

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE TRAÇADOS PARA PAVIMENTAÇÃO DE ESTRADAS: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DO VALE DO ITAJAÍ EM SANTA CATARINA

Christiane Wenck Nogueira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Catarina

Mirian Buss Gonçalves

Departamento de Matemática
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

O propósito deste estudo é apresentar os resultados de uma aplicação do método AHP na análise de alternativas de traçados para pavimentação de estradas. O processo contou com as contribuições de representantes de vários segmentos dentro do DEINFRA-SC (Departamento Estadual de Infra-Estrutura) tais como: Meio Ambiente, Investimentos, Desenvolvimento Regional, Técnico-Operacional, etc. O projeto teve como principal objetivo a identificação dos critérios quantitativos e qualitativos que definem as prioridades para o traçado de pavimentação de uma estrada. Neste sentido, as alternativas de traçado de um trecho específico em Santa Catarina são analisadas. Os objetivos pretendidos vão além da definição de prioridades por meio da aplicação da metodologia. A relevância do trabalho encontra-se em sua contribuição para implementação conjunta e metodológica na definição do melhor traçado de pavimentação de uma estrada, de maneira que este traçado represente melhor aplicação dos recursos públicos com maior retorno à sociedade.

ABSTRACT

The purpose of this study is to present the results of an application of the AHP method, to the analysis of alternatives of paved road routing. Representatives of various areas in DEINFRA – SC (Departamento Estadual de Infra-Estrutura de Santa Catarina), such as, Environmental, Investments, Regional Development and Operations contributed in the process. The project had the main objective of identifying qualitative and quantitative criteria for ordering and prioritizing paved road routing. Several alternative routes for a specific sample road in Santa Catarina were analyzed. The objectives of this paper go beyond the definition of priorities through the application of the methodology. The main significance of the study is its contributions for the development of a united methodology in the definition of the best route for paved roads, ensuring that public resources are applied in the best way, therefore providing higher returns for the community.

1. INTRODUÇÃO

A pavimentação de uma estrada pode contribuir, significativamente, no desenvolvimento do sistema de transportes de uma determinada região e, conseqüentemente, no desenvolvimento econômico e social da mesma. A partir da análise de pavimentação de uma estrada tem-se, normalmente, várias alternativas de traçado a serem verificadas. Esta análise envolve múltiplos critérios, muitos dos quais difíceis de serem quantificados, com uma série de propósitos, na maioria das vezes conflitantes. O problema de priorização de traçado de pavimentação de uma estrada envolve aspectos técnicos, ambientais, sociais, de segurança, econômico-financeiros, etc. Esse estudo apresenta o desenvolvimento de uma metodologia multicritério para avaliação comparativa de alternativas de traçado de pavimentação. Através de um estudo de alternativas de traçado em um caso específico de estrada a ser pavimentada, buscou-se o estabelecimento de um conjunto de critérios, que serviram para montagem da árvore hierárquica de análise e posterior identificação da melhor alternativa de traçado para pavimentação.

As metodologias multicritérios, de maneira geral, vem sendo utilizadas nos mais diversos problemas de tomada de decisão. Novaes(1989) destaca que a crescente complexidade dos

fatores que influem nas alternativas tem induzido os pesquisadores a utilizarem os métodos multicriteriais. O mesmo autor utilizou uma metodologia multicriterial para a localização de Centros de Distribuição. De maneira específica, o método AHP também tem sido largamente utilizado para definir prioridades nos processos decisórios. Vários estudos tiveram o AHP como sustentação metodológica, sendo que, entre eles podem ser citados o trabalho de Ruiz et al. (1997), que utilizaram o AHP na análise da aplicação de bilhetagem eletrônica e seus benefícios aos sistemas de ônibus urbanos de cidades brasileiras e o trabalho de Figueiredo e Gartner (1999), que utilizaram o AHP para priorizar ações relacionadas com a gestão da qualidade e mobilidade em transporte urbano. Na área de logística Granemann e Gartner (2001) aplicaram o método AHP para escolha modal/submodal de transporte como forma de hierarquizar alternativas de seleção de um transportador/operador logístico com dirigentes e técnicos de diversas empresas brasileiras. Enfim, o AHP tem demonstrado ser uma ferramenta eficaz na priorização de ações dos processos decisórios nas mais diversas áreas.

