

Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias

Fernanda Genova Martins (PROMINP – PR/Brasil) - fernanda_g_martins@hotmail.com
• Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Av. Imaculada Conceição, 1155, 80215-901, Curitiba-PR
Prof. Dr. Leandro dos Santos Coelho (PPGEPS – PR/Brasil) - leandro.coelho@pucpr.br

RESUMO O objetivo deste trabalho é estudar o método da Análise Hierárquica de Processo (*Analytic Hierarchy Process, AHP*), uma metodologia de apoio à tomada de decisão multicritério, e aplicá-la na área planejamento de Ordens de Manutenção (OMs) de Faixa de Servidão dutoviárias. Para isso, este trabalho apresenta um modelo para a aplicação do AHP. Em seguida, um método para hierarquizar o problema enunciado foi abordado, o qual possui alternativas que se encontram no conjunto da avaria de Baixa Cobertura, restritas a cruzamentos, dentre as diversas avarias apresentadas no artigo, que podem ser encontradas numa inspeção de Faixa de Servidão. A técnica AHP mostrou-se simples, de fácil uso e adequada.

Palavras-chave Técnica AHP; ordens de manutenção; dutovias.

ABSTRACT *The objective of this paper is to study the Analytic Hierarchy Process (AHP), a methodology for multi-criteria decision support and applying it to the planning area of pipeline right-of-way Maintenance Orders. Therefore, this work presents a model for the application of the AHP. Following this, a method to hierarchize the above stated problem was described, which provides alternatives that are found in the Low Cover damage, restricted to crossings, among several damages presented in the article, which can be found in a right-of-way inspection. The AHP technique demonstrated itself to be simple, easy to use and adequate.*

Keywords *AHP technique; maintenance orders; pipelines.*

1. INTRODUÇÃO

O modelo racional de tomada de decisão, geralmente é descrito como um processo de construção de opções, em que se calculam níveis de risco e escolhe-se a alternativa que tiver maiores chances de sucesso. Esse modelo identifica o processo decisório como uma questão de maximização de utilidades, incorporando a racionalidade econômica. A teoria clássica da decisão admitia que os tomadores de decisão são: (i) inteiramente informados quanto a todas as opções possíveis para sua decisão, (ii) infinitamente sensíveis às sutis diferenças entre as opções de decisão e (iii) totalmente racionais quanto à sua escolha de opções (LÖBLER, 2005).

Uma crítica desfechada contra o modelo racional de tomada de decisões, foi realizada por Simon (1945). Descrevendo os fatores que afetam as decisões na vida real, Simon (1945) propôs uma teoria da racionalidade limitada, isto é, os administradores tomam as decisões mais racionais que podem, dentro das restrições impostas por informações e capacidades limitadas. O modelo que germinou da visão de Simon e seus colaboradores foi o da decisão como satisfatória. A alternativa escolhida, normalmente representa apenas a mais adequada entre as disponíveis, e, portanto, não representa a intenção de se atingir os objetivos visados em toda a sua plenitude (MARCH e SIMON, 1966).

Ensslin *et al.* (1995) mencionam que a tomada de decisão, ou seja, o processo decisório, consiste de um inter-relacionamento entre as pessoas, com a presença de diversos fatores intuitivos, provenientes de experiência pessoal e personalidades envolvidas no processo decisório, onde a importância destes fatores, na qualidade de decisão, diferenciam o bom do mau decisor. Em outras palavras: o processo decisório significa optar entre diversas alternativas viáveis oferecidas e, muitas vezes, é influenciado pela qualidade de informações, fluxo de informações, recursos e tempo disponíveis.

Atualmente, muitas decisões no meio industrial são complexas, pois combinam vários fatores ou alternativas, que dificultam a tomada de decisão, até mesmo por parte de especialistas. A teoria da decisão, aliada à aplicação da Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios (*Multiple Criteria Decision Making, MCDM*), é pertinente em situações em que se necessita da análise de múltiplos (dois ou mais) critérios, ou múltiplos atributos.

A MCDM se molda adequadamente às situações em que nem os dados relacionados ao problema de decisão a ser resolvido podem ser quantificados, por medição ou estimativa, e envolvendo alguns fatores de natureza qualitativa.

Os principais métodos empregados para MCDM são os seguintes: o MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*), de difícil aplicação prática, devido ao seu rigor quanto à fundamentação teórica, a Análise Hierárquica de Processo (*Analytic Hierarchy Process, AHP*) (SAATY, 1980; SAATY, 2001), de utilização largamente disseminada, Análise em Redes (*Analytic Network Process, ANP*) (SAATY, 1996), abordagem de Decisão Nebulosa (LIANG e WANG, 1991), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) proposto por Hwang e Yoon (1981). Além disso, neste contexto, diversos métodos de origem européia, tais como, o MCDA (*Multi-Criteria Decision Aid*), dos quais se destacam o ELECTRE (*Élimination et Choix Traduisant la Réalité*), o PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), proposto por Bana e Costa *et al.* (1994), e o GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) têm sido explorados por pesquisadores.

