



UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Guaratinguetá

DANIEL VILANOVA SHOJI

**APLICAÇÃO DO AHP EM UM CASO DE ESCOLHA DOS MODAIS DE
TRANSPORTE PARA A MOVIMENTAÇÃO DAS PARTES DE UM
AEROGERADOR**

Guaratinguetá
2013

DANIEL VILANOVA SHOJI

APLICAÇÃO DO AHP EM UM CASO DE ESCOLHA DOS MODAIS DE
TRANSPORTE PARA A MOVIMENTAÇÃO DAS PARTES DE UM
AEROGERADOR

Trabalho de Graduação
apresentado ao Conselho de Curso
de Graduação em Engenharia de
Produção Mecânica da Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do diploma
de Graduação em Engenharia de
Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Fernando Augusto Silva Marins

Guaratinguetá
2013

S559a Shoji, Daniel Vilanova
Aplicação do AHP em um caso de escolha dos modais de transporte para a movimentação das partes de um aerogerador / Daniel Vilanova Shoji – Guaratinguetá : [s.n], 2013.
56 f : il.
Bibliografia: f. 52-54

Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

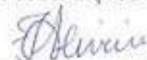
1. Processo decisório 2. Energia eólica 3. Transporte de materiais
I. Título

CDU 65.012.4

Daniel Vilanova Shoji

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA



FRANCISCO ALEXANDRE DE OLIVEIRA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
FEG/UNESP (Orientador)



MARCO AURÉLIO REIS DOS SANTOS
FEG/UNESP



JOSÉ ROBERTO DALE LUCHE
FEG/UNESP

Dezembro de 2013

Dedico este trabalho à minha família e à minha noiva, que me incentivaram e apoiaram durante esses anos de faculdade. Sem eles, não teria chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

a meus pais, *Daniel Braga Shoji* e *Marfiza Maria Vilanova Rodrigues Shoji*, que me educaram e me guiaram na escolha dos caminhos certos,

à minha irmã, *Aline Vilanova Shoji*, pelo companheirismo e incentivo,

à minha noiva, *Jessyka Assunção*, por estar ao meu lado em todos os momentos,

ao professor *Fernando Augusto Silva Marins*, pela ajuda, incentivo e orientação durante a elaboração deste trabalho,

aos professores *Marco Aurélio Reis dos Santos* e *José Roberto Dale Luche*, por fazerem parte da banca de aprovação do trabalho,

aos companheiros da República Sinagoga, pela companhia durante os anos de faculdade.

SHOJI, D. V. Aplicação do AHP em um caso de escolha dos modais de transporte para a movimentação das partes de um aerogerador. 2013. 54 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

A energia eólica é um tipo de energia ainda pouco explorada no Brasil e, devido à falta de experiência em projetos deste porte, ainda são encontrados problemas durante o planejamento e execução dos projetos de construção de parques eólicos. Um destes problemas está relacionado com a logística de transporte das partes do aerogerador, uma vez que estas partes são difíceis de transportar, seja por causa de seu comprimento, peso ou formato. Além disso, outro fator agravante é a falta de opções no que se refere aos modais de transporte disponíveis para realizar o trajeto dos locais de manufatura até o site do projeto. Para auxiliar na tomada de decisão sobre qual é a configuração de transporte ideal, visando a diminuir a dependência dos conhecimentos do coordenador de logística, optou-se por usar o método AHP para comparar alguns critérios que exercem influência na escolha do modal. Os critérios, determinados em conjunto com os membros do departamento de logística da empresa, são: custo de transporte, tempo de transporte e possibilidade de causar danos ao material transportado. Os resultados apresentados pelo modelo permitiram criar uma metodologia, utilizando embasamento teórico, que padronizasse os processos envolvidos na escolha dos modais de transporte.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Eólica. Transporte. Método AHP.

SHOJI, D. V. Application of AHP in a case of transportation modal's selection to the movimentation of the parts of a wind turbine. 2013. 54 f. Graduate Work (Graduation in Industrial Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

Wind power is a type of energy that is still not too explored in Brazil and, because of the lack of experience in projects of this size, there are still some problems during the stages of planning and execution of wind farms projects. One of these problems is related with the parts' transportation logistics, since these parts are difficult to transport, because of their length, weight or shape. Furthermore, another aggravating factor is the lack of options regarding to the transportation modals that are available to do the route between the manufacture place and the project site. To help in the decision-making process about the ideal transportation configuration, aiming to reduce the dependence of the logistics' coordinator, it was chosen to use the AHP method to compare some criteria that have influence in the modal's choice process. The criteria, determined by the members of the company's logistics' department, are: transportation costs, transportation time and the risk of causing damages to the cargo. The results shown by this model, using theoretical background, that standardize the processes related to the modal's choice.

KEYWORDS: Wind Power. Transportation. AHP Method.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Custos totais de uma rede de distribuição.....	18
FIGURA 2 - Matriz de transporte brasileira em 2010.....	18
FIGURA 3 – Baixos índices de produtividade.....	20
FIGURA 4 – Frota envelhecida.....	21
FIGURA 5 – Mapa Rodoviário do Brasil.....	22
FIGURA 6 – Mapa dos portos brasileiros.....	23
FIGURA 7 – Otimização com múltiplos objetivos.....	25
FIGURA 8 - Hierarquia de critérios para a compra de um carro.....	26
FIGURA 9 – Aerogerador.....	32
FIGURA 10 – Hub.....	33
FIGURA 11 – Pá eólica.....	34
FIGURA 12 - Tela inicial do software Web-Hipre.....	40
FIGURA 13 - Matriz de comparação paritária: modais de transporte.....	42
FIGURA 14 - Matriz de comparação paritária: critério - custo.....	43
FIGURA 15 - Matriz de comparação paritária: critério - tempo.....	44
FIGURA 16 - Matriz de comparação paritária: critério - danos.....	44
FIGURA 17 - Matriz de comparação paritária ideal: modais de transporte.....	45
FIGURA 18 - Análise de sensibilidade: situação ideal – critério custo.....	46
FIGURA 19 - Análise de sensibilidade: comparação ideal x real – critério custo.....	46
FIGURA 20 - Análise de sensibilidade: situação ideal – critério tempo.....	47
FIGURA 21: Análise de sensibilidade: comparação ideal x real – critério tempo.....	48
FIGURA 22: Análise de sensibilidade: situação ideal – critério danos.....	48
FIGURA 23: Análise de sensibilidade: comparação ideal x real – critério danos.....	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Escala de julgamento de importância do método AHP.....	27
---	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Comparativo dos seis principais modos de transporte em redes de suprimento.....	19
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

Proinfa - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

GWEC - *Global Wind Energy Council*

CSCMP - *Council of Supply Chain Management Professionals*

ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain

CNT - Confederação Nacional do Transporte

SEST - Serviço Social do Transporte

SENAT - Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Contextualização do problema	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 Justificativa.....	14
1.4 Método e etapas de pesquisa	15
1.5 Estrutura do trabalho	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Logística.....	17
2.2 Transporte no Brasil	17
2.2.1 Transporte Rodoviário.....	20
2.2.2 Cabotagem.....	22
2.3 Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios (MCDM).....	24
2.3.1 Método AHP.....	25
3. CONTEXTO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	30
3.1 Descrição da empresa.....	30
3.2 Apresentação do Problema.....	31
3.3 Solução Proposta.....	35
4. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA O PROBLEMA APRESENTADO	40
5. CONCLUSÕES.....	50
5.1 Verificação dos objetivos	50
5.2 Recomendações para futuros trabalhos	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

Em uma época onde a preocupação com o meio ambiente é cada vez maior e enfatiza-se a importância de se viver em uma sociedade sustentável, faz-se necessário tomar algumas medidas que tentem, pelo menos, amenizar a emissão de poluentes e melhorar a qualidade de vida da população. Observa-se também que as concentrações de gases de efeito estufa, que causam as mudanças climáticas, e a melhoria da eficiência energética são grandes desafios enfrentados pela comunidade.

Uma das alternativas que vem se desenvolvendo com certa força é a geração de energia através de recursos energéticos renováveis (sol, vento, chuva, marés...), ao invés da utilização da chamada energia não-renovável, gerada por meio de combustíveis fósseis e nucleares, por exemplo.

De acordo com o *Renewables 2012 Global Status Report*, 16,7% de toda a energia consumida no mundo, em 2010, foi gerada por energias renováveis e a previsão para 2011 era de que este número chegasse a aproximadamente 20%, ou seja, a utilização da chamada energia limpa tem aumentado e a tendência é que este aumento continue nos próximos anos.

Mais especificamente com relação ao Brasil, observa-se que o país também tem investido em energias renováveis. De acordo com dados do mesmo relatório, o Brasil é o terceiro país em termos de capacidade de energias renováveis, sendo o segundo colocado na capacidade de produção de energia de biomassa e hidrelétrica. Por outro lado, o Governo vem tentando incentivar a diversificação da matriz energética brasileira, já que boa parte da energia é gerada por meio de usinas hidrelétricas. Para isso, criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), que foi instituído com o objetivo de aumentar a participação de energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Este programa esteve em vigor até o fim de 2011.

Dentre os diferentes tipos de energias renováveis que vêm sendo instaladas no Brasil, pode-se citar com destaque a energia eólica, que é a energia gerada pela força dos ventos. Segundo o *Global Wind Report 2011*, relatório feito pela *Global Wind Energy Council* (GWEC), organismo internacional que reúne entidades e empresas relacionadas à produção de

energia eólica, o Brasil é um dos países mais promissores do mundo em termos de produção deste tipo de energia.

O mercado de energia eólica vem crescendo bastante no Brasil e, devido a este crescimento, o número de empresas deste ramo também tem aumentado no país. Para que uma empresa seja competitiva neste mercado, é necessário reduzir seus custos, seja ele de fabricação, logística ou matéria-prima e ao mesmo tempo fornecer um serviço de qualidade.

E em busca de tentar diminuir os custos de transporte, ou pelo menos de criar um método que dê suporte teórico à escolha da configuração ideal é que este trabalho foi feito. A motivação pessoal para tanto surgiu após a realização de estágio de março a setembro de 2012 na área de energia eólica e, durante este tempo, foi possível perceber como a logística deste tipo de empresa desempenha um papel fundamental e ao mesmo tempo é bastante complexa, uma vez que envolve o transporte de equipamentos robustos, seja devido ao peso, forma ou tamanho destes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é propor um procedimento para auxiliar na decisão de escolha dos modais a serem utilizados no transporte das pás e hubs eólicos, desde o local de fabricação até o site do projeto mesclando transporte rodoviário e cabotagem, a fim de minimizar custos e tempo.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, podem-se citar:

- Pretende-se fornecer informações mais precisas sobre a influência de determinados fatores na escolha do modal de transporte.

- Realizar o mapeamento do processo atual de uma empresa do setor de energia eólica.

- Efetuar o levantamento dos pontos positivos e negativos nas atividades desempenhadas pelo setor
- Diminuir a dependência da configuração de transporte aos conhecimentos do coordenador de logística para uma empresa do setor de energia eólica.
- Propor uma padronização do método utilizado visando à criação de um procedimento padrão para a realização desta tarefa, para uma empresa do setor de energia eólica.

1.3 Justificativa

Do ponto de vista prático, observa-se que há uma necessidade de documentar todos os procedimentos da área de logística. Isso acontece porque o departamento de energia eólica da empresa estudada é novo no Brasil e, por conseguinte, ainda são utilizadas as normas e processos de países como Estados Unidos e Dinamarca, porém, obviamente as condições variam de país para país, ou seja, estes documentos não atendem completamente as necessidades encontradas no Brasil.

Uma das principais atividades que necessitam de padronização é a de escolha dos modais de transporte. O primeiro projeto da empresa no país está localizado no Ceará, porém algumas partes do aerogerador são fabricadas no estado de São Paulo, mais precisamente em Itu e Guarulhos, que estão a uma distância aproximada de 3000 km do *site* do projeto, ou seja, a complexidade envolvida é grande e a dificuldade de transporte também é elevada. Por isso, a decisão do modal de transporte deve ser feita de modo a minimizar custos e tempo de transporte, além de causar o mínimo de danos possível no material transportado e, para que isto ocorra, é importante haver algum tipo de embasamento teórico que dê suporte à decisão da gerência.

Atualmente, o fator decisivo na escolha dos modos de transporte é a experiência do coordenador de logística, o que, apesar de ter funcionado até agora, pode representar um grande problema em um futuro próximo, pois caso este profissional saia da empresa ou seja deslocado para outra área, haverá a necessidade de contratar alguém tão experiente quanto o atual coordenador para ocupar este cargo, o que pode não ser tão fácil assim, visto que o mercado carece de profissionais com este tipo de conhecimento. Por outro lado, se já existirem métodos e procedimentos que orientem este processo, a transição poderá ser feita de uma maneira mais tranqüila.