A utilização do AHP neste trabalho foi motivada pela necessidade de considerar uma multiplicidade de critérios e objetivos, inerentes ao processo de decisão, bem como pela simplicidade de aplicação do método através do software Expert Choice, que implementa o AHP. Além disso, o AHP possibilita a interação entre os especialistas envolvidos no estudo e, em especial, o método permite realizar uma análise de consistência sobre os dados obtidos. Esta avaliação de consistência é de fundamental importância na verificação dos julgamentos de especialistas em questões de ordem qualitativa.

2. O MÉTODO AHP

O AHP é um método de análise de decisão e planejamento de múltiplos critérios desenvolvido pelo matemático Thomas L. Saaty, na década de 70.

O AHP possibilita a avaliação de um grupo de elementos através de comparações aos pares. Partindo de uma árvore hierárquica, que contempla vários critérios, os tomadores de decisão atribuem a cada grupo de elementos um determinado peso. O resultado final é explicitado na forma de um vetor de pesos, onde, para cada uma das alternativas, é atribuído um peso relativamente aos critérios considerados no problema de decisão em questão.

Quando não existe diferença entre dois elementos que estão sendo comparados, atribui-se o valor 1. Quando um elemento tem importância absoluta sobre o outro é atribuído o valor 9. Se a relação for oposta atribui-se o valor 1/9. A Tabela 1 indica a escala de julgamentos do AHP.

Tabela 1: Escala de Julgamentos do AHP

Escala Numérica	Descrição
1	Elementos iguais
3 ou 1/3	Fraca importância de um elemento sobre o outro
5 ou 1/5	Importância forte de um elemento sobre o outro
7 ou 1/7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro
9 ou 1/9	Importância absoluta de um elemento sobre o outro
2(ou 1/2), 4(ou 1/4), 6(ou 1/6), 8(ou 1/8)	Valores intermediários

De acordo com Saaty (1991), existe uma razão de consistência de julgamentos que é 0,10. Pode-se interpretar como correspondente a uma matriz de comparações onde 10% das avaliações foram realizadas sem nenhum critério. No caso de não se obter a razão de consistência esperada, deve-se melhorar a qualidade dos julgamentos. Esta análise de

consistência é de fundamental importância nos processos de tomada de decisão, principalmente na verificação dos julgamentos de ordem qualitativa.

Para medir a prioridade dos diversos níveis de elementos, deve-se multiplicar os pesos dos elementos de um nível com todos os elementos do nível seguinte. Isto é feito pelo Princípio da Composição da Hierarquia.

3. ESTUDO DE CASO EM SANTA CATARINA

O trabalho teve origem num problema relevante, que ocorre sistematicamente nos órgãos de planejamento de transportes. Trata-se da necessidade de definir o melhor traçado de determinada estrada a ser pavimentada, de maneira que este represente melhor aplicação dos recursos públicos com maior retorno à sociedade. Embora sejam realizados estudos relacionados ao meio ambiente, segurança, desenvolvimento regional, entre outros, existe uma grande dificuldade de implementação desses critérios, de ordem qualitativa, na prática. Normalmente, os grandes critérios decisores são de caráter quantitativo. Assim, optou-se por fazer, através de um estudo de caso, uma análise mais ampla que originasse uma metodologia geral incorporando aspectos quantitativos e qualitativos, adaptável às diversas situações particulares de definição de traçado de uma estrada.

Neste projeto participaram alguns especialistas do DEINFRA-SC, dentre os quais representantes de segmentos como: Estudos e Projetos, Meio Ambiente, Investimentos, Desenvolvimento regional, etc. O primeiro passo foi apresentar-lhes o método AHP, dando-lhes uma visão geral sobre a metodologia. Em seguida, partiu-se na direção da estruturação da árvore hierárquica.

3.1. Árvore Hierárquica

A estruturação da árvore hierárquica foi feita de maneira interativa, com debates e constantes ajustes entre os participantes do processo. A partir do objetivo principal deste estudo, ou seja, a priorização de traçado para pavimentação de estrada, foram definidos quatro critérios principais: Economia; Desenvolvimento Regional; Trânsito; e Meio Ambiente.