Cada um desses métodos envolve um diferente processo de modelagem, ou seja, uma representação simplificada da realidade, por meio da qual se procura identificar e destacar os elementos mais importantes à tomada de decisão.

O foco deste artigo é o da utilização do método AHP. O uso do AHP, como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, pode tornar o processo decisório mais eficaz e claro, pois assim, as decisões não serão tomadas de maneira subjetiva e, sim, serão tratadas de forma matemática, minimizando os erros agregados.

O AHP foi escolhido pela sua simplicidade no uso e fácil entendimento do método. Segundo Cavassin (2004), não existe, na prática, um procedimento consolidado para gerar os objetivos, critérios e alternativas e, assim, construir uma hierarquia. Isso depende dos objetivos escolhidos para decompor a complexidade daquele sistema. Isto é, a aplicação do AHP, por ser flexível e se aplicar a diferentes situações, e, portanto, cada caso apresenta suas particularidades.

Na literatura recente, vários autores destacam a importância da utilização do método AHP, em problemas de tomada de decisão, em diversas áreas, tais como: monitoração da satisfação de clientes (CRUZ JUNIOR e CARVALHO, 2003), estruturação de prioridades em uma rede de co- operação empresarial (TÁLAMO e CARVALHO, 2004), avaliação de desempenho no setor automotivo (RAFAELI e MÜLLER, 2007), controle de qualidade industrial (BADRI, 2001), seleção de estratégias de reparo e manutenção (BERTOLINI e BEVILACQUA, 2006), auxílio à tomada de decisão na área de manufatura (VAN DE WATER e VAN PEET, 2006), priorização de atividades em cadeias de suprimentos (CHAN *et al.*, 2005), seleção de fornecedores (SAEN, 2007), controle de qualidade (SU e CHOU, 2008), gerenciamento de risco em cadeias de suprimentos, localização de facilidades (PARTOVI, 2006), planejamento de fabricação (LEE *et al.*, 2006), impacto ambiental do processamento de materiais (ONG *et al.*, 2001), sistemas elétricos de potência (CHATZIMOURATIDIS e PILAVACHI, 2009), avaliação de investimentos (LEE *et al.*, 2011), análise de sustentabilidade da indústria de concreto (HENRY e KATO, 2011), análise de células combustível (HOU *et al.*, 2011), planejamento de produtos (LEE e HWANG, 2010), engenharia nuclear (LEE e HWANG, 2010), engenharia do petróleo e gás (YANG *et al.*, 2011), entre outros. Um apanhado recente de aplicações do AHP é apresentado em Vaidya e Kumar (2006) e Ho (2008).

Gomes (2004) *apud* Lopes (2004) divide o estudo do processo utilizado pelo método AHP, em duas etapas: (i) a estruturação hierárquica do problema de decisão e (ii) a modelagem do método propriamente dito.

O objetivo deste artigo é contextualizar a metodologia de apoio à tomada de decisão multicritério, AHP, e avaliá-la para o planejamento de Ordens de Manutenção (OMs) de Faixa de Servidão dutoviárias. Além disso, este trabalho ainda contém objetivos específicos, tais como: (i) apresentar uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de Integridade de Dutovias; e (ii) apresentar uma breve revisão bibliográfica sobre o método AHP.

Uma das vantagens do método multicritério AHP é a semelhança (inspiração) com o funcionamento do cérebro humano, ou seja, quando uma pessoa (decisor/julgador) está diante de uma decisão complexa, a mente agrega os elementos em grupos, de acordo com suas propriedades, de forma a facilitar a estruturação do raciocínio para a tomada de decisão. São estes agrupamentos que podem ser descritos como hierarquias. A hierarquia pode ser dividida em níveis: (i) na hierarquia mais alta, é estabelecida a meta da decisão; (ii) nos pontos centrais, são estabelecidos os fatores e subfatores e (iii) no final da hierarquia, são exibidas as alternativas para a decisão (THOMAZ, 2006).

Apesar de suas vantagens, para Ayag (2005), a aplicação do AHP tem algumas limitações, por exemplo, o método não faz exame no cliente da incerteza associada ao julgamento (escala) e ainda, a seleção e a preferência dos responsáveis são subjetivas e suas decisões têm uma influência significativa nos resultados de AHP.

Assim, a justificativa para a utilização do AHP é que este contribuirá para uma análise bem fundamentada, uma sistematização para a criação das OMs da faixa de servidão de dutovias, classificando as prioridades dentro de um conjunto de avarias, isto é, classificando alguns dos problemas encontrados na inspeção a pé, que forem considerados de maior relevância. A contribuição do método AHP é quanto a uma adequada estruturação do problema de geração de OM, quanto à quantificação e relacionamento entre os seus elementos.