Outra vantagem está relacionada com a documentação de todo o processo e da maior facilidade de justificar a escolha feita, uma vez que é necessário haver uma prestação de contas à diretoria da empresa e, certamente, se a decisão for baseada em informações concretas suportadas por alguma abordagem científica, a credibilidade da escolha será maior.

1.4 Método e etapas de pesquisa

Neste trabalho, foi realizado um estudo de caso, verificando a situação atual da empresa, mostrando como é feito o transporte das partes dos aerogeradores fabricados pela companhia, desde os locais de manufatura até o *site* do projeto. A partir da análise inicial, foi criado um modelo que atendesse as necessidades identificadas, auxiliando na tomada de decisão.

Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica a fim de observar quais são os pontos que mais afetam o transporte de cargas e quais são as condições atuais dos modais de transporte no Brasil. Também foram pesquisados alguns métodos de tomada de decisão multicritério, como uma forma de analisar diferentes variáveis simultaneamente.

A seguir, foi feito um *brainstorming* com o coordenador e o analista de logística da empresa, para discutir quais os fatores que deveriam ser levados em conta na hora de fazer a análise multicritério. Neste momento, o coordenador deu um panorama geral sobre como a escolha dos modais de transporte era feita até então, aproveitando para sugerir possíveis pontos que poderiam ser abordados neste trabalho.

Em um terceiro momento, filtrou-se dentre os pontos mencionados, aqueles que eram de maior importância de acordo com o tema proposto e, a partir daí, foram feitas as análises pertinentes, levando em conta o peso de cada fator no transporte. Neste período, decidiu-se pela utilização do método AHP (SAATY, 1977) e do software Web-Hipre (<http://hipre.aalto.fi>) para a simulação dos cenários.

O próximo passo seria coletar informações relativas ao tempo e custo de transporte, porém, por motivos que serão explicados mais adiante, não foi possível obter informações reais do tempo e custo envolvidos nas operações de transporte para o projeto analisado.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado em mais quatro capítulos. Após este Capítulo introdutório, é apresentado no segundo capítulo todo o conteúdo teórico utilizado na realização do trabalho, abordando temas como logística, transporte rodoviário, cabotagem, método AHP e outros temas que contribuíram para a execução desta tese.

O terceiro capítulo faz uma descrição breve da empresa estudada neste trabalho e do contexto no qual ela está inserida, além de uma explicação mais detalhada do problema e as condições atuais da escolha dos modais de transporte utilizados.

No quarto capítulo, é mostrada na prática a aplicação do método AHP na situação descrita, analisando passo-a-passo todas as etapas deste método, os resultados obtidos e a análise destes.

O último capítulo traz as conclusões do trabalho, mostrando os resultados obtidos por meio da utilização do método AHP, analisando se o objetivo do trabalho foi alcançado. Neste mesmo capítulo, ainda foram feitas recomendações para dar sequência ao estudo deste tema, havendo sugestões de novos aspectos que podem ser aproveitados ou novas técnicas para análise do tema.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Logística

De acordo com o *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)*, a logística é a parte do gerenciamento da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla de forma eficiente e efetiva o fluxo (para frente e para trás) e armazenamento de bens, serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo visando a atender os requisitos dos consumidores.

Os custos logísticos, segundo informações do Instituto de Logística e *Supply Chain* (ILOS), corresponderam a 10,6% do PIB brasileiro em 2010. O total gasto com as operações logísticas foi de aproximadamente R\$ 391 bilhões, sendo que R\$ 211,1 bilhões foram gastos em transporte de carga (doméstico), R\$ 89,9 bilhões em estoques e R\$ 86 bilhões em armazenamento. Para efeito de comparação, os Estados Unidos gastam cerca de 7,7% do seu PIB em logística. Portanto, faz-se necessário que este número seja reduzido, pois o custo da logística acaba sendo repassado para o preço do produto final, pois representa, até certo ponto, uma ineficiência da empresa.

2.2 Transporte no Brasil

Transporte é definido, segundo Coyle *et al.* (2006), como a atividade que, através da movimentação de bens ou pessoas, cria utilidade de localização e de tempo.

O setor de transporte é um dos principais agentes indutores de crescimento econômico para o país. Responsável pela movimentação de pessoas e de mercadorias, o setor é parte de uma dinâmica complexa que promove a expansão da atividade econômica, da competitividade dos bens produzidos e da renda disponível internamente. Nesse cenário, o modal rodoviário

ganha destaque por ser o principal meio de escoamento da produção e deslocamento de pessoas no Brasil.

Segundo Bowersox e Closs (2009), o transporte é um dos elementos mais visíveis das operações logísticas e é dividido em duas funções principais: movimentação e armazenagem de produtos.

De acordo com o gráfico mostrado na Figura 1, a partir de certa quantidade de depósitos, os maiores custos de uma rede de distribuição são os de transporte, o que mostra a necessidade de melhora da eficiência do transporte, seja devido ao balanceamento do uso dos modais disponíveis, da redução da distância de entrega ou da melhoria das condições dos modais existentes, entre outros.

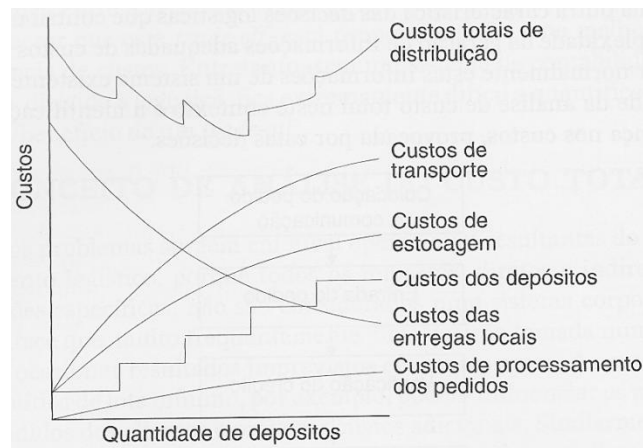


Figura 1: Custos totais de uma rede de distribuição. (Fonte: CHRISTOPHER, 1999)

Segundo informações do Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS), a matriz de transporte do Brasil está disposta conforme a Figura 2.

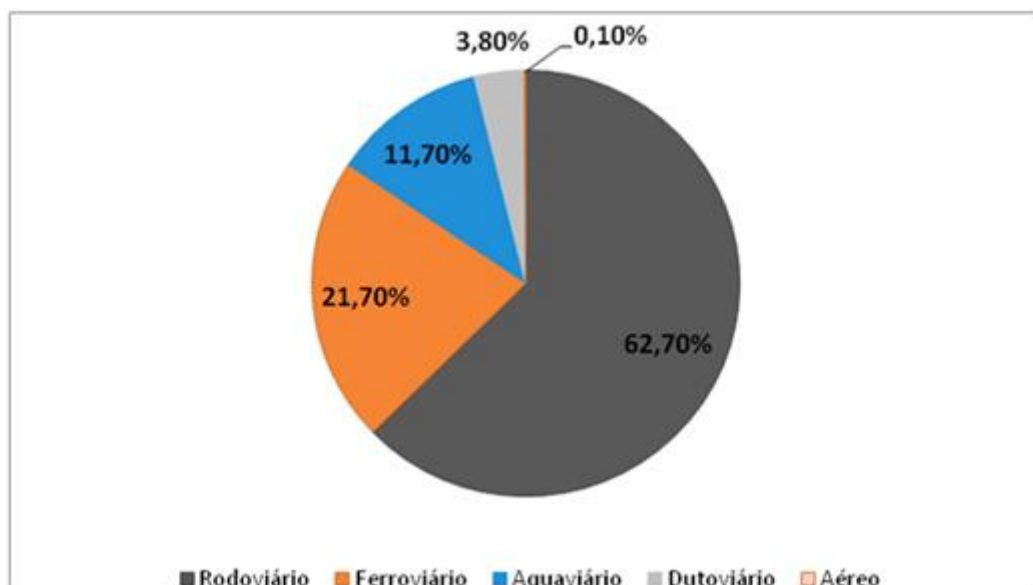


Figura 2: Matriz de transporte brasileira em 2010. (Fonte: ILOS)

Deve-se salientar que cada modo de transporte tem suas vantagens e desvantagens, e não existe um modal considerado ideal para todas as situações. Para fazer uma análise precisa, é necessário levar em conta variáveis como o material a ser transportado e sua quantidade, o custo, o tempo de transporte, entre outros. No Quadro 1, é feita uma comparação entre os principais modais existentes e suas características peculiares.

Quadro 1: Comparativo dos seis principais modos de transporte em redes de suprimento. (Fonte: CORRÊA, 2010)

Modo	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquático	Dutoviário	Eletrônico
<i>Custo unitário</i>	Médio \$ X por tonelada.km	Baixo \$ X/5 por tonelada.km	Muito alto \$3X por tonelada.km	Baixo \$ X/20 por tonelada.km	Baixíssimo	Baixíssimo, tendendo a zero
<i>Volumes/quantidades</i>	Pequenos a médios (alguns kg - motoboy a 40-carretas)	Grandes volumes, carga completa do vagão e muito mais eficiente	Pequenos, mais adequado para produtos densos em valor ou perecível	Grandes volumes para granel, médios volumes para contêineres	Enormes volumes para justificar investimento inicial	Pequenos ou grandes volumes (<i>download</i> de filmes, grandes bases de dados)
<i>Variedade de produtos</i>	Muito alta, cargas mistas	Alta, mas especificamente adequado para granel/baixa variedade	Muito alta em pequenas quantidades	Baixa, mas containerização e carga fracionada aumentam variedade	Muito restrita: gás, petróleo, água	Todos que são baseados em informação (imagem, dados, áudio, vídeo)
<i>Velocidade</i>	Média se infraestrutura suportar (80 km/h)	Metade da velocidade do rodoviário, exceto (raros) trens rápidos	Muito alta para distâncias intercontinentais, medindo-se em horas ou dias	Lento: 10 km/h fluvial; oceânico mais rápido: 10 a 12 dias para cruzar oceano	Varia conforme bombeamento; mas em geral não é relevante	Extremamente rápido relativamente a outras opções
<i>Freqüência</i>	Alta e flexível	Média e fixa, depende da rota	Média e fixa em geral no mínimo diária	Baixa, depende da rota	Transporte constante e contínuo, mas unidirecional	Ilimitada
<i>Confiabilidade</i>	Média, depende da infraestrutura e da frota	Alta	Alta	Média, depende da infraestrutura, portos	Alta	Alta
<i>Cobertura geográfica</i>	Muito alta na maioria das regiões	Alta nos EUA e Europa, baixa no restante	Global, mas esparsa (depende de aeroportos)	Global em oceânico, fluvial depende da região	Muito baixa, ponto a ponto	Altíssima, tendendo a aumentar mais ainda
<i>Capilaridade</i>	Muito alta, malha densa na maioria das regiões	Baixa, malha só é densa em certas regiões	Muito baixa, depende de aeroportos	Muito baixa para oceânico, baixa para fluvial	Baixíssima, ponto a ponto	Altíssima, malha densa de computadores
<i>Distâncias</i>	Curtas a médias	Médias a longas	Médias a muito longas	Longas a muito longas	Médias a longas	Longas ou curtas

O setor de transporte, especialmente o rodoviário de cargas, terá grande influência na ampliação de emissões de gases de efeito estufa. Segundo o Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação da Mudança do Clima – PSTM, elaborado em 2012, as emissões de CO₂, principal gás de efeito estufa, projetadas para o transporte de carga, incluindo rodoviário, aquaviário e ferroviário, deverão ter um crescimento em 2020 de 42% a 46% em relação ao ano-base de 2010, atingindo de 98MtCO₂ a 101MtCO₂.

O transporte no país apresenta alto índice de ineficiência se comparado ao índice de países como os Estados Unidos, por exemplo. Conforme explicado por Figueiredo *et al.* (2003), devido ao excessivo uso do modal rodoviário, o Brasil possui baixa produtividade no setor de transporte de cargas, que equivale a cerca de 22% da observada nos EUA. Tal defasagem advém, entre outras causas, da baixa produtividade do modal rodoviário, que corresponde a 7,3% do aquaviário e 6,4% do ferroviário. Esta grande diferença fica mais clara observando a Figura 3.

