhuma escolha do decisor é capaz de satisfazer plenamente todos os objetivos, é necessário que se leve em consideração na análise os *trade-offs* entre estes objetivos (GOODWIN; WRIGHT, 1988). Keeny (1992) define objetivo como uma indicação da linha de ação preferida. Os valores do decisor tornam-se explícitos na análise de um problema de decisão por meio da definição dos seus objetivos. Os objetivos fundamentais representam o motivo essencial de interesse pelo problema de decisão e norteiam a avaliação de alternativas, enquanto que os objetivos complementares são os meios utilizados para se atingir o objetivo fundamental. Os objetivos complementares são muito úteis no processo de criação de alternativas e no desenvolvimento de modelos de análise de decisão multicritérios, que buscam fornecer uma ordenação das alternativas, desde a menos preferida até a mais preferida (KEENEY, 1992).

Keeney e Raiffa (1976) ampliaram o conjunto de axiomas da teoria da decisão, normalmente associada à regra da utilidade, para que problemas de decisão com múltiplos objetivos pudessem ser analisados. De acordo com a teoria da decisão, os decisores desejam ter coerência ao tomarem uma decisão e, na prática, a análise de decisão multicritérios é utilizada para ajudá-los a desenvolver preferências de maneira coerente, de modo que as decisões possam ser tomadas com maior confiança.

As fases do processo de análise de decisão multicritérios são as seguintes: identificação e estruturação do problema de decisão; desenvolvimento e aplicação do modelo; implementação do plano de ação. A fase inicial de identificação do problema é caracterizada pelo pensamento divergente, que tenta compreender a complexidade inerente ao processo para, a partir daí, tornar possível a administração do problema e entender como que o decisor pode avançar para a próxima etapa. A fase de construção e aplicação

do modelo apresenta uma forma de pensamento mais convergente, capaz de identificar as questões essenciais do problema de decisão para permitir uma avaliação mais precisa das alternativas. É possível que o resultado desta segunda fase seja a necessidade de se estimular o pensamento criativo sobre alternativas e demais aspectos relacionados à estruturação do problema, ou seja, um retorno ao pensamento divergente. O processo de MCDA, na prática, apresenta uma natureza confusa em função justamente desta iteração entre as fases do processo (BELTON; STEWART, 2002).

As diversas abordagens MCDA diferem entre si na construção e implementação do modelo. Nesta fase do processo, as diferentes abordagens têm em comum a necessidade de se identificar alternativas para serem consideradas na análise, definir critérios para avaliar estas alternativas e encontrar alguma forma de medida que expresse a importância relativa dos critérios. A diferença entre as abordagens reside na forma como a informação é obtida e sintetizada para se desenvolver o modelo, bem como na maneira como o modelo é usado para apoiar o processo de tomada de decisão (BELTON; STEWART, 2002).

Conforme Belton e Stewart (2002), os modelos de análise de decisão multicritérios podem ser classificados em três categorias ou escolas de pensamento:

1. Modelos de *outranking*: neste tipo de modelo, as alternativas são comparadas em pares para identificar até que ponto é possível se afirmar que há uma preferência por uma determinada alternativa em detrimento de outra. Ao reunir as informações de preferência sobre todos os critérios relevantes, o modelo consegue determinar a robustez da evidência que favorece a escolha de uma alternativa sobre outra. Principais abordagens que utilizam modelos de *outranking*: família ELECTRE e PROMETHEE.

2. Modelos de meta, aspiração ou nível de referência: neste caso, para cada critério, são estabelecidos níveis de desempenho satisfatórios ou desejáveis. O processo então se encarrega de definir quais alternativas mais se aproximam dos objetivos desejados. Principais abordagens que utilizam modelos de meta, aspiração ou nível de referência: *goal programming* e *reference point*.
3. Modelos de medição de valor: nesta categoria, escores numéricos são definidos para indicar o nível de preferência de uma alternativa em relação à outra. Inicialmente, estes escores são construídos para cada um dos critérios e, posteriormente, são sintetizados com o intuito de se realizar a agregação em um nível mais elevado dos modelos de preferência. Principais abordagens que utilizam modelos de medição de valor: teoria de valor multiatributo (MAVT), método de análise hierárquica (AHP) e MACBETH.

A abordagem *goal programming* foi introduzida por Charnes e Cooper (1977). Ela segue o preceito de que a melhor alternativa é aquela que minimiza a soma ponderada dos desvios dos objetivos estabelecidos (SEN; YANG, 2011). O tomador de decisão deve fornecer os pesos relativos e o alvo dos objetivos. As alternativas são então classificadas de acordo com a proximidade dos seus critérios de desempenho em relação aos respectivos valores previamente definidos (SINHA; LABI, 2007). A abordagem *reference point* foi descrita, originalmente, por Wierzbicki (1980). Nesta abordagem, o termo “objetivo” foi substituído pelo termo neutro “nível de referência” com o intuito de indicar níveis de desempenho considerados um bom ponto de partida para a exploração do processo de tomada de decisão. Wierzbicki apresentou o conceito de função *scalarizing*, uma espécie de função substituta para ser aplicada nas proximidades do ponto de referência, e a maximização desta função resulta em uma solução eficiente que é, de certo modo, a mais próxima

do ponto de referência. O decisor deve decidir se a solução encontrada é satisfatória e, caso não seja, os valores de referência precisam ser revisados (BELTON; STEWART, 2002).

Goal programming e *reference point* são adequadas para a aplicação em problemas de decisão que apresentam um número muito grande, ou até mesmo infinito, de alternativas. Os critérios têm, obrigatoriamente, que ser representados em termos quantitativos, o que exclui a aplicação destas abordagens em problemas que incluam critérios subjetivos. Isso dificulta o uso de *goal programming* e *reference point* na análise de problemas de decisão estratégica, pois pode ser muito difícil estabelecer objetivos de tal modo que a solução encontrada seja realmente a alternativa mais satisfatória conforme a estrutura de preferências determinada pelo decisor. Neste caso, estas abordagens podem ser utilizadas em uma fase inicial da análise para ajudar a gerar uma lista de alternativas (BELTON; STEWART, 2002).

De acordo com Sinha e Labi (2007), as abordagens de *outranking* fornecem uma classificação ordinal das alternativas de um problema de decisão e, para determinar se uma é superior a outra, compara-se duas alternativas de cada vez. Uma alternativa *A* possui um nível superior a (*outranks*) uma alternativa *B* se, tendo considerado todas as informações sobre o problema e as preferências do decisor, há um argumento consistente para apoiar a conclusão de que *A outranks B* e, ao mesmo tempo, não existe nenhum argumento contrário a isso. A avaliação é feita com base nos índices de concordância e discordância, definidos para cada par de alternativas *A* e *B*. O índice de concordância $IC(A,B)$ mede a consistência de determinada informação para apoiar a hipótese de que a alternativa *A* é pelo menos tão boa quanto *B*. Já o índice de discordância $ID(A,B)$ mede a força das evidências que existem contra esta hipótese.