O restante do artigo está estruturado da seguinte forma. Na próxima seção, são apresentados os principais conceitos utilizados na área de Integridade de dutovias e sobre o método AHP. A seguir, é proposto um estudo de caso, onde é realizada a descrição da metodologia e a estruturação do problema. Finalizando o artigo, são discutidos os resultados obtidos e as considerações finais.

2. CONSIDERAÇÕES FUNDAMENTAIS QUANTO ÀS DUTOVIAS E INSPEÇÕES

Nesta seção, são apresentados alguns conceitos necessários para a compreensão do trabalho proposto. Primeiro, definem-se os Dutos e a Faixa de Servidão; depois, tem-se a apresentação das ameaças em potencial para a Integridade dos mesmos, as características de um Programa de Integridade, as Inspeções direcionadas à Faixa de Servidão, os tipos de avarias encontrados nessas inspeções, como é realizado o gerenciamento das OMs e, por último, o método AHP.

Os dutos são utilizados como via de transporte e podem ser classificados, de acordo com a substância a ser transportada, sua finalidade e seu lançamento. Para Martins (2006), quanto às substâncias a serem transportadas, estas podem ser:

- a) Oleodutos: cujos produtos transportados são em sua grande maioria: petróleo, óleo combustível, gasolina, *diesel*, álcool, GLP (gás liquefeito de petróleo), querosene, nafta e outros;
- b) Minerodutos: cujos produtos transportados, são: sal-gema, minério de ferro e concentrado fosfático;
- c) Gasodutos: cujo produto transportado é o gás natural.

Segundo Fornasari Filho (1992), os dutos são constituídos por segmentos sucessivos de tubos (que podem ser aço, concreto, materiais plásticos, entre outros) conectados entre si, que interligam os pólos de origem e destino dos materiais. O diâmetro do tubo varia de acordo com o volume do material transportado, além da distância e custo. Quanto à finalidade, de acordo com o Glossário de Termos da PUC-Rio, os dutos se dividem em:

- a) Dutos de Coleta e Distribuição: abrange dutos de coleta de óleo (entre estações coletoras e de tratamento) e gás (entre estações coletoras e de compressão), dutos de distribuição de gás para gás *lift* e injeção (da estação de compressão até o satélite de gás) e dutos de distribuição de água para injeção (da estação de injeção de água até o satélite);
- b) Dutos de Transferência: engloba oleodutos, interligando parques de armazenamento; oleodutos entre parques e clientes externos; gasodutos, interligando estações de compressão; gasodutos entre estações de compressão e de tratamento; e gasodutos entre estações de compressão/tratamento e clientes externos.

Podem ainda, os dutos serem classificados em duto enterrado (lançado sob o solo), submerso (lançado no leito marinho/rios) e aéreos.

A Faixa de Servidão é a região que compreende, geralmente, uma extensão de 15 a 30 metros, acima do duto e tem a função de proteger a estrutura e ainda:

- Delimitar o traçado do gasoduto;
- Identificar os locais de instalação dos equipamentos de controle e operação;
- Impedir escavações, construções, ocupações e obras, em geral, no limite da Faixa;
- Orientar os proprietários/vizinhos da Faixa.

Pode-se identificá-la facilmente, no campo, por uma série de marcadores e sinalizações, como:

- Marcos quilométricos;
- Placas para identificar cruzamento com rodovias, ferrovias e linhas de transmissão, travessias de rios, lagos e lagoas;
- Marcos delimitadores dos limites da Faixa.

2.1. Categorias de ameaça em potencial para a Integridade

Segundo a ASME B31.8S-2004 (2004), o primeiro passo para poder evitar acidentes, é identificar as ameaças à Integridade do gasoduto. Os acidentes em gasoduto foram analisados e classificados por um Comitê Internacional – *Pipeline Research Committee International* – e identificaram 22 causas para acidentes. Uma das causas reportadas é a “Desconhecida”; as outras 21 estão classificadas em nove categorias, que são as seguintes.

- Corrosão externa;
- Corrosão interna;
- Corrosão sob tensão;
- Defeitos de fabricação no duto;
- Defeitos de fabricação na solda;
- Falha em equipamentos: eventos associados a defeitos ou mau funcionamento de válvulas, flanges e juntas, bem como desgaste ou fadiga do material;
- Falha operacional: eventos associados com falhas dos operadores, os quais podem ser decorrentes das atividades indevidas como, por exemplo, erros nas manobras de válvulas;
- Ações da natureza: eventos associados com ação da natureza, tais como: erosão, deslizamentos de terra ou movimentação do solo, catástrofes climáticas;
- Ações de terceiros: eventos associados desde a perfuração não intencional da linha por empreiteiras, durante obras de engenharia, na faixa do duto, até atos de vandalismo.