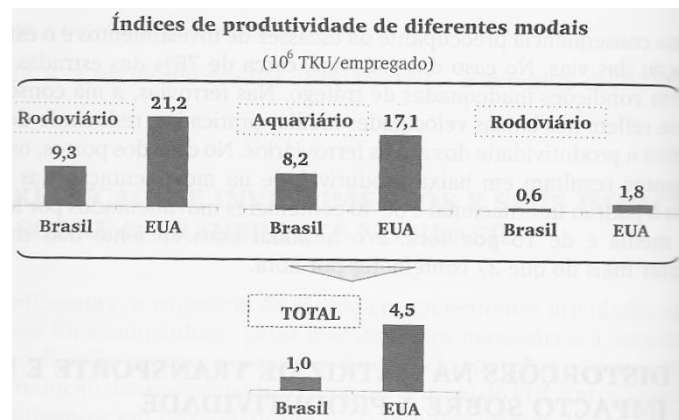


Figura 3: Baixos índices de produtividade. (Fonte: FIGUEIREDO, 2003)

2.2.1 Transporte Rodoviário

A Pesquisa CNT de Rodovias 2012, que é um relatório feito pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), Serviço Social do Transporte (SEST) e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT), aponta que 45,90% das rodovias possuem pavimento regular, ruim ou péssimo. Este fato representa um aumento do consumo de combustível dos veículos que por elas trafegam, tendo reflexos diretos nos custos das viagens e nas emissões de poluentes. A má qualidade das estradas também é responsável por maiores gastos com pneus, manutenção da frota e consumo de combustível.

Nas próximas décadas, grande parte do transporte de cargas continuará sendo feita pelo modal rodoviário, com o uso intensivo de combustíveis fósseis. Prevê-se que, em 2020, a frota de caminhões será responsável por 70,20% do consumo de óleo diesel do modo rodoviário. Isso fará com que este modal seja o responsável por 88% das emissões, seguido pelo ferroviário (8%) e pelo aquaviário (4%).

Outro fator problemático que se refere ao modal rodoviário é a idade da frota de veículos de carga. De acordo com Figueiredo *et al.* (2003), esta frota, que é composta de cerca de 1,8 milhão de unidades, possui uma idade média de 18 anos e 67% possuem mais de dez anos de idade. A Figura 4 ilustra que a frota está realmente envelhecida, mas o mais preocupante é que 87% das transportadoras não possuem um programa de renovação de frota, o que aumenta o risco de acidentes, de emissão de poluentes e aumenta a probabilidade do material ser danificado, entre outros problemas.

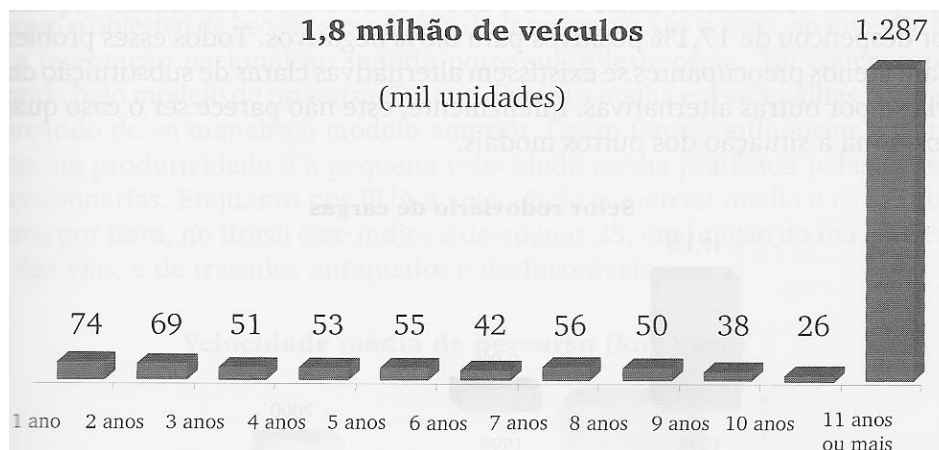


Figura 4: Frota envelhecida. (Fonte: FIGUEIREDO *et al.*, 2003)

Analisando estas informações, observa-se que há um crescimento da demanda por rodovias no país, pois a frota tem crescido nos últimos anos, porém há uma disparidade no ritmo de crescimento anual da frota de veículos e na extensão das rodovias pavimentadas. Além disso, é evidente que o estado de conservação das rodovias impacta diretamente no desempenho econômico de uma região e, desta forma, do país.

Ainda levando em conta a quantidade de rodovias encontradas no país, tem-se que grande parte está localizada nas regiões mais desenvolvidas do país (sul e sudeste), como pode ser visto na Figura 5. Esta situação, por mais que seja compreensível, atrapalha o desenvolvimento das outras regiões do Brasil, ainda mais considerando que as condições da malha rodoviária tendem a piorar quanto mais longe se estiver dos grandes centros.

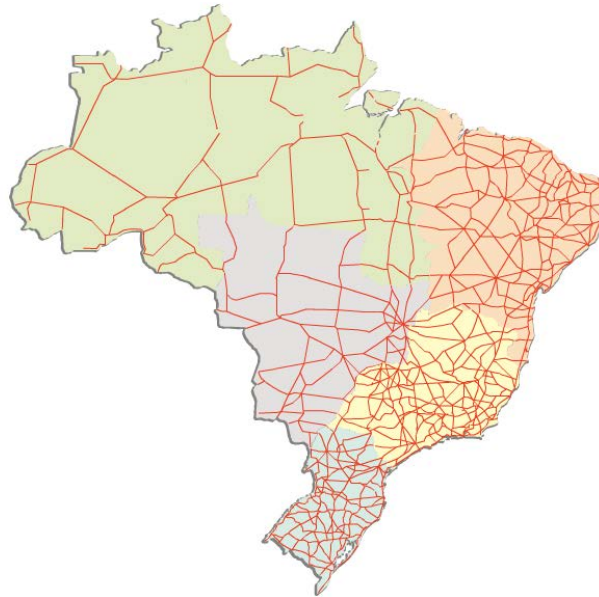


Figura 5: Mapa Rodoviário do Brasil. (Fonte: Ministério dos Transportes)

2.2.2 Cabotagem

A navegação de cabotagem, que também é conhecida como navegação do escoamento da produção nacional, é aquela realizada pela costa do território nacional para fins de transporte entre portos de um mesmo país. A mesma nomenclatura é utilizada para denominar o transporte entre um porto marítimo e um fluvial.

Quando comparado ao modal rodoviário, que é sabidamente o mais utilizado de todos os modais, conclui-se que a cabotagem apresenta algumas vantagens, tais como: diminuição de impactos ambientais encontrados no transporte rodoviário de cargas como poluição sonora, poluição do ar, congestionamentos, acidentes, etc; aumento da eficiência energética nacional devido ao baixo consumo de combustível se comparado com outros modais; capacidade de transporte de todos os tipos de carga; capacidade de movimentação de grandes quantidades de cargas por longas distâncias; maior vida útil da infraestrutura e dos equipamentos; isto citando apenas algumas das vantagens observadas.

Apesar destas vantagens, ainda existem graves problemas como, por exemplo: excesso de burocracia; excesso de tributação; carência de linhas regulares; ineficiência do porto. Embora existam iniciativas para a correção destes problemas, como a criação do Projeto Porto

sem Papel, visando à redução da burocracia, ainda há a necessidade de grandes melhorias para que a cabotagem seja mais bem vista e mais utilizada.

Além dos pontos positivos citados anteriormente, destaca-se que para o Brasil, que possui uma imensa costa litorânea, este tipo de transporte se torna bem atrativo se integrado com os outros tipos de modais existentes no país. O ideal é que haja investimentos na infraestrutura dos diferentes tipos de modais, para que seja possível o desenvolvimento do transporte multimodal de porta-a-porta.

Segundo informações da Secretaria de Portos, o Brasil tem uma costa de 8,5 mil quilômetros navegáveis e possui um setor portuário que movimenta anualmente cerca de 700 milhões de toneladas de mercadorias. O sistema portuário brasileiro é composto por 37 portos públicos, entre marítimos e fluviais. Desse total, 18 são delegados, concedidos ou tem sua operação autorizada à administração por parte dos governos estaduais e municipais. Existem ainda 42 terminais de uso privativo e três complexos portuários que operam sob concessão à iniciativa privada. A disposição dos portos na costa brasileira pode ser vista na Figura 6.



Figura 6: Mapa dos portos brasileiros. (Fonte: ANTAQ)

No entanto, apesar da extensa costa e enorme potencial portuário, o Brasil tem capacidade insuficiente de terminais de contêineres e infraestrutura de acesso, tendo também profundidades limitadas nos canais de acesso, o que acaba causando uma demora excessiva para atracação dos navios, além de fazer com que as embarcações utilizem apenas parte de sua capacidade de carga.

Por isso, de uns tempos para cá, criou-se um novo conceito global de complexo portuário, onde os acessos, berços de atracação e pátios sejam compatíveis com o crescimento da demanda, oferecendo um serviço de qualidade com preços competitivos. Para que isto ocorra, é necessário haver uma sinergia entre logística e indústria, favorecendo o desenvolvimento de pólos regionais, também conhecidos como *clusters*. A partir daí, estas mudanças podem gerar novas oportunidades de crescimento para a região ao redor dos portos, por meio da atração de novos negócios, devido aos atrativos gerados pelo desenvolvimento portuário.

Também é importante entender que o porto é um elemento da logística do fluxo de carga, o que significa dizer que ele pode ser fator determinante para a passagem da carga pelas suas instalações, certamente em função das condições ali apresentadas. Como a mercadoria não tem como destino final o porto, ele é apenas um elo entre a sua origem e destino, não importa o que se interponha nesse percurso.

2.3 Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios (MCDM)

Este tema se encaixa bem nos dias de hoje, pois qualquer decisão a ser tomada é baseada em comparações e escolhas. No decorrer de um dia normal, as pessoas fazem escolhas e tomam decisões através de comparações, analisando diferentes critérios e atribuindo pesos a eles, mesmo que de forma indireta e inconsciente. Para que estas decisões tenham maior credibilidade, foram desenvolvidas teorias que dão apoio a estas escolhas, que eram até então de certo modo empíricas, baseando então o processo de tomada de decisão em uma análise mais precisa do contexto em questão.

Em problemas com múltiplos objetivos não é possível determinar uma solução ótima que satisfaça plenamente a todos os objetivos. A solução que satisfaz a todos os critérios e objetivos, denominada “solução ideal”, que pode ser vista na Figura 7, não pode ser encontrada dentro da região de soluções possíveis do problema original. (SHIMIZU, 2006)

Gomes (2004) subdivide a análise de decisão envolvendo multicritérios em algumas etapas, que são citadas a seguir: identificar os tomadores de decisão; definir as alternativas; definir os critérios relevantes para o problema de decisão; avaliar as alternativas em relação aos critérios; determinar a importância relativa dos critérios; determinar a avaliação global de

cada alternativa; análise de sensibilidade; recomendações e apresentação de um relatório; implementação.

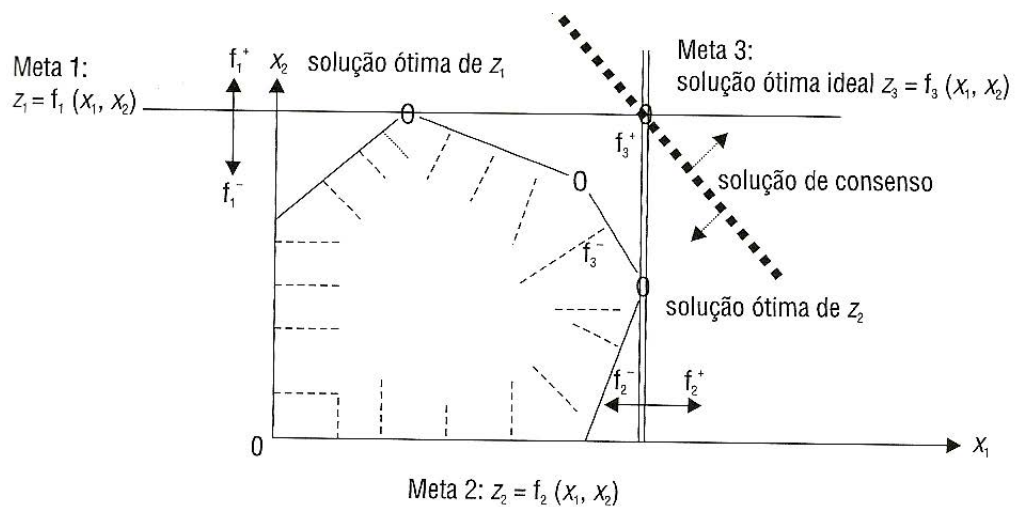


Figura 7: otimização com múltiplos objetivos. (Fonte: SHIMIZU, 2006)

Figueira (2005) reuniu contribuições de diversos autores sobre o estado da arte da tomada de decisão com múltiplos critérios. Dentre os diferentes métodos de MCDM, pode-se citar:

- AHP – *Analytic Hierarchy Process*;
- ANP – *Analytic Network Process*;
- ELECTRE – *Elimination Et Choix Traduisant La Réalité*;
- MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*;
- MAUT – *Multiple Attribute Utility Theory*;
- PROMETHEE – *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*;
- TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*.