As abordagens da família ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité / Elimination and Choice Expressing Reality*), desenvolvidas por Roy (1996), diferem conforme o grau de complexidade ou a natureza do problema de decisão e de acordo com a riqueza de informação exigida para a análise do mesmo. Enquanto ELECTRE I indica apenas a alternativa mais preferida, ELECTRE II procura fornecer uma classificação de todas as alternativas por ordem de preferência do decisor. O desenvolvimento das relações de *outranking* se dá praticamente da mesma maneira em ambas as abordagens. No entanto, em ELECTRE II, duas relações de *outranking* são construídas utilizando-se diferentes pares de valores limiares de concordância e de discordância, criando assim relações de *outranking* fortes e fracas. As relações fortes apresentam um valor limiar de concordância mais alto e um valor de discordância mais baixo. ELECTRE III introduziu a noção de valores limiares de preferência e de indiferença, porém apenas especifica estes valores, ao passo que na abordagem PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), desenvolvida por Brans e Vincke (1985), a intensidade de preferência pela alternativa A sobre B é descrita por meio de uma função de preferência definida para cada critério (BELTON; STEWART, 2002).

A principal vantagem das abordagens de *outranking* é a comparação pareada das alternativas, que procura focar na maneira como os decisores formam preferências naturalmente. Já as desvantagens recaem sobre a forma não intuitiva de entrada de dados do modelo (valores limiares de concordância e discordância ou de indiferença e preferência; funções de preferência), o que fica ainda mais evidente quando são feitos esforços no sentido de estender as abordagens para gerar uma ordenação explícita de preferência em um conjunto de alternativas. Diante de tais complexidades e do potencial para se obter resultados contra-intuitivos, Belton e Stewart (2002) afirmam que as abordagens de *outranking* são mais indicadas em uma fase preliminar da

análise, não sendo apropriadas para o apoio à tomada de decisão estratégica, situação em que o analista trabalha diretamente com o decisor ou grupo de decisores.

A tomada de decisão estratégica envolve altos níveis de incerteza sobre o futuro, a necessidade de se levar em consideração objetivos estratégicos múltiplos e conflitantes, a interconectividade das opções estratégicas, as consequências de longo prazo resultantes da implementação de uma estratégia escolhida, bem como a necessidade de engajamento dos múltiplos *stakeholders* no processo decisório. Num contexto de apoio à tomada de decisão que apresente tais características, a análise de decisão multicritérios (MCDA) exerce papel fundamental na criação de opções estratégicas, na seleção da estratégia preferida e no planejamento de ações para implementar a estratégia escolhida (MONTIBELLER; FRANCO, 2011).

Segundo Keeney (1996), a análise de decisão multicritérios pode provocar uma mudança decisiva no processo de avaliação de estratégias ao orientar o decisor na direção do *pensamento focado em valor*, de modo que a decisão estratégica, tanto no setor público quanto no privado, seja conduzida conforme os valores fundamentais da organização. Normalmente, o decisor procura descobrir quais alternativas estão a disposição para depois definir objetivos e critérios que serão utilizados para fazer a avaliação das mesmas, o que caracteriza o *pensamento focado em alternativa*. Entretanto, em uma situação de tomada de decisão, a maior parte do tempo deve ser dedicada à articulação e compreensão dos valores que ajudarão no processo de criação e avaliação das alternativas. O pensamento focado em valor utiliza conceitos lógicos e sistemáticos para identificar e estruturar, qualitativamente, os valores envolvidos em uma tomada de decisão.

Dentre as abordagens MCDA que utilizam modelos de mensuração de valor, a teoria de valor multiatributo (MAVT – *Multiattribute Value Theory*) e a

teoria de utilidade multiatributo (MAUT – *Multiattribute Utility Theory*) são as mais aplicadas, tanto no meio acadêmico quanto na prática (BELTON; STEWART, 2002). As dificuldades encontradas com a aplicação de modelos mais complexos de MAVT/MAUT levaram ao desenvolvimento de uma abordagem simplificada de avaliação multicritério, denominada SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*). Contudo, em SMART, a definição das funções de valor e dos pesos ainda é considerada uma tarefa difícil e o modelo pode não ser capaz de refletir as reais preferências do decisor. É por este motivo que Edwards e Barron (1994) propuseram uma forma simplificada de SMART que ficou conhecida como SMARTER (SMART Exploiting Ranks). Nesta última, assume-se que as funções de valor são lineares e que o processo de comparação das oscilações dos pesos consiste apenas em pedir ao decisor para classificar as oscilações em ordem de preferência, o que evita que seja necessário estimar um número que represente a sua importância relativa. SMARTER então utiliza o conceito de pesos ROC (*Rank Order Centroid*) para converter esta classificação das oscilações em um conjunto de pesos aproximados (GOODWIN; WRIGHT, 1988).

De acordo com Belton e Stewart (2002), a teoria de valor multiatributo (MAVT) procura apoiar o processo de tomada de decisão multicritérios aplicando, na prática, os conceitos da teoria de mensuração de valor. A estruturação do problema e o desenvolvimento do modelo contribuem para a definição dos objetivos do tomador de decisão, os quais são normalmente organizados na forma de uma árvore de valor hierárquica. Para fazer uma avaliação de cada alternativa indicando, assim, as preferências do decisor, a abordagem MAVT sintetiza em uma função de valor o desempenho (*scores*) das alternativas em relação a cada critério juntamente com os pesos (*weights*) que refletem a importância relativa dos diferentes critérios. O modelo aditivo é a forma de função de valor mais simples e, portanto, a mais utilizada:

$$V(a) = \sum_{i=1}^m w_i v_i(a)$$

Onde:

$V(a)$ é o valor total da alternativa a

$v_i(a)$ é o valor (*score*) que reflete o desempenho da alternativa a em relação ao critério i

w_i é o peso (*weights*) atribuído para refletir a importância do critério i

A teoria de utilidade multiatributo (MAUT), que pode ser encarada como uma extensão da teoria de valor multiatributo (MAVT), utiliza a teoria da probabilidade e expectativas estatísticas para lidar com as incertezas que fazem parte do processo de tomada de decisão estratégica. Estas incertezas se tornam evidentes quando o decisor encontra dificuldades para prever o real desempenho de estratégias potenciais, caso elas viessem a ser implementadas. Belton e Stewart (2002) argumentam, no entanto, que, na maioria dos problemas de decisão estratégica, os modelos mais simples que utilizam função de valor, aliados a uma consistente análise de sensibilidade, podem gerar essencialmente os mesmos resultados obtidos com a aplicação dos complexos modelos de teoria de utilidade multiatributo.

A abordagem AHP (*Analytic Hierarchy Process*), desenvolvida por Saaty (1980), apresenta em sua implementação características muito similares às aquelas encontradas em MAVT. A principal delas é a avaliação das alternativas por meio de uma função de valor aditiva, porém a abordagem AHP foi desenvolvida à parte da teoria de decisão e, portanto, difere de MAVT na forma como esta função é construída. No procedimento padrão AHP, as alternativas são tratadas como o nível mais baixo da árvore de valor hierárquica e todas as

comparações são feitas da seguinte forma: o decisor deve responder a sucessivas perguntas de comparação pareada que levam a uma avaliação numérica implícita das alternativas de acordo com cada critério. O uso de comparações pareadas e de escalas de proporção para todos os julgamentos representam as principais diferenças entre AHP e MAVT (BELTON; STEWART, 2002).