2.2. Programa de Integridade

Procurando impedir tais fatos, as empresas de transporte dutoviário executam uma série de procedimentos planejados, para evitar os acidentes e suas consequências. Para Correa e Ferreira (2004), o Programa de Integridade consiste de um conjunto de ações organizadas e gerenciadas, com o objetivo de aumentar a segurança operacional. As principais atividades em um programa de integridade, são:

- Avaliação do nível de corrosão dos produtos movimentados, teor de H₂O, CO, etc.;
- Programa de injeção de inibidores de corrosão;
- Acompanhamento da proteção catódica;
- Avaliação do revestimento externo;
- Programa de inspeção geotécnica das faixas;
- Avaliação da interação solo-duto;
- Atividades de acompanhamento do relacionamento com comunidades;
- Atividades de prevenção da ação de terceiros sobre os dutos;
- Programa de inspeção com PIG instrumentado;
- Análise e gerenciamento de defeitos;
- Execução de reparos;
- Teste hidrostático;
- Análise de risco e confiabilidade;
- Gerenciamento das atividades anteriores e, conseqüentemente, definição das condições operacionais.

As causas mais frequentes de acidentes em dutos, são as Corrosões e as Ações de Terceiros, sendo estas últimas, junto às Ações da Natureza, as ameaças que estão diretamente relacionadas à Faixa de Servidão.

A ameaça por terceiros é independente do tempo; então, mesmo em trechos sem o histórico de acidentes, os danos podem ocorrer. É necessário um forte programa de prevenção, incluindo inspeções e conscientização, especialmente para áreas de risco, com usos de solo específicos, como áreas de agricultura ou exploração mineral.

Para as ações da natureza, o programa que visa à integridade, deve estabelecer critérios e rotinas para o mapeamento, classificação, inspeção, monitoramento e manutenção ao longo das faixas de dutos.

2.3. Inspeções direcionadas à Faixa de Servidão

O objetivo das ações de integridade é reduzir o potencial de acidentes e, portanto, aumentar a segurança à pessoa, ao meio ambiente e ao próprio duto. Dentro desse conjunto, a inspeção tem um papel fundamental, desde a fase de projeto até a fase de operação, passando pela implantação.

Um estudo ambiental, geológico e geotécnico, para o traçado do gasoduto, pode minimizar as dificuldades relacionadas às áreas sensíveis, como erosões, movimentações de solo e outros. Entretanto, isso não diminui a importância da inspeção na fase de operação, que são principalmente:

- Inspeção geológica-geotécnica das faixas;
- Avaliação da interação solo-duto;
- Atividades de prevenção da ação de terceiros sobre os dutos.

Na empresa estudada, as inspeções podem ser divididas de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Periodicidade das inspeções.

Tipo de Inspeção	Frequência
Inspeção a pé por andarilho	Semestral
Inspeção de pontos notáveis e pontos extras	15 dias a 4 meses
Inspeção de travessias	Anual
Inspeção subaquática de rios	Anual
Inspeção aérea	Quadrimestal

Fonte: Controle das Atividades de Faixa.

As ações de conscientização se dividem em: Simulados de emergência, realizados pela empresa com a participação de moradores da região, Prefeitura, Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, Exército, Marinha, Polícias Ambiental e Rodoviária. Neste contexto, visitas às comunidades próximas à Faixa de Servidão, concessionárias, prefeituras, escolas e propriedades localizadas na faixa de servidão, também podem ser úteis à determinação da periodicidade das inspeções.

2.4. Tipos de avarias

Os tipos de inspeções citados na tabela 1 podem encontrar as avarias mencionadas na tabela 2. Neste trabalho, o escopo é quanto à avaria baixa cobertura da categoria solo, restrita a cruzamentos. Entretanto, o método AHP pode ser abordado, de forma a envolver outras avarias ou até mesmo um conjunto delas.

Tabela 2 – Tipos de avarias.

Classificação	Tipos de Avarias	Classificação	Tipos de Avarias	
Cobertura Vegetal	Cobertura Vegetal Alta (>1m)	Drenagem	Bueiro Danificado	
	Árvore na Faixa		Caixa Danificada	
Cobertura Vegetal Ausente	Caixa Obstruída			
Sinalização	Placa de Sinalização Ausente		Canaleta Danificada	
	Cerca Danificada		Canaleta Obstruída	
	Chapéu Chinês Solto		Leira Danificada	
	Placa de Sinalização Danificada		Sistema Inadequado	
	Marco Ausente/Danificado		Solo	Baixa Cobertura
	Marco Sem Pintura			Buraco no Solo
Terceiro	Açude			Contenção Danificada
	Aterro	Deslizamento		
	Construção próxima à faixa	Erosão Pequena (<5m ³)		
	Escavação na Faixa	Erosão Grande (>20m ³)		
	Escavação fora da faixa	Erosão Média (>5m ³ e <20m ³)		
	Invasão da faixa	Fendas no Terreno		
	Material deixado sobre a faixa	Risco de Deslizamento		
	Mal posicionado	Recalque		
	Plantação não Permitida	Tube Exposto		
	Trânsito sobre a faixa			

Fonte: Relatório de Avarias.