Estes critérios foram subdivididos em critérios de 2º e 3º ordem. A estrutura hierárquica assim definida apresenta, então, a composição dos critérios do modelo de decisão aqui proposto.

Cabe ressaltar que, esta fase de estruturação da árvore hierárquica exigiu um extenso trabalho para identificação dos critérios, com diversas reuniões de debates entre os participantes do processo. Assim, os critérios escolhidos são fruto de extensa discussão, e procuram abranger desde aspectos econômicos, aspectos técnicos, estratégicos e de cunho social, fornecendo uma visão ampla das várias dimensões do problema.

A estrutura completa dos critérios de decisão é apresentada na Figura 1, ilustrando a composição da hierarquia dos critérios de avaliação e seus respectivos pesos, que são distribuídos dentre seus critérios componentes de forma a somar sempre 1. Dessa forma, os critérios efetivamente mensurados correspondem aos critérios que são subdivididos, ou “folhas” da árvore de critério, sendo sua importância propagada para os níveis hierarquicamente superiores segundo uma regra multiplicativa. Exemplificando, a influência do subcritério “Acessibilidade” é 0,08 ($0,491 \times 0,165$), o que corresponde ao próprio peso

do subcritério, multiplicado pelo peso do critério hierarquicamente superior. Essa lógica é repetida até que se atinja os critérios principais.