Outra importante abordagem que também utiliza o modelo aditivo de função de valor é a MACBETH (*Mesuring Attractiveness by a Categorical-Base Evaluation TecHnique*), desenvolvida por Bana e Costa e Vansnick (1997). Assim como ocorre no procedimento padrão AHP, o decisor deve comparar apenas duas alternativas ou critérios de cada vez, expressando as suas preferências em termos de palavras em vez de números. Entretanto, para determinar esta importância relativa entre elementos da árvore de valor hierárquica, MACBETH pede para o decisor comparar diferenças em atratividade, ao passo que a abordagem AHP expressa preferência por meio de uma proporção (GOODWIN; WRIGHT, 1988).

2.3 Aplicações de MCDA para apoiar a avaliação de projetos de transporte

No setor público, as abordagens mais utilizadas para apoiar a tomada de decisão estratégica baseiam-se amplamente na valoração monetária do impacto esperado das alternativas, como por exemplo: análise financeira, análise da eficácia de custo (CEA – *Cost-Effectiveness Analysis*) e análise custo-benefício (CBA – *Cost-Benefit Analysis*). Esta última é, de longe, a que encontra o maior número de aplicações na área de planejamento estratégico da infraestrutura de transporte. CBA está fundamentada em uma teoria econômica muito bem desenvolvida que estabelece o seguinte: as valorações monetárias devem ter como base a disposição de potenciais ganhadores para pagar pelos benefícios

que obterão como resultado de uma alternativa, bem como a disposição de potenciais perdedores para aceitar compensações pelas perdas, o que ficou conhecido como princípio da compensação potencial (DODGSON et al., 2009).

França e Estados Unidos são notadamente os países que mais utilizam CBA para a avaliação de projetos de infraestrutura de transporte. De acordo com Lee (2000), nos Estados Unidos, a análise custo-benefício é utilizada pelas agências governamentais de transporte para ponderar a preferência por ações alternativas, já que elas sofrem uma pressão considerável por parte do OMB (*Office of Management and Budget*), que procura reduzir os pedidos de fundos pelas agências federais, e por parte do Congresso, que busca uma justificativa para os gastos de dinheiro público. Consequentemente, CBA é muito aplicada em nível federal. Os estados e municípios americanos reconhecem a adequação da abordagem e a recomendação do governo central, porém adotam MCDA para a avaliação de projetos de transporte, pois em uma escala regional há uma participação muito mais efetiva dos *stakeholders* no processo de análise de decisão.

A avaliação de investimentos em infraestrutura é uma preocupação constante na França. A metodologia de análise de projetos tem mudado ao longo dos anos e, atualmente, há uma forte orientação para se adotar uma teoria econômica padrão, que apresente resultados objetivos, mas a implementação desta orientação encontra dificuldades devido à incerteza relacionada ao cálculo das valorações monetárias e ao número sempre crescente de participantes no processo decisório (QUINET, 2000). Embora CBA seja a abordagem predominante para a avaliação de projetos de infraestrutura de transporte na França, os legisladores têm tentado estabelecer uma estrutura institucional que venha a facilitar a participação de *stakeholders* no processo de tomada de decisão estratégica, o que ilustra a dificuldade de se encontrar um equilíbrio entre a objetividade da análise custo-benefício e a necessidade de se

levar em consideração as perspectivas dos vários *stakeholders* (DAMART; ROY, 2009).

O governo japonês adotou, recentemente, CBA como a abordagem padrão para avaliar projetos de transporte, mas na prática o que se faz é uma espécie de análise multicritérios complementada por CBA. Desta forma, é possível incluir na avaliação aspectos como impacto econômico regional, impacto ambiental global e local, impacto social, dentre outros (MORISUGI, 2000). A priorização de projetos de infraestrutura de transporte é um problema complexo e, mesmo em países onde CBA é o principal instrumento de avaliação, decisões sobre investimentos são geralmente influenciadas por preferências políticas; ou critérios que não envolvem valores monetários precisam ser considerados no processo de tomada de decisão. Portanto, o uso combinado de CBA e MCDA pode ajudar a tornar as preferências do decisor mais transparentes por meio da inclusão de todos os fatores envolvidos na análise, de modo que os objetivos da política de transporte estejam fortemente ligados aos resultados da avaliação dos projetos (GÜHNEMANN; LAIRD; PEARMAN, 2012).

Browne e Ryan (2011) afirmam que MCDA está sendo usada cada vez mais para apoiar o processo de tomada de decisão estratégica nas áreas ambiental e de transporte devido aos seguintes fatores: complexidade das questões envolvidas; necessidade de se abordar, holisticamente, os impactos ambientais, econômicos e sociais; inadequação das abordagens convencionais, tais como CBA e CEA, para compreender todos os impactos envolvidos em uma política ou projeto. Estes autores argumentam que há um reconhecimento crescente de que a política de transporte proporciona benefícios sócio-políticos e efeitos em rede que são tratados de maneira mais adequada por meio da análise de decisão multicritérios. Abordagens pluralistas e multi-disciplinares, como é o caso de MCDA, são úteis no desenvolvimento de soluções que tenham

um compromisso social, pois são capazes de lidar com interesses conflitantes tornando problemas de decisão complexos mais transparentes. MCDA procura incorporar à análise as perspectivas dos múltiplos *stakeholders* de modo que todos os impactos de uma medida proposta possam ser avaliados em sua totalidade, o que requer uma análise quantitativa e qualitativa dos impactos sociais, ambientais e econômicos para que os resultados sejam muito mais informativos do que aqueles obtidos com a aplicação de uma análise apenas quantitativa.

Na União Européia, a análise de decisão multicritérios tem sido utilizada em países como Áustria, Holanda, Grécia e Bélgica para avaliar projetos de infraestrutura de transporte (BRISTOW; NELLTHORP, 2000). No Reino Unido, a estrutura de análise denominada NATA (*New Approach to Appraisal*) tem sido utilizada para avaliar projetos estratégicos na área de transporte, incluindo novos critérios que até então não faziam parte da abordagem padrão CBA. Estes critérios passaram a considerar não só questões econômicas, mas também os aspectos relacionados à segurança, acessibilidade, intermodalidade e preservação do meio ambiente (SAYERS; JESSOP; HILLS, 2003).

O planejamento estratégico da infraestrutura de transporte está fortemente relacionado ao conceito de desenvolvimento sustentável, pois a avaliação de projetos nessa área deve ter como parâmetro de análise as três dimensões que constituem o tripé (*Tripple Bottom Line*) da sustentabilidade, as quais sejam: econômica, ambiental e social. A avaliação da sustentabilidade das ações propostas em um projeto ou política de transporte não pode ser feita somente por meio de análise monocritério (CBA). Portanto, uma análise complementar que proporcione uma visão mais ampla do problema de decisão deve fazer parte de todo tipo de avaliação em nível estratégico. Neste contexto,

torna-se evidente o potencial das abordagens de MCDA para apoiar a tomada de decisão estratégica na área de transporte (LÓPEZ; MONZÓN, 2010).