Para este trabalho, decidiu-se utilizar o AHP como o MCDM para estudar a situação descrita. Os motivos que levaram a esta escolha serão descritos a seguir.

2.3.1 Método AHP

Um dos primeiros métodos desenvolvidos no ambiente das Decisões Multicritério Discretas, sendo talvez o mais usado no mundo, é o Método de Análise Hierárquica, mais

conhecido como método AHP (abreviação do inglês *Analytic Hierarchy Process*), criado pelo professor Thomas L. Saaty (1977). Nesse método, o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação. (GOMES *et al.*, 2004)

Este método vem sendo largamente utilizado por estudiosos da área por ser de fácil compreensão e utilização, além de ser bastante flexível e de simples modelagem. De acordo com Ho (2008), o AHP pode ser integrado com outras técnicas, por exemplo, com programação matemática visando a considerar não apenas fatores quantitativos e qualitativos, mas também algumas limitações de recursos, o que acaba representando mais fielmente a realidade do que se somente o método AHP fosse executado.

O método é caracterizado por sua simplicidade e robustez, permitindo que sua aplicação se estenda a várias áreas, entre as quais: Planejamento Estratégico (EMSHOFF & SAATY, 1982), Classificação de Risco (JOHNSON *et al.*, 1990), Alocação de Recursos (DYER *et al.*, 1992), Marketing (ARMACOST & HOSSEINI, 1994) e Avaliação do Nível de Consenso do Grupo (BRYSON, 1996).

Salomon (2010) afirma que para a aplicação do AHP, e da maioria dos métodos discretos de MCDM, a Modelagem Matemática consiste em três passos:

- (1) Identificação dos critérios e das alternativas de decisão;
- (2) Atribuição de valores de importância para os critérios e valores de desempenho para alternativas;
- (3) Síntese dos resultados.

Na Figura 8, Gomes *et al.* (2004) apresenta um exemplo de estruturação dos critérios na formulação hierárquica típica do método AHP. O problema considerado neste exemplo refere-se à compra de um carro, sendo necessário existir uma homogeneidade entre os critérios do mesmo nível, ou seja, os critérios devem possuir o mesmo nível de importância, possibilitando que sejam comparados entre si.

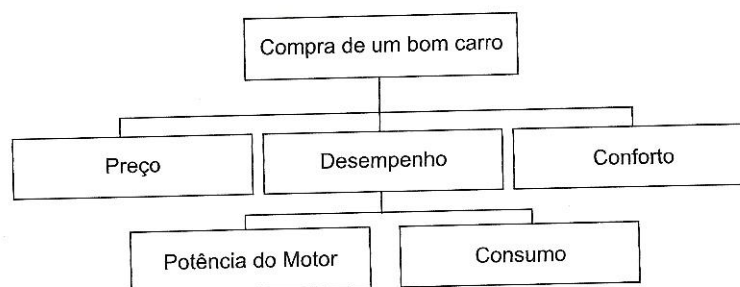


Figura 8: Hierarquia de critérios para a compra de um carro. (Fonte: Gomes, 2004)

Após a divisão em níveis hierárquicos, é feita a comparação entre os critérios, dois a dois, para determinar os pesos de cada critério. Na Tabela 1, tem-se a Escala Fundamental de Números Absolutos, desenvolvida por Saaty (1977) para auxiliar na comparação entre os pares.

Tabela 1: Escala de julgamento de importância do método AHP. (Fonte: Gomes, *et al.* 2004)

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Importância igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância fraca de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência, favorecendo uma atividade em relação a outra, é do mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando é necessária uma condição de compromisso
Recíprocos	Se a atividade i tem uma das intensidades de importância ou de preferência de 1 a 9 quando comparada com a atividade j , então j tem o valor recíproco quando comparado com i	

No contexto do tema apresentado, tem-se observado um aumento nas pesquisas relacionando o método AHP com a energia gerada pela força dos ventos. Assuntos como a escolha de um local ideal para construção de parques eólicos (HARRISON, 2012); escolha de local para construção de estação para observar a força dos ventos (ARAS, ERDOGMUS & KOÇ, 2004) e *design* de sistemas solar-eólicos híbridos (CHEDID, AKIKI & RAHMAN, 1998), só para citar alguns artigos, mostram a relevância desta relação para a comunidade científica.

Para uma melhor compreensão do método, segue abaixo um exemplo de aplicação do AHP, retirado de Shimizu (2006), mostrando passo-a-passo as etapas que devem ser seguidas.

Exemplo Ilustrativo:

João está examinando a oferta de dois empregos: emprego A e B. Para realizar a escolha do melhor emprego, ele considerou os seguintes fatores ou critérios:

- C1 – salário e benefícios;
- C2 – oportunidade de progresso profissional na empresa; e
- C3 – localização da empresa.

João reside atualmente na cidade do Rio de Janeiro, mas está disposto a mudar de cidade, caso as vantagens oferecidas por outros fatores sejam compensadoras. Os critérios foram avaliados do seguinte modo:

A escala de valores para comparações paritárias utilizada pode ser vista na Tabela 1. Para utilizar o AHP, os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

a) Construir as matrizes de comparação paritária

Baseado nos dados da tabela inicial, o decisor elabora as matrizes de relacionamentos, definindo os valores da importância do relacionamento de cada fator C_i com outro fator C_j .

Foi feita então a seguinte matriz de comparações paritárias dos critérios, de acordo com os valores atribuídos pelo interessado.

Por exemplo, João acha que o critério C2 é “muito fortemente preferível” a C1 e atribuiu conceito 7 na coluna 1 da linha 2 da matriz, enquanto acha que C2 é “fortemente preferível” a C3 e atribuiu conceito 5. Pode-se notar que a comparação em ordem inversa recebe um valor inverso.

b) Obter a prioridade relativa de cada critério

Normalizar os valores da matriz dividindo cada elemento pela soma da coluna a que pertence, por exemplo, $1/10 = 0,100$ etc. A prioridade de cada critério é a média aritmética dos valores da linha. Por exemplo, a prioridade do critério C1 é igual a $(1 + 1/7 + 1/2)/3 = 0,094$, e temos

As prioridades relativas indicam que João coloca o critério C2, com grande ênfase, em primeiro lugar, seguido pelos critérios C3 e C1.

c) Testar a consistência das prioridades relativas

c.1) Obter o vetor dos pesos

Para testar a consistência, é preciso determinar o vetor dos pesos através da seguinte operação:

c.2) Obter o vetor de consistência

O vetor de consistência é obtido dividindo cada peso pela respectiva prioridade relativa, ou seja,

Vetor de consistência = $(0,283/0,094, 2,236/0,738, 0,504/0,168)^T$

Vetor de consistência = $(3,0106 \ 3,0298 \ 3,000)^T$

c.3) Obter o valor λ_{\max} e o índice de consistência CI

A estimativa do maior autovalor λ_{\max} da matriz paritária é obtida através da média aritmética dos elementos do vetor de consistência, ou seja:

$$\lambda_{\max} = (3,0106 + 3,0298 + 3,000)/3 = 3,015$$

O índice de consistência é dado pela fórmula

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = (3,0135 - 3)/(3 - 1) = 0,00675$$

onde n é o número de critérios considerados.

3. CONTEXTO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

3.1 Descrição da empresa

A empresa estudada é uma multinacional alemã fundada em 1847, sendo que no Brasil, está presente há mais de cem anos e é atualmente o maior conglomerado de engenharia elétrica e eletrônica do país. Com um faturamento líquido de mais de 5 bilhões de reais e aproximadamente 10.000 colaboradores no Brasil, suas atividades estão agrupadas em quatro setores estratégicos: *Energy, Industry, Healthcare e Infrastructure & Cities*.

Seus equipamentos e sistemas são responsáveis por 50% da energia elétrica do país e 30% dos diagnósticos digitais por imagem são feitos com equipamentos de sua fabricação. Além disso, está presente em 2/3 de todas as plataformas brasileiras projetadas nos últimos 8 anos.

O presente trabalho foi realizado no setor *Energy*, mais precisamente na divisão de Energia Eólica. Esta divisão foi criada há menos de 3 anos no Brasil, ou seja, ainda está tentando conquistar seu espaço no mercado eólico brasileiro, além de apresentar muitos pontos a se desenvolver, pois embora o site global seja o líder mundial em geração de energia eólica *offshore* e esteja também entre as líderes no mercado *onshore*, há a necessidade de se adaptar às peculiaridades encontradas no Brasil, por exemplo com relação à legislação local, licenças ambientais, burocracia aduaneira, entre outros.

Apesar destas dificuldades, a empresa apostou neste mercado, pois este tem crescido bastante e a previsão de crescimento para os próximos anos também é grande. Segundo dados da própria empresa,

- De 2010 a 2030, a produção global de eletricidade deverá crescer cerca de 75% (2,8% ao ano);
- Até 2030, espera-se que os países emergentes tenham a maior taxa de crescimento global;
- A matriz de geração de energia sofrerá mudanças com a progressiva incorporação de fontes renováveis no *mix* de energia;
- O aumento das emissões de CO₂ representa uma ameaça ao clima global.

Uma dificuldade que a empresa vem enfrentando é a de conseguir financiamento do BNDES, uma vez que, em julho de 2012, foi descredenciada do Finame, que é uma linha do

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social que financia a produção e aquisição de máquinas de fabricação nacional. Isto aconteceu porque a empresa não possuía 60% de índice de nacionalização do produto.

3.2 Apresentação do Problema

A companhia, conforme explicado na seção anterior, iniciou seus trabalhos na área de energia eólica no Brasil há pouco tempo, ou seja, a empresa ainda está aprendendo como o mercado brasileiro se comporta e se adequando às peculiaridades existentes em nosso país, o que acaba afetando negativamente o desempenho de muitas áreas da companhia. Durante este processo de aprendizagem, muitas vezes erros são cometidos por não se ter conhecimento sobre determinado assunto ou por seguir os mesmo padrões usados no exterior.

Algumas das principais dificuldades encontradas neste início são: problemas para conseguir licenças ambientais, que são necessárias principalmente devido à retirada de dunas; problemas aduaneiros durante o desembarque nos portos, gerado ora pela ineficiência da gestão portuária, ora por greves, como a da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) ocorrida neste ano; falta de infraestrutura dos modais de transporte e de locais de armazenamento para cargas de grande porte, o que causa atrasos, custos maiores e, até mesmo, avarias nas partes do aerogerador.

Este último fator citado interfere diretamente no trabalho do departamento de logística, pois gera restrições e dificuldades nas escolhas dos modais de transporte e dos locais de armazenagem, ou seja, os problemas encontrados são outras variáveis que devem ser levadas em conta na hora de fazer o planejamento e cronograma de um projeto. Na maior parte das vezes, estas restrições são responsáveis por um grande aumento nos custos logísticos, justamente por não haver condições adequadas para o deslocamento e armazenagem de equipamentos de grande porte.

Por isso, a importância de se definir corretamente o modal de transporte utilizado aumenta consideravelmente, uma vez que esta pode amenizar os efeitos da precária infraestrutura de transporte brasileira.

Então, após uma análise da situação da empresa e dos pontos positivos e negativos apresentados até então, decidiu-se propor este tema aos responsáveis da área, justamente por ser um setor que tem operações que são bastante caras e ainda por haver falta de padronização nos processos da área.

Quando o escopo deste trabalho foi apresentado ao coordenador de logística, este se mostrou indiferente à realização do mesmo, por achar que não havia necessidade de alteração no que estava sendo feito, já que do ponto de vista dele, o trabalho era realizado de modo satisfatório. Porém, após certa insistência, ele se convenceu de que não era saudável para a empresa depender apenas de sua experiência e expectativas, uma vez que, caso ele saia da empresa, haverá a necessidade de se contratar alguém com muita experiência em logística na área de energia eólica para manter a mesma metodologia utilizada até agora, porém não existem muitas pessoas com estas características no Brasil.

Conforme mencionado anteriormente, uma turbina eólica é composta de 4 partes principais: torre, pás, *hub* e nacele. A Figura 9 mostra a disposição destas partes em um aerogerador.