3. MÉTODO AHP

O AHP, proposto em Saaty (1980), é uma ferramenta de tomada de decisões, que pode auxiliar no ajuste de prioridades e torna a decisão racional e não intuitiva e subjetiva. Segundo mencionado por Ceolim (2005), a aplicação desse método permite organizar hierarquicamente problemas complexos, envolvendo vários critérios, vários decisores, sendo um processo flexível, que usa a lógica e ao mesmo tempo, a intuição.

De acordo com Lucena (2003), o AHP tem como base a representação de um problema, através da sua estruturação hierárquica, para priorizar fatores quantitativos ou qualitativos na análise de alternativas. Este processo segue quatro etapas básicas: estruturação hierárquica; comparação paritária dos elementos em cada nível do sistema; princípio da priorização e síntese de prioridades.

Segundo Chan e Chan (2004), somado às vantagens de simplicidade, fácil uso e capacidade de lidar com estruturas complexas, existem três vantagens que diferenciam o AHP de outros métodos de tomada de decisões: (i) habilidade de lidar com atributos tangíveis e intangíveis, (ii) habilidade de estruturar problemas de forma hierárquica e (iii) habilidade de monitorar a consistência com que um decisor faz um julgamento.

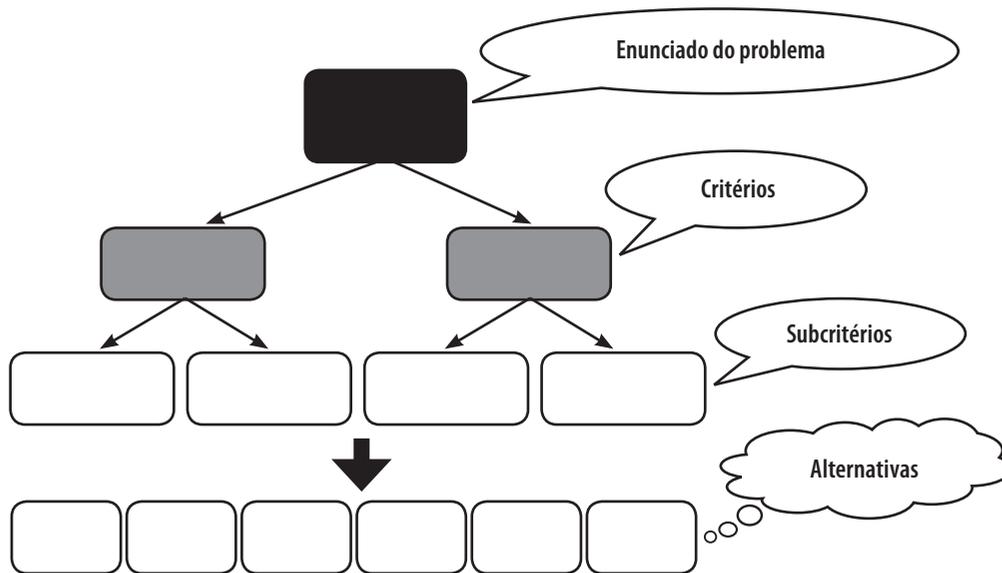
Apesar das vantagens, Thomaz (2006) descreveu uma série de críticas ao AHP, como: conversão de escala verbal para numérica, baseada em pressupostos não testados, possibilidade de inconsistências nos julgamentos e grande número de comparações.

De acordo com Silva e Belderrain (2005), sua aplicação da AHP pode ser dividida em etapas de estruturação hierárquica do problema de decisão e modelagem do método propriamente.

O início da hierarquia, no método AHP, representa um critério de síntese ou objetivo global, enquanto nos níveis sucessivamente inferiores colocam-se os critérios que apresentam algum impacto no critério do nível superior (LOPES, 2004).

De acordo com Cavassin (2004), esta hierarquização possibilita, ainda, estudar as interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema. A estrutura de uma hierarquia simples para o método AHP é mostrada na figura 1.

Figura 1 – Representação de uma estrutura hierárquica.



Fonte: Elaboração dos autores

Para que a modelagem seja bem feita, na construção das hierarquias devem ser incluídos todos os detalhes relevantes para a representação do problema, considerando o ambiente que envolve o problema e envolvendo todos os tomadores de decisão. Caso haja um aumento das informações disponíveis ou mudança ambiental significativa, pode-se tornar necessário reestruturar a árvore hierárquica, para conter os novos elementos (CRUZ JUNIOR e CARVALHO, 2003).