Ferrari (2003) sugere que a escolha entre diferentes projetos de transporte pode ser feita por meio de um processo hierárquico de três níveis: no primeiro nível estão os objetivos fundamentais que o decisor pretende atingir ao executar os projetos; o segundo nível apresenta um caráter político, pois é representado pelos vários pontos de vista que servirão de parâmetro de análise; o terceiro é considerado um nível técnico, já que neste nível estão os vários projetos a serem avaliados. Os atributos (medidas de desempenho) dos projetos são tangíveis porque podem ser calculados por meio de uma abordagem padrão, porém os atributos dos pontos de vista são intangíveis e exigem uma avaliação subjetiva, o que pode ser feito com o auxílio da abordagem AHP. Ferrari (2003) adotou este procedimento para escolher, diante de quatro alternativas, o projeto mais adequado para a construção de uma rodovia.

Conforme Turcksin; Bernardini e Macharis (2011), AHP é provavelmente a abordagem MCDA mais aplicada para a avaliação de projetos de infraestrutura de transporte. A capacidade de decompor um problema de decisão complexo em partes menores e a simplicidade de aplicação são as principais vantagens desta abordagem. Já as críticas recaem sobre a agregação completa dos critérios, o que pode levar a uma considerável perda de informação, e a excessiva quantidade de comparações pareadas necessárias para avaliação de alternativas em problemas complexos. Para suprir estas deficiências, Turcksin; Bernardini e Macharis (2011) propuseram uma abordagem integrada, que combina o uso de AHP e PROMETHEE, para apoiar os tomadores de decisão do governo belga na difícil tarefa de reduzir as externalidades ambientais estimulando as pessoas a fazerem uma escolha por modais de transporte mais sustentáveis. AHP foi adotada para estruturar o

problema de decisão e definir os pesos dos critérios, enquanto que PROMETHEE foi usada para realizar a classificação final das alternativas e fazer a análise de sensibilidade modificando os pesos. Ziara et al. (2002) aplicaram a abordagem AHP para definir a priorização de projetos de infraestrutura na Palestina, enquanto que Awasthi e Chauhan (2011) utilizaram esta abordagem para avaliar o impacto que as decisões relacionadas ao transporte exercem sobre a questão da sustentabilidade nas cidades.

Khademi e Sheikholeslami (2010) escolheram a abordagem AHP para a priorização de investimentos em diferentes programas de manutenção de rodovias, em Gilan, uma das 30 províncias do Irã. A escolha se deu em função das seguintes características do método: estruturação do problema de maneira bem organizada; demonstração dos erros através de coeficientes de inconsistência; reunião das diferentes ideias em um problema de tomada de decisão em grupo. Embora este método apresente uma fase de tomada de decisão em grupo, é possível encontrar problemas nesta etapa do processo decisório, tais como: falha na tentativa de considerar todos os parâmetros importantes e eficazes na busca pela solução do problema e definição da hierarquia; falha na tentativa de escolher um grupo de especialistas apropriado; falha na tentativa de convencer os *stakeholders* em relação à estruturação do problema e escolha dos critérios. Como resultado da identificação destes problemas, Khademi e Sheikholeslami (2010) adotaram, antes da aplicação de AHP, duas outras técnicas de tomada de decisão em grupo: Conferência (*Conference*) e levantamento Delphi (*Delphi survey*). Esta abordagem MCDA é denominado *Conference-Delphi-AHP*.

De acordo com Shang; Tjader e Ding (2004), as abordagens AHP e ANP (*Analytic Network Process*) são capazes de avaliar uma grande variedade de critérios, podendo incluir na análise tanto fatores tangíveis quanto intangíveis. No entanto, AHP modela os níveis de decisão através de uma relação

hierárquica unidirecional, ao passo que ANP possibilita que haja interações, de caráter mais complexo, entre as subredes e entre os diferentes critérios. Shang; Tjader e Ding (2004) aplicaram ANP para avaliar diferentes projetos de transporte em Ningbo, China.

Macharis; Witte e Turcksin (2010) reconhecem que a avaliação monetária de projetos de transporte apresenta limitações que podem ser superadas por meio da aplicação de MCDA para apoiar o processo de tomada de decisão. A análise de decisão multicritérios permite a inclusão dos objetivos de múltiplos *stakeholders* no processo decisório, o que representa um fator importante para as decisões estratégicas no setor de transporte. Uma das abordagens de MCDA que possibilita esta inclusão é a Análise Multicritérios Multi-Ator (MAMCA – *Multi-Actor Multi Criteria Analysis*), capaz de considerar na análise os diferentes pontos de vista dos múltiplos stakeholders. Macharis; Witte e Turcksin (2010) aplicaram MAMCA no processo de tomada de decisão relacionado ao projeto Flandres em Ação (*Flanders in Action*), cujo objetivo é transformar esta região da Bélgica em uma referência em termos de mobilidade e logística na União Europeia, procurando atrair atividades econômicas que contribuam para aumentar a segurança no trânsito e diminuir os impactos ambientais do setor de transporte.

Segundo Neufville e Keeney (1973), a escolha de uma estratégia para o desenvolvimento da infraestrutura de transporte de uma determinada região envolve objetivos múltiplos e conflitantes, um longo horizonte de planejamento e uma diversidade de stakeholders com interesses divergentes. Entretanto, este tipo de tomada de decisão pode envolver também um certo grau de incerteza sobre o futuro. Quando há a necessidade de se incluir a incerteza no modelo de análise de decisão multicritérios, a abordagem mais indicada é a MAUT. Na teoria de utilidade multiatributo, as técnicas adotadas para realizar a análise de preferência das alternativas incluem a estimativa das

probabilidades das várias consequências do processo de tomada de decisão, a estimativa da função de utilidade multiatributo e o cálculo dos equivalentes de certeza. Neufville e Keeney (1973) aplicaram MAUT para apoiar o processo de tomada de decisão referente à ampliação do aeroporto internacional da Cidade do México.

A abordagem MAVT é própria para a avaliação de projetos no setor público. Estes projetos são caracterizados por interesses conflitantes dos *stakeholders*, múltiplos objetivos e processos de planejamento e implementação que tendem a se estender por um longo período de tempo. Além disso, os *stakeholders* geralmente têm objetivos distintos, realizam *trade-offs* entre estes objetivos de maneira diferente e escolhem atributos distintos para fazer a mensuração dos mesmos; discordam em relação aos resultados da análise e têm dificuldades de comunicação (HOSTMANN et al., 2005). Costa (2001) utilizou o modelo de valor aditivo, baseado na teoria de valor multiatributo (MAVT), para apoiar o processo de tomada de decisão relacionado à política de investimentos públicos em ligações rodoviárias na região metropolitana de Lisboa. Ele procura demonstrar, através do estudo de caso, que MCDA pode ser aplicada, com sucesso, na análise de situações que envolvam conflitos e na busca por alternativas de políticas públicas menos conflitantes. O modelo de valor aditivo é considerado o de menor complexidade e também o mais utilizado dentre os diversos modelos de análise de decisão multicritérios. Ele segue as seguintes etapas de análise: uma função de valor aditiva é construída para medir o valor de cada um dos objetivos fundamentais; pesos (constantes de escala) são atribuídos a cada um dos objetivos; é feita uma análise de sensibilidade para verificar a robustez do modelo.