Figura 9: Aerogerador (diagramação elaborada pelo autor)

Este trabalho irá analisar apenas o transporte dos *hubs* e pás, de seus respectivos locais de fabricação até o *site* do projeto, localizado no estado do Ceará, pois as naceles serão fabricadas na Dinamarca e desembarcarão no porto de Mucuripe-CE, havendo apenas uma rota viável para o transporte destes componentes, e as torres, que serão de concreto para este projeto, serão feitas em Cabo de Santo Agostinho-PE, seguindo também de caminhão até o local de construção.

No caso específico deste projeto, chamado de Projeto Eólico Trairí, composto pelas usinas Mundaú, Fleixeiras, Trairí e Guajirú, que foi o primeiro ganho pela Siemens no Brasil,

o cliente é a Tractebel Energia S.A., que é a maior geradora privada de energia do país e tem uma capacidade instalada própria de 6.908 MW, equivalente a cerca de 7% do total no Brasil.

No total, serão fornecidos 50 aerogeradores, sendo 13 para os parques eólicos de Mundaú, Fleixeiras e Guajirú e 11 para o de Trairí.

Para entender as dificuldades que permeiam o transporte das partes mencionadas, é importante analisar as particularidades de cada uma delas para observar quais são seus pontos críticos, que influenciarão na escolha do modo de transporte.

Hub é a peça que conecta as três “hélices” ou “pás” que giram pela força do vento e movimentam os geradores elétricos que produzem energia. Ele também é conhecido como “nariz” da turbina. Os hubs são produzidos na cidade de Guarulhos-SP pela empresa Bardella S.A.. Suas medidas aproximadas são de 4,5 x 4,5 x 4 m e peso aproximado de 32 toneladas, o que pode gerar restrições tanto devido a sua altura quanto ao peso. A Figura 10 mostra uma foto de um *hub*.



Figura 10: Hub (imagem retirada da Internet)

As pás, por sua vez, são perfis aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. Inicialmente fabricadas em alumínio, atualmente são fabricadas em fibras de vidro reforçadas com epoxi. Nos aerogeradores que usam controle de velocidade por passo, a pá dispõe de rolamentos em sua base para que possa girar, modificando assim seu ângulo de ataque. As pás do projeto em análise foram feitas pela empresa Tecsis Tecnologia e Sistemas Avançados, na cidade de Itu-SP. Cada pá tem dimensões aproximadas de 49 x 2 x 3,5 m e um peso aproximado de 11,5 toneladas. Na Figura 11, pode-se observar o formato de uma pá. Embora haja pequenas

diferenças entre o projeto de pás de algumas empresas, de um modo geral, as pás têm a aparência mostrada na Figura 11.



Figura 11: Pá eólica (imagem retirada da Internet)

Sabendo das restrições que podem ser causadas pelas dimensões e peso destes componentes, é feito para cada projeto um estudo de viabilidade de rota, que se resume em fazer previamente o trajeto que será utilizado para o transporte terrestre. Normalmente, uma transportadora é contratada para fazer o caminho entre a fábrica e o *site* do projeto, documentando todo o trajeto por meio de fotos e comentários, analisando também os pontos onde deverão ser feitas melhorias para a passagem dos caminhões ou rotas alternativas que poderão ser utilizadas. A partir daí, é criado um plano de ação para fazer as modificações constatadas, sejam elas de responsabilidade da empresa contratada ou da contratante. As modificações mais comuns são retirada de postes, canteiros e lombadas e o aumento do raio de curvatura de algumas curvas.

Vale a pena ressaltar que a utilização das rodovias federais para transporte de cargas indivisíveis e excedentes de peso e/ou dimensões para o trânsito de veículos especiais está regulamentada pela Resolução 11 do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Esta resolução engloba temas como condições do transporte, Autorizações Especiais de Trânsito (AETs), tarifa de utilização das vias, veículos especiais, fiscalização, infração e penalidades.

De acordo com a Secretaria de Transportes (2011), carga indivisível é a carga constituída por uma única peça, máquina, equipamento ou conjunto estrutural, ou ainda parte pré-montada destes elementos.

São considerados transportes especiais, todos os veículos de carga que ultrapassem as dimensões e/ou pesos máximos fixados por lei ou que tenham características

físico/operacionais que prejudiquem a segurança e a fluidez do tráfego. São diversos os tipos de transportes de carga que transitam (CAMPOS E RISSARDO, 2011).

Portanto, todas as operações de transporte realizadas devem obedecer às regras determinadas pelo DNIT, estando sujeito a severas punições aqueles que descumprirem tais normas.

A Pesquisa CNT de Rodovias 2012, provavelmente o maior estudo já elaborado sobre as condições das rodovias brasileiras, fornece informações muito interessantes sobre as vias públicas do Brasil, por meio de uma avaliação das condições das rodovias pavimentadas brasileiras segundo a segurança e o desempenho dos usuários, identificando as condições das vias que os afetam, direta ou indiretamente – em relação ao pavimento, à sinalização e à geometria da via. O resultado da análise combinada desses três elementos indica a classificação do estado geral das rodovias.

Por abranger praticamente toda a extensão das rodovias federais e a das estaduais mais relevantes, a pesquisa analisou quase 96.000 km de rodovias pelo Brasil, o que ratifica a alta confiabilidade da pesquisa

Com a constatação de condições desfavoráveis do transportes das partes dos aerogeradores pela rodovia federal BR-222, em novo estudo de rota é proposto para que seja utilizada preferencialmente a rodovia estadual CE-085. Isto é devido ao precário estado de conservação da BR-222, com demasiado número de buracos, trânsito pesado e inexistência de pontos de parada em eventual situação de emergência. A rodovia CE-085 apresenta asfalto em boas condições de tráfego, curvas com raios apropriados para o transporte, além de reduzir a distância total percorrida. Em virtude de algumas partes dos aerogeradores excederem a altura limitante de estruturas ao longo da rota principal, realizou-se estudo de duas rotas dentro da cidade de Fortaleza.

3.3 Solução Proposta

Segundo Granemann e Gartner (2000), o problema da escolha modal e sub-modal tem sido tratado em diversos trabalhos fundamentados na teoria econômica do consumidor e, por isso, representa um tema interessante a ser estudado.

Para uma melhor análise sobre qual a influência de cada fator na eficiência do transporte de um modo geral, foi proposta a utilização do método AHP para comparar os

modais de transporte de acordo com alguns parâmetros selecionados por meio de discussões com os responsáveis da área.

Depois de algumas reuniões, onde foi explicado mais a fundo as considerações mais importantes relacionadas ao transporte de cargas no Brasil e os procedimentos de tomada de decisão utilizados pela empresa, foram selecionados alguns fatores que, na opinião do coordenador e do analista de logística, seriam os que mais influenciam na escolha do modal.

Antes de explicar cada um dos critérios selecionados, é importante frisar que só foram considerados os modais rodoviário e cabotagem neste estudo, pois os demais não oferecem condições de transporte do estado de São Paulo ao Ceará, não sendo portanto viável a utilização de algum modal diferente dos dois citados.

Os três fatores escolhidos como os mais importantes são: custo de transporte, tempo de transporte e possibilidade de causar danos ao material transportado. Foram mencionados também outros fatores que exercem influência, tais como, disponibilidade de equipamentos (caminhões e navios) adequados, condição das estradas e portos, entre outros, porém concluiu-se que estes eram de menor importância e alguns deles estavam indiretamente embutidos em um dos três principais fatores selecionados.

A seguir, foram avaliados mais a fundo cada um destes fatores, o que será descrito a seguir, mostrando as peculiaridades de cada um deles e o cenário atual observado segundo a perspectiva de cada fator, visando a confirmar assim a importância destes três critérios selecionados.

O primeiro fator é o custo de transporte. Devido à complexidade dos equipamentos transportados, obviamente o custo é bastante elevado se comparado ao transporte normal de cargas, para todos os modais analisados. No caso do transporte rodoviário, são necessários caminhões especiais, que tenham pranchas extensivas de pelo menos três eixos direcionáveis para as pás e quatro para os *hubs*, que abram até aproximadamente 40 metros e que, de preferência, possuam suspensão pneumática para absorver o efeito das estradas brasileiras em más condições. Os veículos, após a amarração das pás, ficam com pelo menos 55 metros de comprimento útil, complicando ainda mais o deslocamento.

No modal rodoviário, por causa da escassez de caminhões com estas características e da falta de motoristas treinados para fazer este tipo de transporte, as poucas transportadoras que possuem estes requisitos se destacam no mercado. A maior parte dos veículos é comprada do exterior e as transportadoras só compram os caminhões se houver demanda para este tipo de equipamento, o que diminui ainda mais o número de veículos apropriados à disposição, elevando os preços praticados.

Quando analisado o transporte por cabotagem, observa-se que os navios de bandeira brasileira, em sua grande maioria, não estão aptos a transportar de modo seguro as pás e hubs eólicos, tanto que no projeto que já teve início, o navio contratado pela empresa é de origem alemã

Comparando os dois modais com relação ao custo, deve-se inicialmente comparar a quantidade transportada por cada meio de transporte. Enquanto que um caminhão consegue levar apenas uma pá eólica por vez, o navio leva entre 27 e 30 pás por vez, o que reforça algumas das vantagens apresentadas na parte teórica, como a capacidade de movimentação de grandes quantidades de cargas por longas distâncias e o aumento da eficiência energética nacional devido ao baixo consumo de combustível se comparado com outros modais.

O segundo fator é o tempo de transporte. Observa-se, na teoria, que para cargas normais o tempo demandado quando utilizado o transporte rodoviário é bem menor do que o tempo de cabotagem, porém, devido à complexidade das cargas, os caminhões não podem trafegar a velocidades elevadas e, por isso, a duração da viagem acaba sendo longa. Obviamente, o transporte por navio leva mais tempo do que o rodoviário, porém este não é um fator determinante na hora de tomar a decisão, já que a maior lentidão acaba sendo compensada pela maior quantidade de componentes levados por vez.

O terceiro fator é a possibilidade de causar danos ao material transportado. Esta informação chega a ser um pouco subjetiva, por não haver dados estatísticos que comprovem a probabilidade de danos de acordo com o modal escolhido, porém fica evidente que o risco de danos aumenta quando as condições dos modais e dos meios de transporte são precárias.

Mesmo com a dificuldade de medição da relação entre riscos e condições dos modais, faz-se necessário a utilização deste parâmetro, pois é de extrema importância que os componentes não tenham suas funções prejudicadas por algum acidente de percurso. A tecnologia utilizada para a fabricação de aerogeradores é bastante complexa e, por isso, o transporte deve ser realizado de forma bastante cuidadosa, pois o reparo das pás e *hubs* não é simples e barato.

Existem outros aspectos que são influenciados pelos três fatores mencionados e que também têm grande importância quando se trata de transporte eólico. Uma variável bastante complexa quando se usa cabotagem é o trajeto de serra dos equipamentos quando se leva a pá até o porto. Obviamente o caminhão não consegue descer a serra utilizando apenas a pista sentido litoral. Por isso, todo o trajeto é feito de madrugada, para que seja possível a interdição da pista nos dois sentidos e, mesmo assim, há um limite máximo de caminhões que descem por dia para o litoral, sem contar que isso não pode ser feito todos os dias. Devido a

esse limite diário, cada empresa tem que “entrar na fila” para descer a serra, sendo que a prioridade é dada de acordo com a ordem de chegada, ou seja, chegar à serra não é uma garantia de que a carga será transportada imediatamente, o que pode atrasar o trajeto e gerar custos não planejados, como o pagamento de diárias adicionais dos caminhões ou até mesmo do navio, caso este já esteja no porto ou próximo dele.

Além disso, é quase impossível conseguir sincronizar a descida das pás com a chegada do navio no porto, pois ambos dependem de fatores que são de baixa previsibilidade. Portanto, normalmente aluga-se uma área de armazenagem perto do porto, para assegurar que a carga não sofrerá avarias enquanto o navio ainda não está atracado, e também para garantir que haverá carga pronta para embarque no momento em que a embarcação estiver no porto, pois os valores de *detention*, que ocorre quando há retenção do navio por tempo além do estabelecido para as operações de carga ou descarga, são bastante altos.

Caso não haja espaço para armazenamento dos componentes no *site* do projeto, também será necessário alugar outro terreno perto do local de construção. Normalmente isto acontece quando a preparação do *site* está atrasada, não sendo possível iniciar a construção imediatamente após a chegada dos componentes. Outro motivo para armazenagem em local apropriado está relacionado com as avarias dos equipamentos. Se deixados em locais que não atendem aos requisitos, estes podem se deteriorar devido ao sol, chuva, calor ou frio, ou ainda podem ser danificados por vândalos e pichadores. Por último, empresas concorrentes podem copiar o modelo aerodinâmico dos equipamentos, se não houver uma segurança adequada.