A etapa seguinte é a modelagem do método, podendo ser dividida em:

- 1) Construção da matriz de preferências, onde cada par de critérios é comparado, quanto à importância, numa escala de 1 a 9, denominada Escala Fundamental, proposta por Saaty (1980), conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Escala Fundamental de Saaty.

Nível de preferência	Valor	Nível de preferência	Valor
Igualmente preferido	1	Fortemente preferido	5
Igual/Moderadamente preferido	2	Forte/ Muito fortemente preferido	6
Moderadamente preferido	3	Muito fortemente preferido	7
Moderado/Fortemente preferido	4	Muito forte/Extremamente preferido	8
		Extremamente preferido	9

Fonte: LOPES (2004).

Para Devincenzi (2004), o número de julgamentos necessários para a construção da matriz é $n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos da matriz A .

- 2) Normalização da matriz, o que constitui na divisão de cada elemento da matriz pela soma da coluna a que pertence.
- 3) Obtenção da média de cada critério, chamado de vetor, isto é, altera-se o valor em fração para decimal e se encontra a média aritmética de cada linha. Para Lopes (2004), o resultado será um vetor representando um dado critério.

Segundo Devincenzi (2004), existem vários ambientes comerciais de *software* (*Expert Choice*, MATLAB, MATCAD, entre outros) capazes de calcular o vetor de uma matriz. Contudo, há como estimá-lo, através de cálculos simples.

- 4) Geração da matriz de prioridades, através dos vetores encontrados, onde as linhas consistem as alternativas e as colunas, os critérios.
- 5) Construção da matriz de comparação dos critérios, repetindo os passos 2 e 3 e se terá como resultado um vetor que contém a média das preferências de cada critério.
- 6) Obtenção do resultado, multiplicando as duas matrizes (de prioridades e de critérios), que será um vetor com a quantificação final de cada alternativa.

Lembrando que, segundo Lopes (2004), o AHP tem um resultado numérico direto e pode ser utilizado em qualquer tomada de decisão, onde o decisor possa comparar as opções, segundo critérios previamente estabelecidos.

Uma vantagem do método AHP, em relação a outros métodos de MCDM, é que, na aplicação do AHP, é possível checar a qualidade dos dados de entrada. Ou seja, no método AHP, verifica-se a coerência dos julgamentos, com uma análise do autovalor, λ , da matriz de julgamentos. Caso todos os julgamentos sejam coerentes entre si, o autovalor máximo, $\lambda_{máximo}$, será igual à ordem da matriz (SALOMON e SHIMIZU, 2006).

O método AHP admite que a inconsistência pode ser inerente ao comportamento humano. Com isso, Saaty (1980) propõe o cálculo da Razão de Consistência (RC). De acordo com Devincenzi (2004), para testar a consistência da resposta, o que indica se os dados estão logicamente relacionados. Saaty (1980) propõe o seguinte procedimento:

- a) Estima-se inicialmente o autovalor ($\lambda_{\text{máximo}}$). A estimativa pode ser realizada pela seguinte equação: $\lambda_{\text{máximo}} = w.v$, onde w é calculado pela soma das colunas da matriz de comparações e o vetor prioridade v ;
- b) Calcula-se então, o Índice de Consistência (IC), através da seguinte expressão: $IC = (\lambda_{\text{máximo}} - n) / (n - 1)$.

Ainda para Devincenzi (2004), a partir do cálculo do IC , pode-se também, calcular a Razão de Consistência, RC . O RC é a razão entre o IC e um índice de Consistência Aleatória (CA), dada pela seguinte equação: $RC = IC / CA$.

O índice CA , apresentado na tabela 4, é proveniente de uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, geradas aleatoriamente, de tamanho até 15 por 15.

Tabela 4 – Valores de CA , em função da ordem da matriz.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: CAVASSIN (2004 *apud* SAATY 1992).

Considera-se aceitável uma razão de consistência menor que 0,10, isto é, quando o valor de IC for 10% ou menos do que o respectivo índice aleatório. No caso do índice de consistência se mostrar insatisfatório, as comparações referentes a esta matriz deverão ser revistas novamente (DEVINCENZI, 2004).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

A metodologia do AHP pode auxiliar na classificação dos itens da avaria baixa cobertura, especificamente para cruzamentos, para que, assim, sejam geradas as OMs de acordo com a gravidade. Isto é, o AHP serve para a ordenação dos problemas prioritários, para que o cronograma de realização das OMs tenha como prioridade as atividades mais relevantes.

Para o Glossário de Termos da PUC-Rio (2007), Cruzamento é a obra correspondente à passagem do duto por rodovias, ferrovias, ruas ou avenidas, linhas de transmissão, outros dutos e/ou instalações subterrâneas já existentes.