2.4 Conclusão da Revisão Bibliográfica

Os trabalhos analisados consideram que as abordagens MCDA constituem uma ferramenta adequada para apoiar a tomada de decisão relacionada a problemas de planejamento estratégico da infra estrutura de transporte, pois permitem incorporar, à análise de decisão, múltiplos e conflitantes objetivos, o que não ocorre no caso da avaliação monetária (critério único) de projetos de transporte. Outro fator importante, verificado nestes trabalhos, é a inclusão dos objetivos de múltiplos *stakeholders* no processo de tomada de decisão através da análise de decisão multicritérios.

Conforme abordado por Iniesta e Gutiérrez (2009), a aplicação de abordagens multicritérios para a avaliação de projetos de planejamento estratégico da infraestrutura de transporte tem aumentado, recentemente, na literatura que trata deste tema. Entretanto, Hostmann et al. (2005) constataram que, apesar das vantagens apresentadas pelos métodos MCDA para a solução de conflitos, típicos de processos de tomada de decisão que envolvem múltiplos *stakeholders* com múltiplos e conflitantes objetivos, há uma quantidade reduzida de estudos que descrevem casos bem sucedidos da aplicação de abordagens multicritério em problemas reais.

O presente estudo pretende utilizar o modelo de valor aditivo, baseado no método MAVT, para avaliar os corredores utilizados para o transporte da soja produzida no estado do Mato Grosso, com destino à exportação. A utilização de uma abordagem MCDA tem por objetivo apoiar o processo de tomada de decisão relacionado ao planejamento estratégico da infraestrutura de transporte na região Centro-Oeste do Brasil. A análise de decisão multicritérios aplicada às políticas públicas busca dar suporte à difícil tarefa de priorização de investimentos, por parte dos tomadores de decisão do setor público, dado a escassez de recursos financeiros.

O modelo de valor aditivo é capaz de demonstrar que os projetos de infraestrutura que estimulam o transporte intermodal representam a melhor opção quando leva-se em consideração, na análise de decisão, os impactos econômicos, sociais e ambientais. Este modelo também consegue modelar os interesses, muitas vezes conflitantes, tanto dos tomadores de decisão quanto dos *stakeholders*.

3 MODELO MCDA

3.1 Desenvolvimento do modelo MCDA de acordo com a teoria de valor multi-atributo (MAVT)

O pensamento focado em valor deve orientar a criação de um grupo de objetivos fundamentais que reflitam os valores do decisor e dos *stakeholders* envolvidos ou afetados pelo processo de tomada de decisão. Estes objetivos são estruturados em uma árvore de valores, onde são representados hierarquicamente. Para criar este grupo de objetivos e estruturá-los em uma árvore de valores, pode ser adotada tanto a abordagem *bottom-up* (de baixo para cima ao longo da árvore de valores) quanto a *top-down* (de cima para baixo ao longo da árvore de valores). A abordagem *bottom-up* consiste em desenvolver uma árvore de valores partindo da escolha dos atributos que distinguem cada opção estratégica e, perguntando-se **por que** os atributos escolhidos são importantes, é possível subir ao longo da árvore de valores procurando por objetivos fundamentais dos tomadores de decisão. Por outro lado, a abordagem *top-down* procura, primeiro, identificar objetivos fundamentais e, perguntando-se **como** estes objetivos podem ser atingidos, é possível descer ao longo da árvore de valores procurando por atributos.

MCDA apresenta duas fases: divergente e convergente. A fase divergente da análise de decisão estratégica focou na determinação do escopo do processo de tomada de decisão, de modo que o decisor pudesse ser identificado e o problema pudesse ser estruturado. A avaliação de processos de tomada de decisão estratégica é uma atividade dinâmica e repetitiva. Portanto, os participantes do processo de desenvolvimento do modelo MCDA puderam alternar entre o pensamento focado em alternativa e o focado em valor, bem como adotar um comportamento cíclico entre as diferentes fases da

análise, operando de uma forma não linear, de modo a definir o principal objetivo estratégico e o grupo de objetivos fundamentais do tomador de decisão.

Durante a estruturação do problema, o decisor concluiu que o principal objetivo estratégico do processo de tomada de decisão consiste em avaliar os corredores de exportação da soja cultivada no estado do Mato Grosso. Desta forma, o resultado da análise deve apresentar uma ordem de priorização para estes corredores de exportação, apoiando o tomador de decisão na avaliação de qual corredor de transporte de carga deve ser priorizado quando, por exemplo, for preciso escolher entre diferentes alternativas para a alocação de futuros investimentos em infraestrutura logística.

Criar um conjunto de objetivos fundamentais é uma das tarefas mais importantes de qualquer processo de tomada de decisão, pois além de mostrar a importância de se levar em consideração determinado assunto na decisão estratégica, estes objetivos também indicam uma direção de preferência. Neste trabalho, a abordagem MCDA conduziu ao desenvolvimento de quatro objetivos fundamentais: Impacto Social; Impacto Ambiental; Impacto Econômico; Custos de Manutenção da Via. O objetivo Impacto Econômico foi dividido em dois objetivos complementares: Desenvolvimento Regional e Urbano e Eficiência Energética. Ao criar uma árvore de valores, é necessário checar se os objetivos estão seguindo um conjunto de propriedades, tais como: referência de valor; compreensibilidade; operacionalidade; não redundância; independência preferencial. Os objetivos citados acima estão de acordo com estas propriedades.

A fase convergente da análise de decisão focou na definição de parâmetros (funções de valor e pesos) do modelo. O primeiro passo consistiu em desenvolver atributos para cada objetivo fundamental localizado no nível mais baixo da árvore de valores. Dependendo da forma com que cada atributo

é utilizado para medir um objetivo, ele pode ser classificado como: atributo quantitativo direto; atributo quantitativo indireto; atributo qualitativo. Independentemente do tipo de atributo, eles também necessitam seguir uma série de propriedades, tais como: não ambíguo; compreensivo; direto; operacional; compreensível. Os atributos descritos na Tabela 3.1 estão em conformidade com estas propriedades.

Tabela 3.1 – Descrição dos atributos e peso dos objetivos

OBJETIVOS FUNDAMENTAIS	IMPACTO SOCIAL		IMPACTO AMBIENTAL		IMPACTO ECONÔMICO				CUSTO DE MANUTENÇÃO DA VIA		VALOR TOTAL
					DESENVOLVIMENTO REGIONAL E URBANO		EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				
ATRIBUTOS (unidades)	NÚMERO DE ACIDENTES COM PESSOAS FERIDAS (proporção)	VALOR	EMISSIONES DE CO (libras)	VALOR	NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO	VALOR	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (litros)	VALOR	CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO (proporção)	VALOR	
CLASSIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS	Quantitativo Indireto		Quantitativo Indireto		Qualitativo		Quantitativo Indireto		Quantitativo Direto		
NOTAÇÃO	$n(a_i)$	$v_n(n(a_i))$	$c(a_i)$	$v_c(c(a_i))$	$d(a_i)$	$v_d(d(a_i))$	$f(a_i)$	$v_f(f(a_i))$	$m(a_i)$	$v_m(m(a_i))$	
NÍVEL MÁXIMO	2100	0	2600	0	ALTO	100	32	0	1500	0	100
NÍVEL MÍNIMO	300	100	600	100	BAIXO	0	9	100	100	100	0
PESOS	$w_n = 0.228$		$w_c = 0.258$		$w_k = 0.286$				$w_m = 0.228$		
					$w_d = 0.44$		$w_f = 0.56$				

Em uma segunda etapa, foram definidos os limites superior e inferior da variação de cada atributo. Estes níveis de referência representam a melhor situação factível e a pior aceitável para medir os atributos. O passo seguinte da análise de decisão exigiu alguma criatividade dos participantes do processo de criação do modelo MCDA, de modo que alternativas estratégicas pudessem ser criadas (Tabela 3.2). Valores e objetivos fundamentais, estabelecidos anteriormente, contribuíram para guiar o processo criativo que levou ao desenvolvimento de uma tabela de consequências, que ilustram o impacto que

cada opção estratégica exerce sobre todos os objetivos fundamentais e, desta forma, alternativas puderam ser criadas.