Outra vantagem apresentada pela empresa foi o desenvolvimento de um dispositivo de transporte que seja compatível com os dois modais em estudo, reduzindo o tempo e o custo e diminuindo o risco de acidentes e avarias, tanto durante o transporte como durante as operações de carga e descarga. Com este dispositivo, não há a necessidade de adequação, por exemplo, das pás, quando saem do caminhão e vão para o navio, pois, neste caso, os dispositivos feitos são próprios para fazer a amarração no *deck* dos navios. Apesar de haver um elevado custo de desenvolvimento e fabricação, estes dispositivos não serão usados apenas uma vez, o que justifica a execução do projeto, já que os custos e o tempo de transporte serão drasticamente reduzidos e a segurança da carga aumentará.

Estes são apenas alguns dos importantes acontecimentos que afetam os aspectos logísticos durante um projeto. Muitas variáveis estão envolvidas neste processo, ou seja, há a necessidade de se adequar rapidamente a novas situações e, para isso, é necessário prever as possíveis dificuldades e restrições que poderão ser encontradas durante o planejamento e

execução de um projeto, para estar apto a resolver rapidamente as situações emergenciais, diminuindo os gastos extras e evitando empurrar o cronograma.

Logicamente, estes e muitos outros fatores são analisados para determinar se é viável a construção de um parque eólico em determinada região, porém, para este estudo inicial, o foco será nos três fatores previamente destacados.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA O PROBLEMA APRESENTADO

Decidiu-se pela utilização do método AHP neste estudo, pois este método facilita a compreensão e a avaliação do problema proposto, na medida em que há uma divisão em níveis hierárquicos, possibilitando analisar os fatores que mais têm influência sobre o problema, comparando-os entre si. Para auxiliar na aplicação deste método, utilizou-se o software Web-Hipre (<http://hipre.aalto.fi>). A Figura 12 mostra a tela inicial do programa usado.

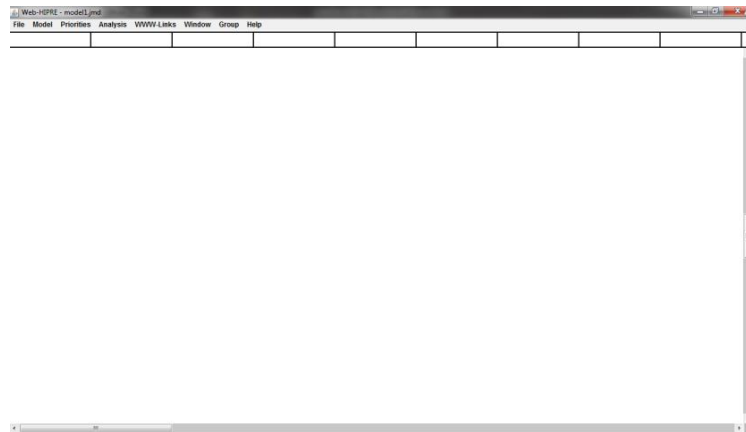


Figura 12: Tela inicial do software Web-Hipre (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

É possível observar através desta figura e das próximas que estão na sequência, que este software apresenta uma interface bem simples e de fácil entendimento, o que foi um fator primordial para a utilização deste programa na elaboração deste trabalho.

A primeira etapa foi identificar os critérios e as alternativas de decisão que são relevantes para a escolha do modal de transporte a ser utilizado. Conforme explicado anteriormente, as três variáveis escolhidas foram: custo de transporte, tempo de transporte e possibilidade de causar danos ao material transportado.

Mais uma vez, é importante ressaltar que para o tipo de material transportado, os danos podem gerar elevados custos de reparo e atrasar o cronograma do projeto que, na maioria dos casos, já é bem apertado e sofre constantes alterações. O custo e tempo de transporte estão obviamente entre os critérios escolhidos, uma vez que a finalidade de todo projeto, seja na área de energia ou em qualquer outra área, visa sempre a entregar o projeto requisitado pelo cliente com o menor custo possível e dentro do prazo estabelecido.

Na segunda etapa, foram atribuídos valores de importância para os critérios, de acordo com a escala de julgamento de importância desenvolvida por Saaty (1977), comparando-as em pares.

Em um terceiro momento, foi feita uma síntese dos resultados.

Para a aplicação do AHP dentro do contexto descrito anteriormente, optou-se inicialmente por fazer uma análise baseada nas condições vividas no momento, ao invés de se basear no que seriam as condições ideais.

O planejamento e execução do projeto estavam bastante atrasados e, por isso, o tempo passou a ter uma maior importância na análise feita. O cronograma já estava alguns meses atrasado e o risco de não entregar os componentes e atrasar a inauguração do parque eólico eram reais, e caso isso acontecesse, pesadas multas seriam aplicadas à empresa. Por isso, a prioridade passou a ser o tempo de transporte.

Logo após, foi feita uma análise considerando que o projeto estivesse em suas condições ideais, para que fosse possível fazer uma comparação entre as duas situações analisadas. Nesta condição, conforme será visto mais à frente, o custo é o fator mais importante a ser analisado, embora também não se possa deixar de lado o tempo gasto na viagem.

Na Figura 13, observa-se a análise global proposta (para a situação real, onde já existem atrasos), mostrando visualmente as ligações entre o modal de transporte e os fatores influenciadores. Após a montagem do diagrama, foi aberta a janela de prioridades, onde se montou a matriz de comparações paritárias dos critérios para avaliar o grau de importância de cada fator quando comparado aos demais. Os números atribuídos na matriz representam uma escala de importância e podem variar de 1 (igual importância) até 9 (importância absoluta), tendo alguns estágios intermediários entre eles. Para facilitar a compreensão, explica-se a seguir, de modo mais detalhado as considerações feitas na elaboração desta matriz.

Na primeira linha e terceira coluna, conforme pode ser visto na Figura 13, tem-se o número 3 (ligeiramente preferido), ou seja, de acordo com a análise feita o custo é três vezes mais importante que o tempo. Por outro lado, na terceira linha e primeira coluna, o número encontrado é 0,33, que é justamente o inverso de 3, representando assim a mesma relação descrita anteriormente. Este mesmo raciocínio é válido para a determinação dos demais valores atribuídos.

A Figura 13 apresenta também a importância relativa dos critérios, facilitando a compreensão e visualização da ordem de importância dos fatores analisados.

Após o preenchimento de toda a matriz, o valor CM (*Consistency Measure*), mostrado na cor verde é gerado pelo software. Este índice, traduzido para o português como Índice de Consistência, representa o quão consistente são as comparações feitas. Ele compara a escala de valores que representam a situação em análise com a escala desenvolvida por Saaty (1977). Quanto mais próximo de 0 este número for, mais consistente é a relação analisada. Da teoria, se o CM for menor do que 0,1, a análise é consistente, portanto, como o CM encontrado foi de 0,057, a comparação paritária é coerente.

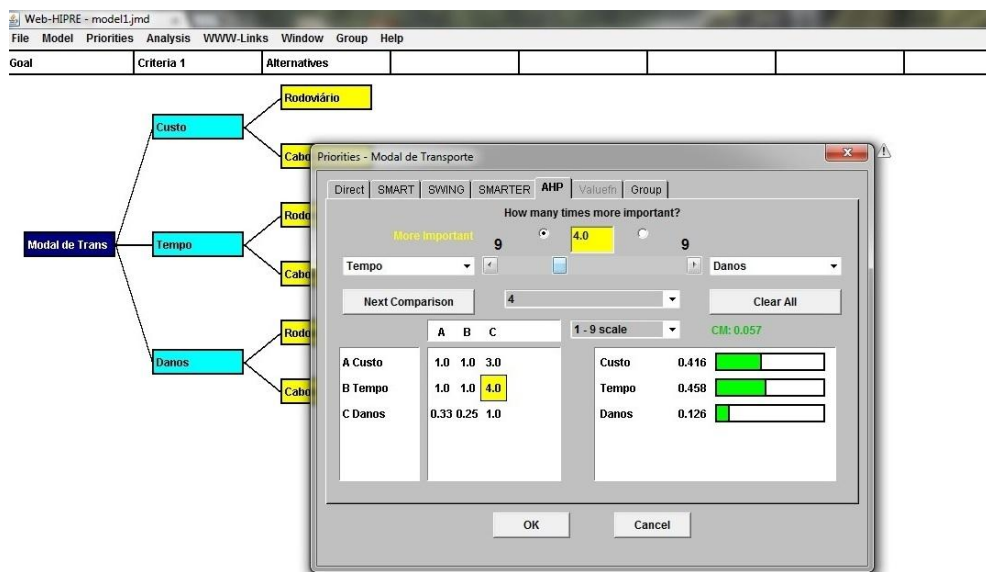


Figura 13: Matriz de comparação paritária: modais de transporte (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

Foi feita também uma análise de cada critério com relação aos modais de transporte analisados, visando a obter informações mais detalhadas das características específicas de cada um deles, sendo assim possível determinar quais são os pontos fortes e fracos quando se trata de transporte de cargas especiais. Nas Figuras 14, 15 e 16 são representadas as ponderações feitas para os critérios custo, tempo e possíveis danos ao material.

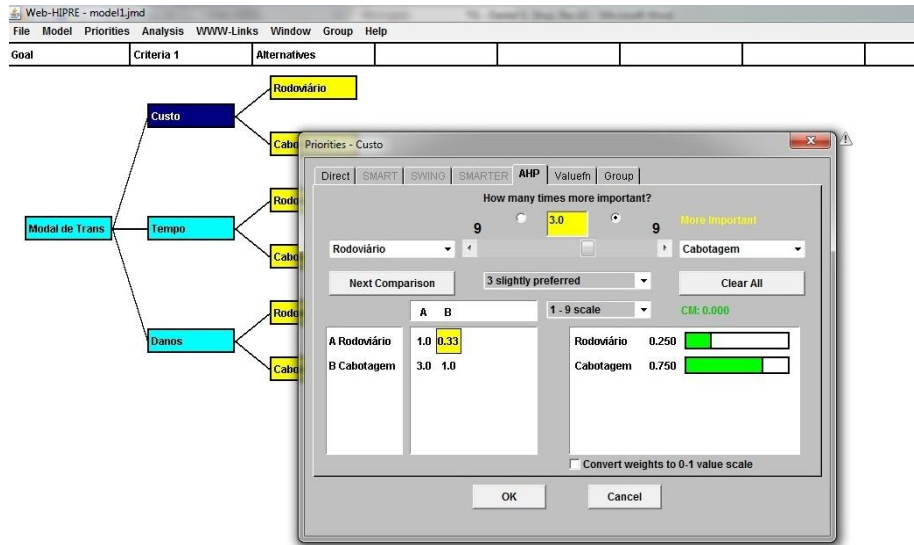


Figura 14: Matriz de comparação paritária: critério - custo (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

Para o critério custo, definiu-se que há uma importância maior para a cabotagem, conforme pode ser visto na Figura 14, uma vez que os custos rodoviários não sofrem tantas alterações de uma empresa para a outra, enquanto que os custos de cabotagem acabam variando bem mais, porque os tamanhos das embarcações variam de empresa para empresa e também devido ao processo de nacionalização de certos barcos para a obtenção de bandeira brasileira, que pode aumentar o custo total. Além disso, os custos de cabotagem são um pouco mais elevados do que o rodoviário, o que pode afetar mais diretamente o orçamento do projeto.

Outro fator que influencia no custo para ambos os modais de transporte é o baixo número de empresas que tem equipamento para efetuar o transporte, pois devido ao volume e complexidade da carga, é necessário, por exemplo, utilizar caminhões que “abrem” até aproximadamente 40 metros para o transporte das pás, com suspensão pneumática especial para o transporte de cargas pesadas e também utilizar navios que tenham grandes locais de armazenamento e também dominem as técnicas de navegação na costa brasileira.