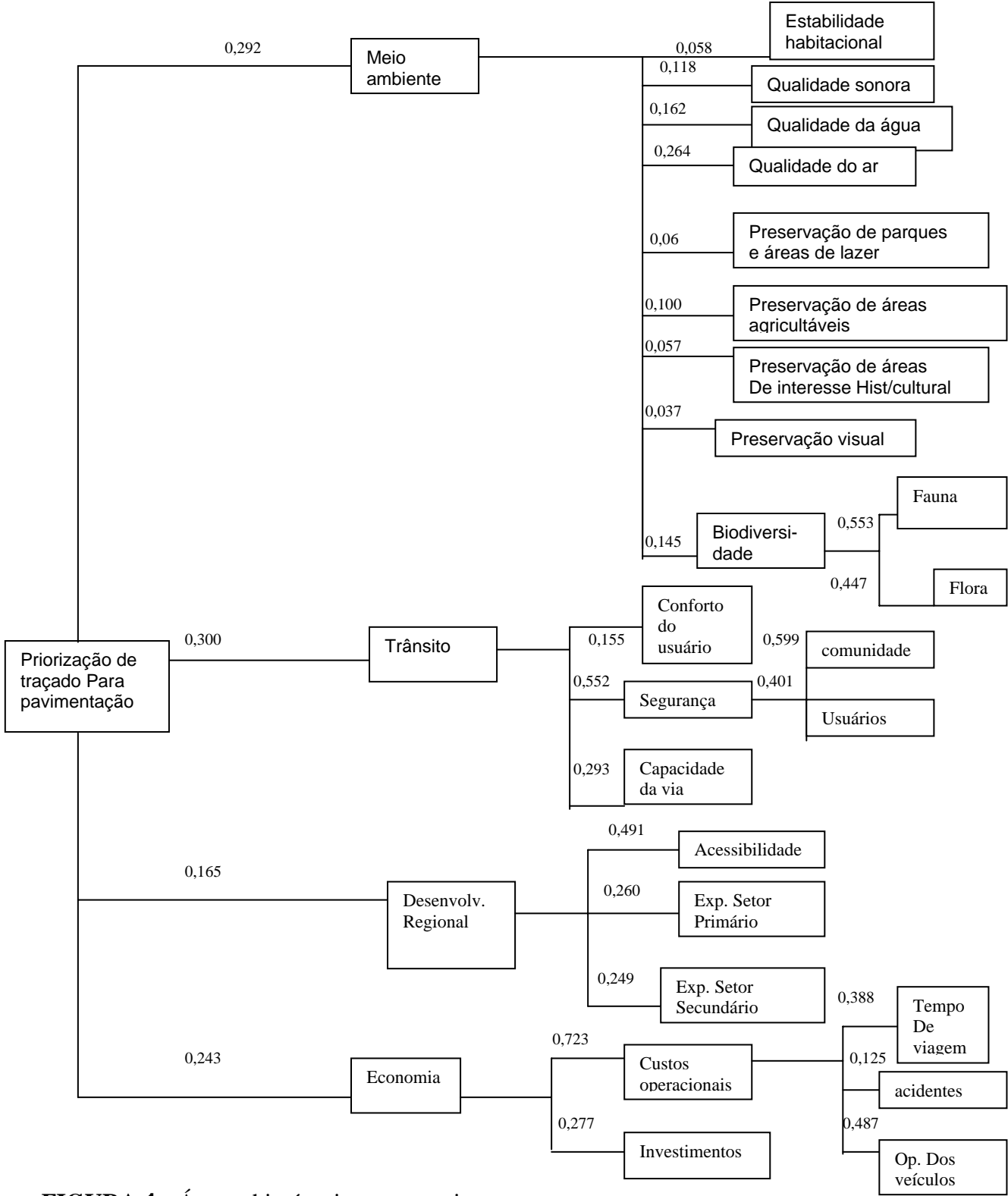


FIGURA 1: Árvore hierárquica e respectivos pesos.

É importante ressaltar que, a árvore hierárquica apresentada foi desenvolvida para contextos mais amplos e gerais, levando-se em consideração uma situação genérica de definição de traçado de uma estrada. A construção desta árvore hierárquica é uma das principais contribuições do trabalho, sendo que os pesos dos critérios podem ser modificados de acordo com os decisores e suas prioridades.

3.2. Aplicação do modelo na região do Vale do Itajaí

A partir da árvore hierárquica desenvolvida de maneira geral, desenvolveu-se uma aplicação para um caso específico de traçado de pavimentação de estrada.

A área em estudo tem características diversificadas, possui propriedades urbanas, pequenas indústrias, e principalmente áreas voltadas para atividades agrícolas e agropecuárias em crescente desenvolvimento.

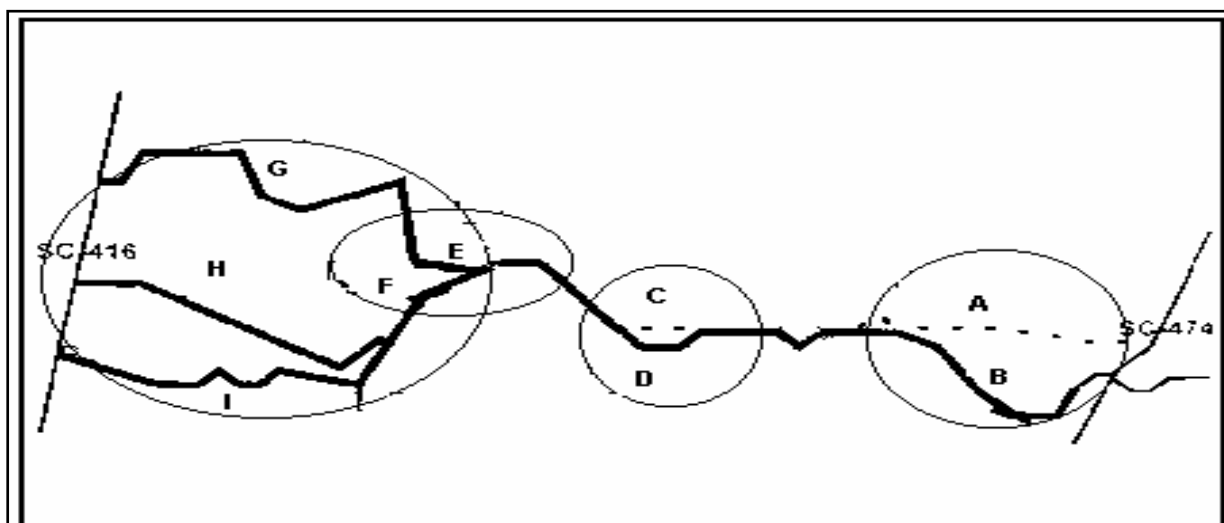
Assim, o sistema de transporte rodoviário deste trecho demonstra importância relevante para a região, permitindo e facilitando a distribuição e o escoamento de toda a produção agrícola e o desenvolvimento industrial.

Neste estudo, considerou-se que o trecho está dividido em partes a serem analisadas separadamente. Neste caso é possível fazer esta análise pois, para o trecho como um todo, não existe nenhuma restrição. No caso de existi-la seria necessário trabalhar com as combinações das alternativas.