Tabela 3.2 – Alternativas estratégicas

ALTERNATIVAS	Rodoviário (km)	Ferroviário (km)	Hidroviário (km)
Exportação através do Porto de Santos	771	1401	
Exportação através do Porto de Paranaguá	2123		
Exportação através do Porto de Santarém	1408		
Exportação através do Porto de Ponta da Madeira – Itaqui	1423	1332	
Exportação através do Porto de Itacoatiara	1488		1106
Exportação através do Porto de Vitória	1423	1424	
Exportação através do Porto de Santarém	419		1043

Para modelar preferências e *trade-offs* de valor, foram obtidas funções de valor relacionadas aos objetivos fundamentais e foram estabelecidos pesos para estes objetivos. O método conhecido como bisseção foi utilizado para obter as funções de valor no caso dos atributos quantitativos. Seguindo este método, os tomadores de decisão identificaram pontos médios em uma escala de valor, tendo como parâmetro dois níveis de ancoragem dentro de uma variação dos atributos previamente estabelecida. Para o atributo qualitativo Nível de Desenvolvimento, o método conhecido como classificação direta (*direct rating*) foi utilizado para obter a função de valor. Neste caso, os participantes do processo de tomada de decisão definiram e caracterizaram, diretamente, os níveis do atributo.

Os pesos dos objetivos foram obtidos através de um procedimento conhecido como amplitude de oscilação do peso (*swing weights*). Este método consiste em ancorar os julgamentos nos limites superior e inferior de cada atributo e, logo após, classificar as oscilações de acordo com a ordem de

preferência. Tendo feito a ancoragem e a classificação, os tomadores de decisão atribuíram um valor para cada oscilação, adotando a primeira oscilação como referência. Estas oscilações são consideradas os pesos reais dos objetivos, mas elas devem ser normalizadas para que o somatório seja de 100%. O valor total das potenciais opções estratégicas pôde ser calculado utilizando-se uma função de valor multiatributo com soma ponderada (*weighted-sum multi-attribute value function*).

No modelo MCDA em questão, o valor parcial de cada opção estratégica para cada um dos objetivos é multiplicado pelo seu respectivo peso. Os valores parciais ponderados pelo peso são então somados. Os valores parciais $v(a_i)$ de cada corredor de exportação e o peso (w_o) de cada objetivo foram utilizados para calcular o valor total $V(a_i)$ para cada uma das alternativas (a_i):

$$V(a_i) = w_n V_n(n(a_i)) + w_c V_c(c(a_i)) + w_k [w_d V_d(d(a_i)) + w_f V_f(f(a_i))] + w_m V_m(m(a_i))$$

A versão universitária do *software* V.I.S.A. foi utilizada no processo de análise. A Tabela 3.3 apresenta os pesos dos objetivos para cada cenário.

Tabela 3.3 – Pesos dos objetivos

OBJETIVO	A		B		C		D	
Impacto Econômico	100	0,286	100	0,313	100	0,323	100	0,313
Impacto Social	80	0,229	80	0,250	80	0,258	50	0,156
Impacto Ambiental	90	0,257	90	0,281	50	0,161	90	0,281
Custo de Manutenção da Via	80	0,229	50	0,156	80	0,258	80	0,250
Total	350	1,000	320	1,000	310	1,000	320	1,000

A Tabela 3.4 apresenta a descrição de cada nível do atributo qualitativo Nível de Desenvolvimento.

Tabela 3.4 – Descrição de cada nível do atributo qualitativo

Objetivo: Desenvolvimento Regional e Urbano		
Atributo: Nível de Desenvolvimento		
Escala	Níveis	Descrição de cada nível
100	ALTO	Movimento comercial regional completo (atividades comerciais, industriais e de serviços).
75	MÉDIO-ALTO	Movimento comercial regional médio (atividades de comércio e de serviços em âmbito regional).
50	MÉDIO	Movimento comercial regional pequeno e um movimento comercial pontual intermediário (comércio e serviços).
25	MODERADO	Nenhum movimento comercial regional e um movimento comercial pontual (setor de serviços).
0	FRACO	Nenhum movimento comercial regional. Tem um movimento comercial pontual fraco e sazonal.

A árvore de valores do modelo MCDA é apresentada na figura 3.1:

Figura 3.1 – Árvore de Valores

A figura 3.2 apresenta as funções de valor do modelo MCDA:

Figura 3.2 – Funções de valor

A tabela 3.5 apresenta os valores dos atributos para cada alternativa do modelo MCDA:

Tabela 3.5 – Valores dos atributos para cada alternativa

ALTERNATIVAS	Impacto Econômico		Impacto Ambiental	Impacto Social	Custos de manut. da via
	Eficiência Energética	Des. Regional e Urbano			
	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (litros)	NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO			
Santos	19	FRACO	1467	805	1227
Paranaguá	31	MODERADO	2506	2006	502
Santarém 1	21	MÉDIO	1662	1331	333
Ponta da Madeira – Itaquí	28	MÉDIO	2210	1417	1329
Itacoatiara	26	MODERADO	1894	1407	372
Vitória	29	MODERADO	2246	1422	1398
Santarém 2	10	MÉDIO-ALTO	624	396	118

Fonte: PNLT (2014) e PHE (2014)

O *software* V.I.S.A. demonstra os resultados do modelo no formato de um termômetro que indica a pontuação de cada uma das alternativas. A escala dos termômetros tem como valor mínimo “0”, o mais desfavorável, e como valor máximo “100”, o mais favorável.