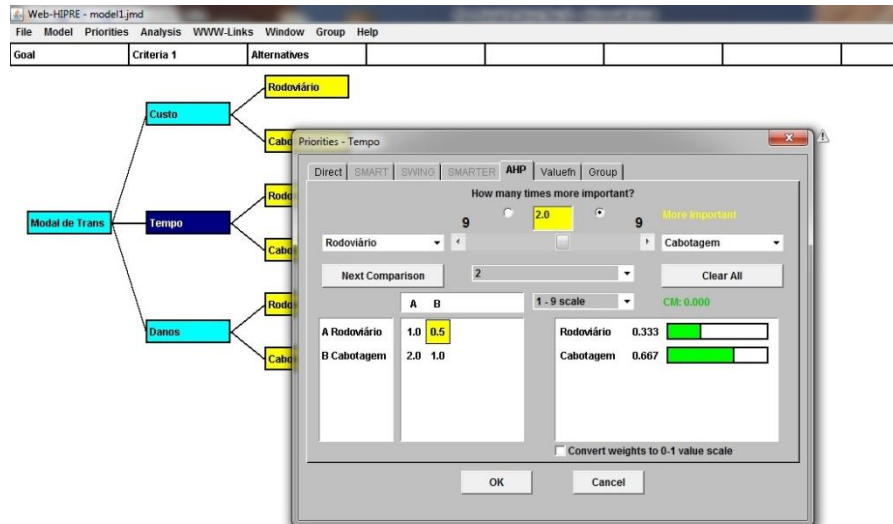


Figura 15: Matriz de comparação paritária: critério – tempo (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

Para o critério tempo, como pode ser observado na Figura 15, atribui-se também uma importância um pouco maior à cabotagem. Isto acontece porque no transporte rodoviário, independente de qual transportadora for contratada, o tempo de transporte é praticamente o mesmo. Devido às limitações das rodovias e dos veículos, não é possível reduzir o tempo de transporte de forma significativa.

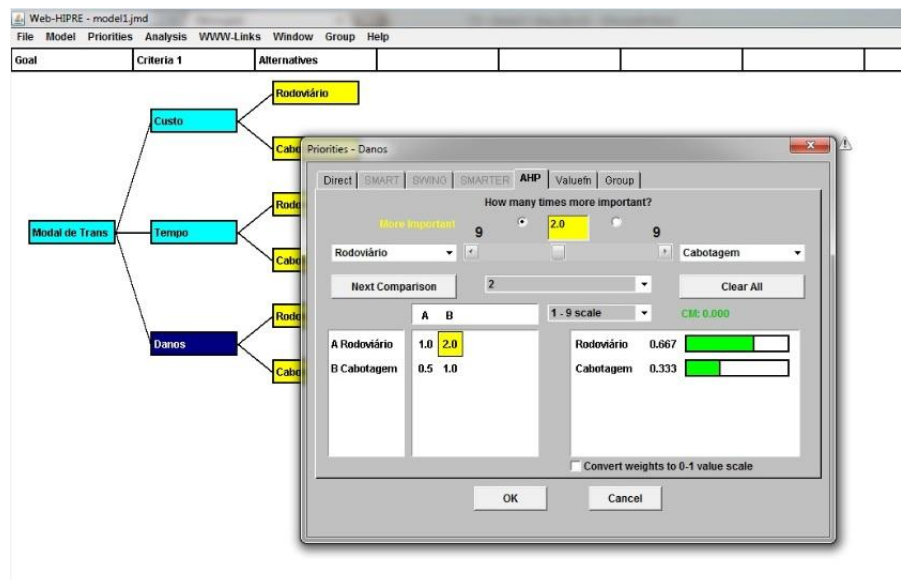


Figura 16: Matriz de comparação paritária: critério – danos (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

E para o último critério, o risco de danos ao material transportado, observa-se pela Figura 16 que o modal rodoviário teve uma maior importância com relação à cabotagem. Isso

ocorre porque nosso país não tem estradas adequadas para o transporte de cargas como as pás e hubs eólicos, fazendo com que o risco de avarias à carga aumente consideravelmente quando utilizado este tipo de modal. Além disso, a frota brasileira é bastante envelhecida, o que também representa um risco à integridade física da carga transportada.

Obviamente também existem riscos de danos no transporte via cabotagem, porém estes se resumem principalmente à carga e descarga do material, que é pesado e de geometria complexa, pois durante o trajeto espera-se que toda a carga esteja fixada de maneira apropriada.

Após esta primeira etapa, foi feita uma análise considerando que o projeto estivesse em suas condições ideais, ou seja, o cronograma estaria sendo cumprido à risca, as negociações com os fornecedores estariam em um estágio avançado ou já concluídas e o transporte já estaria prestes a começar.

Para este cenário ideal apresentado, algumas ponderações com relação aos critérios foram alteradas e são mostradas na Figura 17.

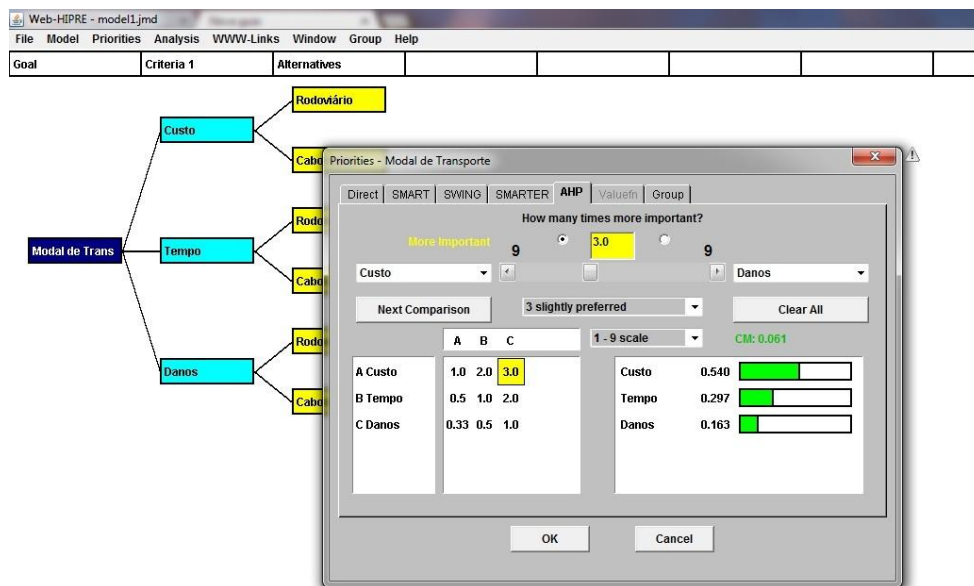


Figura 17: Matriz de comparação paritária ideal: modais de transporte (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

Como em praticamente todo projeto, seja ele de qual área for, o custo é o fator mais importante, pois naturalmente toda empresa tem como objetivo entregar o que foi combinado com o cliente tendo o menor custo possível, para que sua margem de lucro possa ser maior. Para a situação analisada, o custo é um fator bem crítico, pois os custos logísticos envolvidos

são bem altos. Seja utilizando ambos os modais ou apenas um deles, a complexidade envolvida é grande, o que encarece o transporte e reduz as alternativas viáveis.

O tempo, em condições ideais, não é um fator tão preocupante assim, pois todo cronograma tem alguma “folga” e partindo do pressuposto que tudo está de acordo com o planejado, não há necessidade de se preocupar tanto com este aspecto. Ainda assim, não podemos deixá-lo de lado, pois como já foi explicado anteriormente, pequenos atrasos podem gerar pesadas multas.

Com relação aos possíveis danos causados, de acordo com a experiência do coordenador de logística, desde que não haja nenhuma situação anormal, as avarias sofridas podem ser reparadas sem que o funcionamento do produto seja comprometido. Para isso, a empresa mantém uma equipe no *site* do projeto para fazer os reparos nos equipamentos (principalmente as pás).

A partir daí, depois de todas as análises feitas, tomando como base a situação real e a ideal, foi feita uma análise de sensibilidade utilizando também o software Web Hipre. Nas Figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23, tem-se as análises relacionadas a cada um dos critérios.

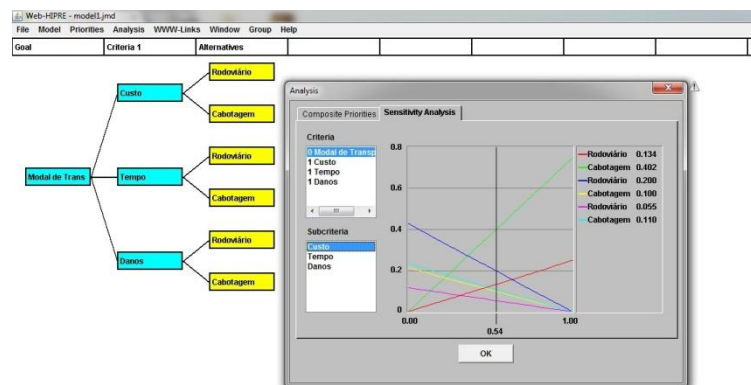


Figura 18: Análise de sensibilidade: situação ideal – critério custo (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

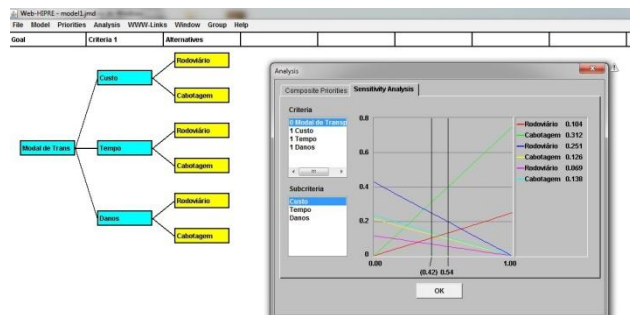


Figura 19: Análise de sensibilidade: comparação ideal x real – critério custo (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

As Figuras 18 e 19 referem-se ao critério Custo. Na Figura 18 está representada uma situação otimista, onde o cronograma está sendo seguido conforme planejado. A linha preta vertical vista no gráfico, que tem como valor 0,54, representa a importância deste critério com relação aos outros no que diz respeito à análise global do objetivo, como também pode ser visto na Figura 17. Alterando a posição desta linha é possível fazer uma comparação para verificar qual a influência que este exerce na escolha das alternativas. É importante notar que a lista de modais que se repete à direita mostra o comportamento de cada modal analisado em cada um dos três critérios. É interessante perceber também que a soma dos valores dos modais é igual a 1, mostrando o quanto cada alternativa influencia no critério em análise.

A partir daí, na Figura 19, criou-se outra linha vertical com o valor 0,42, que é a importância do critério na situação real, conforme observado na Figura 13. Então, com as duas representações no mesmo gráfico, fica mais fácil observar se a diferença entre as duas situações resulta em alguma mudança significativa nos resultados obtidos.

Neste caso, não houve grandes alterações, porém observa-se uma redução da importância do custo da cabotagem e um aumento da importância do tempo do transporte rodoviário.

A seguir, foi feita a mesma análise para os outros dois critérios, de acordo com o procedimento citado acima. Nas Figuras 20 e 21, a análise é feita para o critério Tempo.

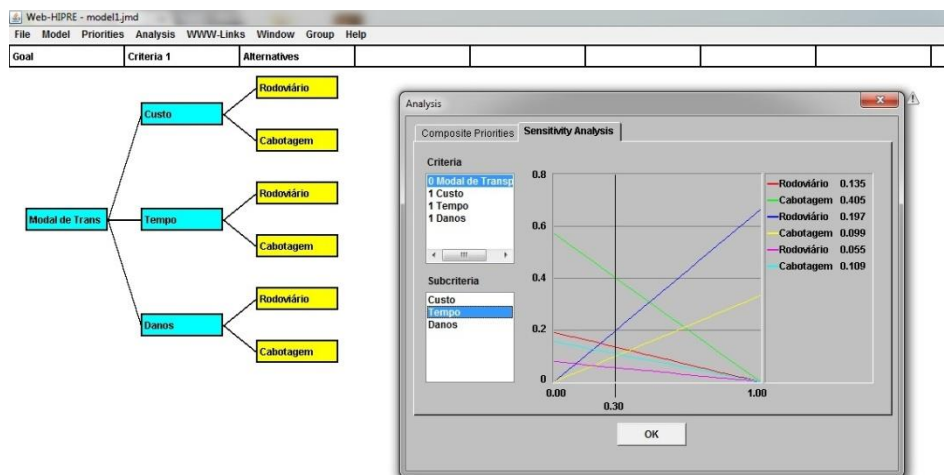


Figura 20: Análise de sensibilidade: situação ideal – critério tempo (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

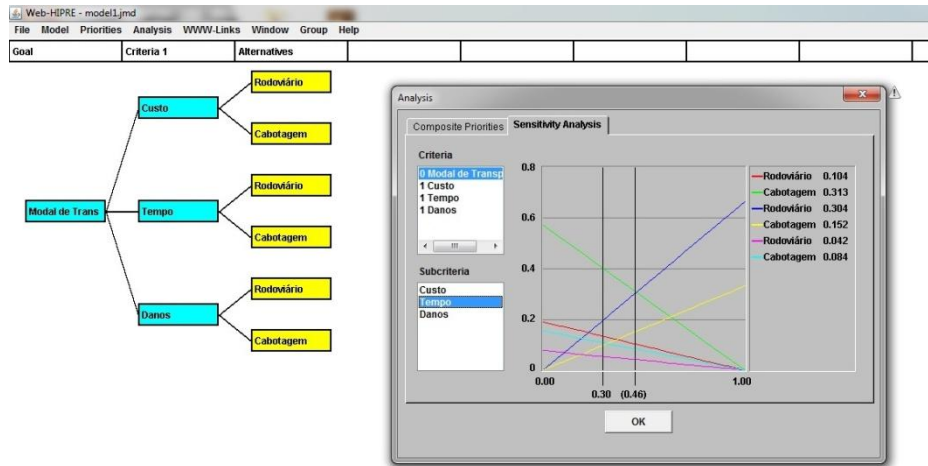


Figura 21: Análise de sensibilidade: comparação ideal x real – critério tempo (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

Para este caso, observa-se que o aumento da importância do critério Tempo (de 0,30 para 0,46) na situação real acaba ocasionando uma maior influência do tempo gasto no transporte rodoviário e uma diminuição da influência do custo da cabotagem, enquanto que os outros fatores não sofreram grandes alterações.