As variáveis consideradas relevantes são:

- a) Altura da cobertura – ou profundidade da mesma, considerando as coberturas entre 1,0 e 1,5 metros (1.1 na figura 2) e abaixo de 1,0 metros (1.2);
- b) Classe de locação – para a norma ASME B31.8, é definida como a descrição geral de uma área geográfica que tem certas características, como base para prescrição dos tipos de projeto, construção e métodos de teste a ser utilizado. Pode ser classificada de acordo com a tabela 5;
- c) Tipo de Estradas – refere-se às características de tráfego da estrada, que podem ser pequeno - 3.1, mediano - 3.2, alto - 3.3). De acordo com o tipo de estrada, tem-se os veículos que transitam sobre as mesmas.

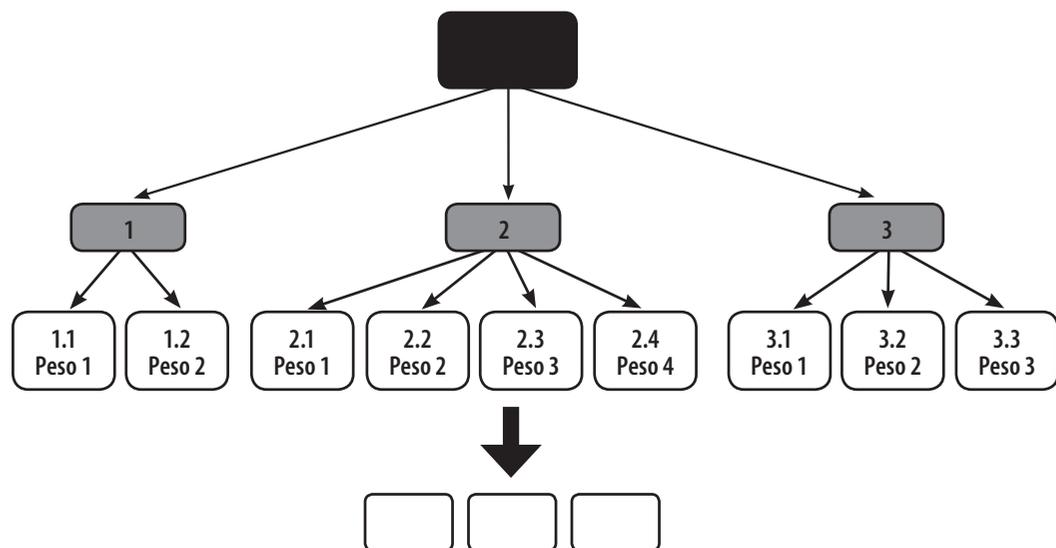
Tabela 5 – Classe de locação.

Classe de locação	Descrição	Item na figura
Classe de Locação 1	Seção de 1 milha, que tem 10 ou menos edifícios projetados para ocupação humana. Tem o propósito de corresponder a áreas, como terras improdutivas, desertos, montanhas, pastos, terras de fazendas e áreas escassamente povoadas.	2.1
Classe de Locação 2	Seção de 1 milha que tem mais que 10 e menos que 46 edifícios projetados para ocupação humana. Tem a intenção de corresponder a áreas onde o grau de população é intermediário entre Classe de Locação 1 e Classe de Locação 3, como áreas periféricas ao redor de grandes cidades e pequenas cidades, áreas industriais, fazendas ou propriedades rurais, entre outros.	2.2
Classe de Locação 3	Seção de 1 milha, que tem 46 ou mais edifícios projetados para ocupação humana, exceto quando a Classe de Locação 4 prevalecer. Tem a intenção de corresponder a áreas tais como, desenvolvimentos de moradia suburbanos, <i>shopping</i> , áreas residenciais, áreas industriais e outras áreas povoadas, que não satisfazem as exigências de Classe de Locação 4.	2.3
Classe de Locação 4	Áreas onde edifícios de apartamentos são prevaletentes e o tráfego é pesado ou denso e pode haver numerosas outras instalações subterrâneas. De apartamentos quer dizer 4 ou mais andares sobre o solo, inclusive o primeiro ou andar térreo. A profundidade dos porões e o número de andares subterrâneos são irrelevantes.	2.4

Fonte: American Society of Mechanical Engineers ASME B31.8 (2004).

A estrutura de uma hierarquia simples é mostrada na figura 2.

Figura 2 – Estrutura hierárquica do estudo de caso.



Fonte: Elaboração dos autores

Existe outra característica, como a existência de invólucro (conhecido como jaqueta de concreto, uma proteção de concreto que envolve o duto), que foi considerada como secundária. Isso porque a existência de um invólucro se dá devido ao tipo de estradas e a natureza da cobertura.

Há ainda, a natureza da cobertura, que se refere às propriedades da cobertura, que podem ser solos (areia, silte, argila, rocha, entre outros) ou pavimentos (concreto, CBUQ, entre outros). Essa característica não foi levada em consideração, pois assume-se que os pavimentos não apresentam baixa cobertura; então ela sempre se refere aos solos.