A figura 3.3 apresenta os termômetros dos objetivos do modelo MCDA:

Figura 3.3 – Termômetros dos objetivos

A figura 3.4 apresenta o termômetro que indica os resultados finais para o cenário A:

Figura 3.4 – Resultados finais para o cenário A

A Tabela 3.6 apresenta o cálculo do valor total $V(a_i)$ de cada um dos corredores de exportação para o cenário A.

$$V(a_i) = w_n V_n(n(a_i)) + w_c V_c(c(a_i)) + w_k [w_d V_d(d(a_i)) + w_f V_f(f(a_i))] + w_m V_m(m(a_i))$$

Tabela 3.6 – Função de valor multi-atributo com soma ponderada

Função de valor multi-atributo com soma ponderada		NÚMERO DE ACIDENTES COM PESSOAS FERIDAS (proporção)		EMISSIONES DE CO (libras)		NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO		CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (litros)		CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO (proporção)		VALOR TOTAL
ALTERNATIVAS	CORREDORES DE EXPORTAÇÃO	PESO	VALOR	PESO	VALOR	PESO	VALOR	PESO	VALOR	PESO	VALOR	
a1	Exportação através do Porto de Santos	0,228	38	0,258	19	0,12584	0	0,16016	30	0,228	7	20
a2	Exportação através do Porto de Paranaguá	0,228	1	0,258	2	0,12584	25	0,16016	2	0,228	46	15
a3	Exportação através do Porto de Santarém	0,228	13	0,258	15	0,12584	50	0,16016	24	0,228	63	31
a4	Exportação através do Porto de Ponta da Madeira – Itaquí	0,228	11	0,258	7	0,12584	50	0,16016	8	0,228	4	13
a5	Exportação através do Porto de Itacoatiara	0,228	12	0,258	11	0,12584	25	0,16016	13	0,228	60	24
a6	Exportação através do Porto de Vitória	0,228	11	0,258	6	0,12584	25	0,16016	7	0,228	2	9
a7	Exportação através do Porto de Santarém	0,228	88	0,258	95	0,12584	75	0,16016	85	0,228	97	90

3.2 Análise de sensibilidade

O principal tipo de incerteza do processo decisório está relacionado ao *trade-off* entre objetivos fundamentais. Já foi demonstrado na seção 3.1 que é possível representar estes *trade-offs* de valor utilizando pesos para uma função de valor multiatributo. Contudo, esta forma de representação de *trade-offs* de valor é uma tentativa de quantificação de valores que são altamente subjetivos e, portanto, não é possível esperar que os resultados sejam precisos. Sendo assim, é muito importante fazer a análise da influência que a alteração de parâmetros exerce sobre o resultado final do modelo.

A tomada de decisão estratégica, com caráter de longo prazo, exige uma robustez dos dados analisados durante o processo decisório, de modo a demonstrar o quão forte são estes dados em diferentes cenários. A análise apresentada, a seguir, pode contribuir para avaliar a robustez de estratégias diante de incertezas referentes ao *trade-off* de valor. Nos cenários B, C e D, os pesos dos objetivos Impacto Social, Impacto Ambiental e Custos de Manutenção da Via foram reduzidos para 50% do peso do objetivo Impacto Econômico.

A figura 3.5 apresenta os resultados finais para o cenário B:

Figura 3.5 – Resultados finais para o cenário B

A figura 3.6 apresenta os resultados finais para o cenário C:

Figura 3.6 – Resultados finais para o cenário C

A figura 3.7 apresenta os resultados finais para o cenário D:

Figura 3.7 – Resultados finais para o cenário D

3.3 Conclusão

Os resultados do modelo MCDA demonstram que o corredor de exportação que utiliza a hidrovia Tapajós – Teles Pires é a melhor opção para escoar a soja cultivada no estado do Mato Grosso. Mesmo fazendo uma análise de sensibilidade em que os pesos dos objetivos Impacto Social, Impacto Ambiental e Custos de Manutenção da Via foram reduzidos para 50% do peso do objetivo Impacto Econômico, o corredor de exportação que adota esta hidrovia continua sendo a melhor opção. Esta análise de sensibilidade apresenta alguma variação na classificação dos corredores de exportação apenas na terceira e na quarta posição.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as principais conclusões e recomendações referentes à pesquisa intitulada **AVALIAÇÃO ESTRATÉGICA DOS CORREDORES DE EXPORTAÇÃO DA SOJA CULTIVADA NO ESTADO DO MATO GROSSO**.

Foi estudado o problema de análise de decisão no âmbito do planejamento estratégico de transporte, o que implica um processo decisório complexo, caracterizado pela presença de múltiplos stakeholders com objetivos muitas vezes conflitantes. Para apoiar o decisor durante o processo de tomada de decisão envolvendo o planejamento estratégico da infraestrutura de transporte do país, optou-se por utilizar, dentre as diversas abordagens de análise de decisão multicritérios, a teoria de valor multiatributo (MAVT). Esta teoria serviu de base para a construção do modelo MCDA que buscou refletir os valores e objetivos do decisor, bem como a robustez dos dados utilizados na análise de decisão.

O presente tema de pesquisa reflete o problema enfrentado pelos produtores rurais da região central do Brasil, dado que o escoamento da safra de grãos, com destino à exportação, ocorre basicamente por meio do modal rodoviário e o estado precário de conservação das estradas contribui para a perda de competitividade devido aos altos custos com manutenção de veículos, o que acaba contribuindo para a elevação do preço do frete. Os altos índices de produtividade da produção agrícola nacional não são suficientes para garantir um aumento da margem de lucro dos produtores rurais, uma vez que os gargalos da infraestrutura logística do país aumentam consideravelmente os custos de transporte.

Este estudo teve como foco da análise o escoamento da produção de soja do estado do Mato Grosso e, portanto, foram avaliados os principais corredores

de exportação desta *commodity*. Dentre os corredores de transporte de carga avaliados no modelo MCDA, o corredor Santarém 2, analisado de maneira hipotética dado que a hidrovia Tapajós – Teles Pires não está plenamente implementada, apresentou resultados substancialmente superiores aos demais corredores em todos os objetivos considerados fundamentais pelas partes envolvidas no processo de tomada de decisão. Isso se dá em função das vantagens apresentadas pelo modal hidroviário, quando comparado aos modais rodoviário e ferroviário, em questões como: consolidação de carga; redução do número de acidentes ao longo de via; redução das emissões de CO; baixo custo de manutenção da via; maior eficiência energética; aumento das atividades econômicas ao longo da hidrovia. A análise de sensibilidade dos dados, através da qual os pesos dos objetivos Impacto Social, Impacto Ambiental e Custos de Manutenção da Via foram reduzidos para 50% do peso do objetivo Impacto Econômico, demonstrou que o corredor de exportação de soja Santarém 2 continua sendo a melhor opção de modal de transporte para esta atividade econômica.

Possíveis desdobramentos que poderiam ser desenvolvidos, a partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, são:

- Ampliação do modelo MCDA, incluindo outros objetivos fundamentais dos tomadores de decisão que não foram pensados durante o processo de tomada de decisão analisado neste estudo.

- Envolvimento de um número maior de *stakeholders* no processo de tomada de decisão estratégica, com o intuito de contemplar os valores e objetivos de todas as partes interessadas no processo decisório.

- Desenvolvimento do modelo MCDA com base na Teoria de Utilidade Multi-Atributo (MAUT – *Multi-Attribute Value Theory*), capaz de modelar o risco e as incertezas característicos do processo de tomada de decisão estratégica, com caráter de longo prazo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWASTHI, A.; CHAUHAN, S. S. Using AHP and Dempster-Shafer theory for evaluating sustainable transport solutions. *Environmental Modelling & Software*, 26, 787-796, 2011.

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. Applications of the MACBETH approach in the framework of the additive-aggregation model, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6, 107-114, 1997.

BELL, D. E.; RAIFFA, H.; TVERSKY, A. *Decision Making: Descriptive, Normative and Prescriptive Interactions*. New York: Cambridge University Press, Cloth, 623 pages, 1988.

BELTON, V.; STEWART, T. J. *Multiple criteria decision analysis: an intergrated approach*. London: Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 2002.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method: the PROMETHEE method for multiple criteria decision making. *Management Science*, 31:647-656, 1985.