Esta etapa de análise das alternativas tem como objetivo principal selecionar o melhor corredor a partir da análise de: A e B; C e D; E e F; G, H e I. Neste sentido, todas as alternativas são confrontadas em relação aos critérios estabelecidos na árvore hierárquica desenvolvida neste estudo. Assim, ao final, o melhor traçado é composto pelas melhores alternativas em cada parte.

A figura 2 mostra, esquematicamente, o trecho dividido em 4 partes a serem analisadas separadamente.

Figura 2: Esquema de análise das Alternativas



Para que as alternativas fossem confrontadas foi necessário identificar os estados que constituiriam os diferentes níveis de impacto dos critérios em cada uma das alternativas a serem verificadas. Na tabela 2 é exemplificada a identificação dos estados de alguns critérios.

Tabela 2: Identificação dos Estados de Alguns Critérios

Critérios constituintes do critério M.Ambiente	Tipo de descritor	Estados
Estabilidade Habitacional	Quantitativo	Nº de desapropriações de habitações a serem realizadas para o traçado
Qualidade Sonora	Qualitativo	MA - Nível muito abaixo do limite de 70db em áreas sensíveis A- Nível perto do limite de 70db em áreas sensíveis M-Nível igual ao limite de 70db em áreas sensíveis B-Nível maior que o limite de 70db em áreas sensíveis
Qualidade da Água	Quantitativo	Nº de nascentes atingidas pelo traçado
Qualidade do Ar	Qualitativo	A- Distância às áreas sensíveis > 50m B- Distância às áreas sensíveis < 50m
Preserv. de Parques E áreas de Lazer	Qualitativo	Não Preserva(N)- Traçado interfere área Preserva(P)- Traçado não interfere área
Preserv. de áreas agricultáveis	Quantitativo	Distância em metros do trecho a atingir área agricultável

Após a identificação dos estados de todos os critérios estabelecidos na árvore hierárquica estes foram normalizados, e invertidos, caso necessário, de forma que, para qualquer critério, valores maiores sempre correspondam a uma avaliação mais positiva. Na etapa seguinte, foi feito um extenso levantamento para classificar as alternativas em relação a cada um dos critérios estabelecidos. Essa fase foi sem dúvida a mais trabalhosa, exigindo coleta de dados junto ao DEINFRA-SC e várias visitas a campo. São apresentadas na sequência as classificações das alternativas em relação aos critérios exibidos na tabela 2.

Tabela 3: Classificação das Alternativas Segundo Alguns Critérios

Critério	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Estabilidade Habitacional	2	1	0	1	0	0	1	1	2
Qualidade Sonora	MA	A	A	A	MA	M	M	M	MA
Qualidade da Água	1	0	0	1	1	0	4	4	2
Qualidade do Ar	A	B	B	A	A	A	B	B	B
Preserv. de Parques E áreas de Lazer	P	P	N	P	P	P	P	N	P
Preserv. de áreas agricultáveis	0	70	0	280	0	0	1070	670	530

O levantamento ilustrado anteriormente foi realizado para todas as alternativas em relação a todos os critérios estabelecidos. Desta forma, a árvore de critérios pode ser aplicada ao banco de dados, permitindo a seleção do melhor traçado para pavimentação, segundo uma visão multicriterial. As notas obtidas por cada uma das alternativas em relação a todos os critérios são apresentadas, a título de ilustração, na tabela 4.

Tabela 4: Pontuação das alternativas

A	B	C	D	E	F	G	H	I
0.551	0.449	0.462	0.538	0.455	0.545	0.277	0.415	0.308

3.3. Análise dos Resultados

Partindo-se das análises individuais das alternativas no trecho verificou-se que, a melhor opção do traçado como um todo é composta por: **A, D, F e H**.