Nas Figuras 22 e 23, observam-se as considerações feitas para o critério Danos.

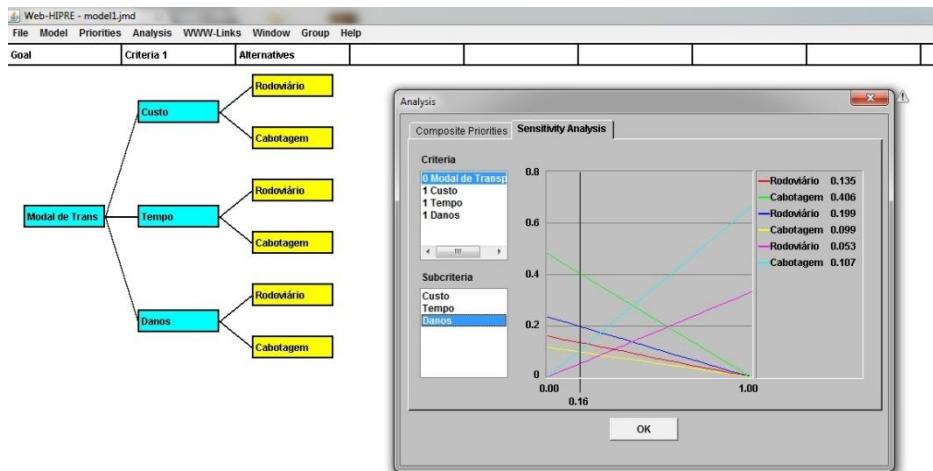


Figura 22: Análise de sensibilidade: situação ideal – critério danos (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

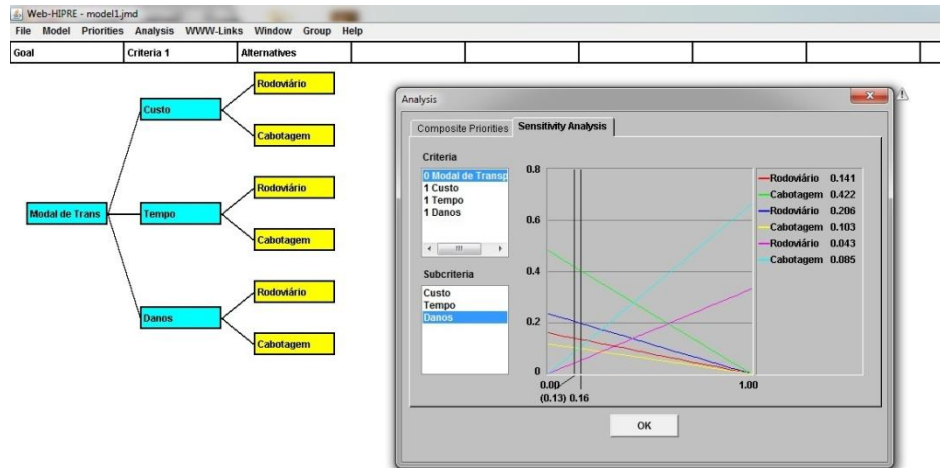


Figura 23: Análise de sensibilidade: comparação ideal x real – critério danos (Fonte: <http://hipre.aalto.fi>)

Nesta situação, a mudança entre o real e o ideal é bem pequena (de 0,16 para 0,13), o que resulta em pequenas mudanças que não interferem na análise global. Portanto, para este critério, as características encontradas são as mesmas para ambos os casos.

Com todas estas informações reunidas de forma mais organizada e clara, fica mais fácil para o gestor embasar suas decisões, tendo um respaldo teórico. Por meio dos dados coletados, através dos custos levantados através de cotações, dos estudos de rota feitos para definição do trajeto ideal ou de informações sobre o histórico de acidentes com cargas deste tipo, foi possível elaborar esta análise.

Como já se explicou anteriormente, este é o primeiro projeto eólico realizado pela empresa no Brasil e, além disso, os atrasos no cronograma impediram que as transportadoras fossem contratadas dentro do período estipulado, ocasionando, conseqüentemente, atraso no início dos transportes, o que foi bastante prejudicial para a realização deste estudo, pois o encerramento do estágio na empresa ocorreu antes do previsto, causando a falta de informações sobre o transporte. Para compensar estas dificuldades, foi feita uma análise de sensibilidade comparando o cenário ideal com o apresentado durante este projeto, simulando assim o comportamento de cada modal, supondo que não houvesse nenhum fator complicador e que tudo estivesse correndo conforme o planejado inicialmente.

Porém, mesmo com os imprevistos que aconteceram durante o trabalho, foi possível encontrar um modelo teórico sólido para que as próximas decisões sejam mais confiáveis, fazendo com que o conhecimento prático una-se ao conhecimento teórico adquirido.

5. CONCLUSÕES

5.1 Verificação dos objetivos

Por meio deste trabalho, foi possível observar e compreender as dificuldades por trás da tomada de decisão na escolha do modal a ser utilizado para o transporte eólico, visando sempre a reduzir custo, tempo e risco de danos à carga.

Mapeando o processo atual, com o intuito de verificar quais processos são de responsabilidade do departamento de logística, conseguiu-se entender a metodologia empregada até então, levantando os pontos positivos e negativos existentes, o que ajudou a decidir qual a abordagem mais correta a ser tomada para a análise deste caso.

A partir dos resultados obtidos, ficou evidente que a aplicação do método AHP foi de grande valia para o estudo realizado, uma vez que esta metodologia se mostrou ser bastante eficaz no que diz respeito à comparação dos fatores analisados. Utilizando o AHP, foi possível simplificar um problema que, à primeira vista, era bastante complexo e de difícil compreensão, transformando-o em algo mensurável e de prática resolução. Além disso, a implementação deste projeto irá gerar uma maior padronização dos processos, diminuindo a dependência dos conhecimentos do gestor da área.

Assim, a análise se torna muito mais rápida e a decisão consegue ser tomada de maneira muito mais prática e confiável, poupando bastante tempo dos coordenadores, gerentes e diretores da empresa, o que traz vantagens que não estão apenas relacionadas às decisões logísticas, uma vez que a gerência poderá concentrar seus esforços em decisões mais estratégicas.

Portanto, partindo destes fatos, pode-se afirmar que a partir da utilização de dados reais dos primeiros projetos que estão sendo realizados no Brasil, é possível criar um modelo bastante confiável para determinar quais são as alternativas de transporte que deverão ser usadas para cada projeto em específico, pois devido à extensão territorial e à complexidade do transporte no país, os fatores críticos podem variar de acordo com a localização dos *sites* onde serão construídos os parques eólicos.

5.2 Recomendações para futuros trabalhos

A primeira ideia para dar continuidade a este trabalho é a finalização do AHP, atualizando os dados reais do projeto em questão. A partir daí, é extremamente importante que exista uma atualização constante das informações coletadas. Por ser uma alternativa aos tipos de geração de energia convencionais que chegou há pouco tempo no país, o mercado de energia eólica vem sofrendo freqüentes mudanças e, por isso, há a necessidade de uma periódica revisão das constatações feitas, garantindo que as considerações realizadas são condizentes com a realidade do momento.

A próxima etapa seria o acréscimo de novas variáveis na aplicação do método AHP. Neste primeiro momento, determinou-se que era mais importante focar em poucos critérios para que estes fossem analisados de maneira mais profunda, e também para verificar se este método seria eficaz na avaliação das condições dos modais de transporte. Como ficou comprovado que a iniciativa de aplicar o AHP trouxe maior agilidade e embasamento teórico para a escolha do modal de transporte a ser utilizado, observa-se um potencial interessante a ser explorado, na medida em que novas informações podem ser adicionadas na análise, tornando mais precisa e confiável a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAS, H.; ERDOGMUS, S.; KOÇ, E.; **Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process.** *Renewable Energy*, vol. 29, p. 1383-1392, 2004.

ARMACOST, R.; HOSSEINI, J.; **Identification of determinant attributes using the analytic hierarchy process.** *Journal of the Academy of Marketing Science*, Sage Publications, v. 22, p. 383-393, 1994.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D.J.; **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento.** São Paulo: Atlas, 2009.

BRYSON, N.; **Group Decision-Making and the Analytic Hierarchy Process: Exploring the Consensus-Relevant Information Content.** *Computer Operations Research*, Pergamon, vol. 23, n. 1, p. 27-35, 1996.

CAMPOS, L. P. G.; RISSARDO, A. C. **Tipos de transportes especiais de carga.** Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/20533/nt114.pdf>> Acesso em 03/12/2012.

CHEDID, R.; AKIKI, H.; RAHMAN, S.; **A Decision Support Technique for the Design on Hybrid Solar-Wind Power Systems.** *IEEE Transaction on Energy Conversion*, vol. 13, n. 1, pp. 76-83, 1998.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços.** 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1999.

CORRÊA, H. L. **Gestão de redes de suprimento: integrando cadeias de suprimento no mundo globalizado.** São Paulo: Atlas, 2010

COYLE, J. J.; BARDI, E. J.; NOVACK, R. A. **Transportation.** 6 ed. Westford: South-Western, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Resolução 11.** 2004.

DYER, R. F.; FORMAN, E. H.; et al. **Decision support for media selection using the analytic hierarchy process.** *Journal of Advertising*, CTC Press, vol. 21, n. 1, p. 59-73, 1992.

EMSHOFF, J. R.; SAATY, T. L.; **Applications of the Analytic Hierarchy Process to Long Range Planning Processes.** *European Journal of Operations Research*. North-Holland, vol. 10, p. 131-143, 1982.

FIGUEIRA, J; GRECO, S; EHRGOTT, M (Orgs.). **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys.** New York: Springer, 2005.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos.** 1. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

Global Wind Report 2011: annual market update. Global Wind Energy Council. Brussels, 2011.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos.** São Paulo: Thomson, 2004.

GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I. R.; **Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP).** Transportes, Rio de Janeiro. v. 6, n. 1, 2010.

HARRISON, J. D. Onshore wind power systems (ONSWPS): A gis-based tool for preliminary site-suitability analysis. Tese (mestrado). USC – University of Southern California, 2012.

HO, W. **Integrated analytic hierarchy process and its applications – a literature review.** *European Journal of Operational Research*, v. 186, pp. 211-228, 2008.

JOHNSON, R.; SRINIVASAN, V.; et al. **Sovereign debt ratings: A judgemental model based on the analytic hierarchy process.** *Journal of International Business Studies*, v. 21, n.1, p. 95-119, 1990.

Pesquisa CNT de rodovias: relatório gerencial. CNT, SEST, SENAT. Brasília, 2012.

Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação da Mudança do Clima – PSTM. Ministério dos Transportes e Ministério das Cidades, Brasília, 2012.

REN21. **Renewables 2012 Global Status Report.** Paris, 2012.

SAATY, T. L. **Scaling method for priorities in hierarchical structures.** *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, p. 234-281, 1977.

SALOMON, V. A. P. **Contribuições para validação de tomada de decisão com múltiplos critérios.** Tese (Livre-Docência) – Programa de Livre-Docência em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Guaratinguetá, 2010.

SHIMIZU, T. **Decisão nas Organizações.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006

WEB-HIPRE VERSION 1.22 [Online] 2007. <http://hipre.aalto.fi>.