BRISTOW, A. L.; NELLTHORP, J. Transport Project appraisal in the European Union. *Transport Policy*, 7, 51-60, 2000.

BROWNE, D.; RYAN, L. Comparative analysis of evaluation techniques for tranport policies. *Environmental Impact Assessment Review*, 31, 226-233, 2011.

CHARNES, A.; COOPER, W. Goal programming and multiple objective optimization – Part 1, *European Journal of Operational Research*, 1, 39-54, 1977.

CONAB. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em 30 mar. 2014.

COSTA, C. A. B. The Use of Multi-Criteria Decison Analysis to Support the Search for Less Conflicting Policy Options in a Multi-Actor Context: Case Study. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10, 111-125, 2001.

DAMART, S.; ROY, B. The uses of cost-benefit analysis in public transportation decision-making. *Transport Policy*, 16, 200-212, 2009.

DODGSON, J., SPACKMAN, M., PEARMAN, A.D., PHILIPS, L.D. *Multicriteria Analysis: A manual*. Department of the Environment, Transport and the Regions, London, United Kingdom, 2009.

EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60, 306-325, 1994.

FERRARI, P. A method for choosing from among alternative transportation projects. *European Journal of Operational Research*, 150, 194-203, 2003.

GOODWIN, P.; WRIGHT, G. *Decision Analysis for Management Judgement*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1988.

GÜHNEMANN, A.; LAIRD, J. J.; PEARMAN, A. D. Combining cost-benefit and multi-criteria analysis to prioritise a national road infrastructure programme. *Transport Policy*, 23, 15-24, 2012.

HOSTMANN, M.; BERNAUER, T.; MOSLER, H.; REICHERT, P.; TRUFFER, B. Multi-Attribute Value Theory as a Framework for Conflict Resolution in River Rehabilitation. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 13, 91-102, 2005.

ILOS. Panorama "Custos Logísticos na Economia e nas Empresas no Brasil". Rio de Janeiro. 2012.

INIESTA, J. G.; GUTIÉRREZ, J. G. Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework. *Applied Soft Computing*, 9, 512-526, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em 30 mar. 2014.

KEENEY, R.L. Decision Analysis: an overview, *Operations Research*, 30, 803-838, 1982.

KEENEY, R. L. Value Focused Thinking: A Path to Creative Thinking. Los Angeles: University of Southern California, 1992.

KEENEY, R. L. Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *European Journal of Operational Research*, 92, 537-549, 1996.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. A critique of formal analysis in public sector decision making. In Drake, A. W., Keeney, R. L., and Morse, P. M., editors, *Analysis of Public Systems*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1972.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley and Sons, New York, NY, 1976.

KHADEMI, N.; SHEIKHOLESAMI, A. Multicriteria Group Decision-Making Technique for a Low-Class Road Maintenance Program. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 16, No. 3, 2010.

LEE, D. B. Methods for evaluation of transportation projects in the USA. *Transport Policy*, 7, 41-50, 2000.

LÓPEZ, E.; MONZÓN, A. Integration of Sustainability Issues in Strategic Transportation Planning: A Multi-Criteria Model for the Assessment of Transport Infrastructure Plans. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25, 440-451, 2010.

MACHARIS, C., PEKIN E. Assessing policy measures for the stimulation of intermodal transport: a GIS-based policy analysis. *Journal of Transport Geography*, 17, 500-508, 2009.

MACHARIS, C.; WITTE, A.; TURCKIN, L. The Multi-Actor Multi-Criteria Analysis (MAMCA) application in the Flemish long-term decision making process on mobility and logistics. *Transport Policy*, 17, 303-311, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Disponível em www.agricultura.gov.br. Acesso em 30 mar. 2014.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Disponível em <http://www.mdic.gov.br>. Acesso em 30 mar. 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS. Disponível em <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>. Acesso em 30 mar. 2014.

MONIOS, J.; LAMBERT, B. The Heartland Intermodal Corridor: public private partnerships and the transformation of institutional settings. *Journal of Transport Geography* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.03.015>.

MONTIBELLER, G.; FRANCO, L. A. Decision and risk analysis for the evaluation of strategic options. In: O'BRIEN, F. A.; DYSON, R. G. (Eds.). *Supporting strategy: frameworks, methods and models*, p. 251-284. Wiley: Chichester, UK, 2007.

MONTIBELLER, G.; FRANCO, L. A. Raising the bar: strategic multi-criteria decision analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 62, 855-867, 2011.

MORISUGI, H. Evaluation methodologies of transportation projects in Japan. *Transport Policy*, 7, 35-40, 2000.

NEUFVILLE, R.; KEENEY, R. L. Multiattribute Preference Analysis for Transportation Systems Evaluation. *Transpn. Res.*, 7, 63-76, 1973.

PHILLIPS, L. D. Decision analysis for group decision support. *International Symposium on Future Directions in Decision Management*, Toronto, 1987.

PHILLIPS, L. D. Decision analysis in the 1990s, in *Tutorial Papers in Operational Research*, Ed. By Shahini, A. and Stainton, R., Operational Research Society, Birmingham, UK, 1989.

PLANO NACIONAL DE LOGÍSTICA E TRANSPORTE (PNLT). Disponível em <http://www.transportes.gov.br>. Acesso em 30 mar. 2014.

PLANO HIDROVIÁRIO ESTRATÉGICO (PHE). Disponível em <http://www.transportes.gov.br>. Acesso em 30 mar. 2014.

PRIEMUS, H.; ZONNEVELD, W. What are corridor and what are the issues? Introduction to special issue: the governance of corridors. *Journal of Transport Geography*, 11, 167-177, 2003.

QUINET, E. Evaluation methodologies of transportation projects in France. *Transport Policy*, 7, 27-34, 2000.

ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980.

SEN, P.; YANG, J. *Multiple Criteria Decision Analysis in Engineering Design*. Springer. London, UK, 2011.

SAYERS, T. M.; JESSOP, A. T.; HILLS, P. J. Multi-criteria evaluation of transport options – flexible, transparente and user-friendly. *Transport Policy*, 10, 95-105, 2003.

SHANG, J. S.; TJADER, Y.; DING, Y. A Unified Framework for Multicriteria Evaluation of Transportation Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 51, No. 3, 2004.

SINHA, K. C.; LABI, S. *Transportation Decision Making: principles of project evaluation and programming*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, 2007.

TURCK SIN, L.; BERNARDINI, A.; MACHARIS, C. A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, 954-965, 2011.

V.I.S.A. Manual. Disponível em www.visadecisions.com. Acesso em 16 out. 2011.

WALKER, W. E. Policy Analysis: A Systematic Approach to Supporting Policymaking in the Public Sector. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 9, 11-27, 2000.

WIERZBICKI, A. P. The use of reference objectives in multiobjective optimization. In Fandel, G. e Gal, T., editors, *Multiple Criteria Decision Making Theory and Practice*, pages 468-486. Springer, Berlin, 1980.

ZIARA, M.; NIGIM, K.; ENSHASSI, A.; AYYUB, B. M. Strategic Implementation of Infrastructure Priority Projects: Case Study in Palestine. *Journal of Infrastructure Systems*. Vol. 8, No. 1, 2002.