Após ter sido realizada a primeira análise, supondo que a pavimentação é viável, tem-se como resultado final o melhor traçado de pavimentação. Em uma segunda etapa foi feita uma análise de viabilidade, ou seja, comparação entre a Alternativa 0 (não pavimentar) e a alternativa de pavimentar pelo melhor traçado (**A,D,F,e H**). Da mesma forma, essas duas alternativas foram confrontadas em relação aos critérios da árvore hierárquica. Como resultado desta segunda etapa tem-se que, sob uma análise multicriterial, a melhor opção é a de realização da obra, com uma priorização de 0,562 contra 0,438 de não realização. Este resultado indicaria ao DEINFRA-SC a viabilidade desta obra.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do método AHP levou em conta não apenas critérios técnicos e econômicos, mas procurou abranger também aspectos de desenvolvimento regional, segurança e aspectos sociais, tendo como objetivo principal o desenvolvimento sustentado. Esta análise só foi possível de ser realizada devido a facilidade de incorporação de critérios qualitativos que o método proporciona, uma das suas características mais importantes.

Um ponto de grande relevância do trabalho é a árvore de decisão obtida, sendo que seus respectivos pesos podem ser modificados trabalhando-se com mais decisores, como por exemplo: a comunidade envolvida, representantes ligados ao meio ambiente, empresários da região, Prefeituras,etc.

Em relação ao exemplo desenvolvido no estudo de caso, ele pode servir de base para outros casos de priorização de traçado de pavimentação, permitindo ilustrar o tipo de levantamento a ser realizado e os critérios que podem ser utilizados.

Outro aspecto de grande importância foi a troca de informações entre os especialistas que participaram do processo, permitindo a homogeneidade das votações. Esta constatação pode ser obtida por meio dos indicadores de consistência que o AHP permite calcular. Desta forma, pode ser apontada a necessidade ou não de uma maior discussão do assunto.

Desta forma, o trabalho apresentou o desenvolvimento de uma metodologia multicriterial para a seleção de um melhor traçado para a futura pavimentação, levando em conta não apenas questões técnicas de engenharia, tradicionalmente utilizadas na definição de diretrizes rodoviárias, mas reuniu quesitos cada vez mais importantes para a sociedade moderna.

Os resultados obtidos demonstram a operacionalidade do método e sua contribuição para implementação conjunta e consistente de critérios de ordem qualitativa e quantitativa no problema de decisão em questão, garantindo uma tomada de decisão mais eficaz perante o meio técnico e a sociedade, de encontro com políticas mais amplas para o setor de transportes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa, M.B.B; Lindau, L.A; Sousa, F.B.B e Fogliatto, F. (2001). Estudo comparativo entre empresas de ônibus utilizando AHP: o caso das empresas consorciadas de Porto Alegre. *Panorama Nacional de Pesquisa em transportes* 2001, p. 135 - 142.
- Figueiredo A.; Gartner (1999). Planejamento de Ações de Gestão pela Qualidade e Produtividade em Transporte Urbano. In: Transporte em Transformação II. São Paulo, Makron Books.
- Granemann,S.R.; Gartner, I.R.(2201). Modelo Multicriterial para Escolha Modal/sub-modal de Transporte. *Panorama Nacional de Pesquisa em transportes* 2000.
- Novaes, A. G. *Sistemas logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos*. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- Palhares, G. L. e Martins, J.A.(2000). Avaliação de alternativas de transporte no corredor Rio de Janeiro – Niterói – São Gonçalo – Itaboraí : o método de análise hierárquica multicriterial, 2000. In : Setti, J.R.A. e Cybis, H.B.B. *Panorama Nacional de Pesquisa em transportes* 2000, p. 411 – 422.
- Pinheiro,P.C.; Kagan H.; Xavier M. e Znamensky A. (2002). Aplicação do Método de Análise Hierárquica ao problema de priorização de investimentos em estradas vicinais no estado de São Paulo. *Panorama Nacional de Pesquisa em transportes* 2002, p. 83-90.
- Rabbani, S. J; Rabbani, S. R. (1996) *Decisions in transportation with the analytic hierarchy process*. Paraíba: Civil Engineering Department.
- Ruiz,M.D.V., Ratton, H.R. e Bodmer, M. (1997) Finding The appropriate automatic ticketing system for public transport. Draft version. Programa de Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Saaty, T. L. (1980) Resource allocation : benefits and costs in crossing a river. In: Saaty, T.L. (ed) *The Analytic Hierarchy Process*. McGrawHill, USA.
- Saaty, T. L. (1977) A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal Of Mathematical Psychology*, n.15, p. 234-281.
- Saaty, T. L. (1991)*Método de Análise Hierárquica*. São Paulo, MacGraw-Hill.