Também é importante observar que as OMs devem ser planejadas e programadas para serem executadas, atendendo um critério de logística de mobilização das Equipes (Rotina e Obras) e que a periodicidade de ações são variáveis para cada grupo de avarias. Porém, neste artigo, será relacionada apenas a avaria baixa cobertura.

O procedimento seguinte é a construção do modelo, podendo ser dividida nas seguintes etapas:

- 1) Construção da matriz de preferências e formação da matriz quadrada (ver tabela 6).

Tabela 6 – Matriz de Preferências – Critérios.

Matriz de Preferências - Critérios			
Critérios	Tipo de estrada	Classe de Locação	Altura da cobertura
Tipo de estrada	1	2,00	9,00
Classe de Locação	0,50	1	9,00
Altura da cobertura	0,11	0,11	1
Somatório (<i>w</i>)	1,61	3,11	19,00

Fonte: Elaboração dos autores

- 2) Normalização da matriz (ver tabela 7).

Tabela 7 – Normalização.

Normalização				
Critérios	Tipo de estrada	Classe de Locação	Altura da cobertura	Somatório
Tipo de estrada	0,62	0,64	0,47	1,74
Classe de Locação	0,31	0,32	0,47	1,11
Altura da cobertura	0,07	0,04	0,05	0,16
Somatório	1,00	1,00	1,00	3,00

Fonte: Elaboração dos autores

- 3) Obtenção do vetor (*v*) (ver tabela 8)

Tabela 8 – Obtenção do vetor.

Vetor Prioridade			
Tipo de estrada	Classe de Locação	Altura da cobertura	Somatório
0,58	0,37	0,05	1,00

Fonte: Elaboração dos autores

Foram criadas duas alternativas (A e B) fictícias, para a visualização do AHP.

Alternativa A: Tráfego Alto; Classe de Locação 4; Altura 0,90 metros.

Alternativa B: Tráfego Mediano; Classe de Locação 3; Altura 1,20 metros.

Cálculos:

$$\text{Alternativa A} = (0,58 \times (\text{Peso } 3) + 0,37 \times (\text{Peso } 4) + 0,05 \times (\text{Peso } 2)) = 3,32$$

$$\text{Alternativa B} = (0,58 \times (\text{Peso } 2) + 0,37 \times (\text{Peso } 3) + 0,05 \times (\text{Peso } 1)) = 2,32$$

Conclui-se, em função dos cálculos mencionados quanto às alternativas, que a Alternativa A tem preferência (maior valor, ou seja, 3,32) de reparo em relação à Alternativa B.

Verificação da coerência:

$$\lambda_{\text{máximo}} = w.v = (1,61 \times 0,58) + (3,11 \times 0,37) + (19,0 \times 0,05) = 3,08;$$

$$\text{Índice de Consistência (IC)} = (\lambda_{\text{máximo}} - n) / (n - 1) = 3,78\%;$$

$$\text{Razão de Consistência (RC)} = \text{IC} / \text{CA} = 6,52\%.$$

Considerando o $\lambda_{\text{máximo}}$ e a ordem da matriz igual a três, os julgamentos estão coerentes. E ainda, como o IC é menor do que a RC, e ambos menores que 10%, os resultados encontrados são aceitáveis.

Para auxiliar na tomada de decisão, relacionada ao planejamento de OMs, os resultados apresentados, obtidos pelo método AHP, podem ser úteis na escolha adequada dentre várias alternativas possíveis àquela cujos atributos ou critérios lhe propiciam o maior nível relativo de satisfação.

5. CONCLUSÃO

Os objetivos deste trabalho, que foram estudar o AHP e aplicá-lo na área planejamento de OMs de Faixa de Servidão dutoviárias, foram atingidos. Utilizou-se o método para hierarquizar as alternativas propostas, que se encontravam no conjunto da avaria Baixa Cobertura, restritas a cruzamentos.

A aplicação do AHP apresentou vantagens, como a simplicidade, a facilidade de aplicação e uma resposta simples e objetiva. Deve-se destacar que a vantagem principal do AHP é a habilidade inerente ao método de manipular fatores intangíveis, fatores esses determinantes no processo de decisões.

Além disso, estruturou o problema de forma hierárquica, possibilitando uma visão global do problema e depois, através das verificações de coerências, foram alcançados dados aceitáveis ($\lambda_{\text{máximo}} = 3,08$ e $\text{IC} < 10\%$).

Por outro lado, existem algumas desvantagens relacionadas à possibilidade de existirem inconsistências nos julgamentos. Entretanto, elas podem ser diminuídas, com o uso de especialistas da área, no momento de hierarquizar os critérios, pois os mesmos considerarão os detalhes relevantes para a representação do problema.

Fica a sugestão de expandir a aplicação do AHP para outros conjuntos de avarias, ou então, combinar vários tipos de avarias.

6. AGRADECIMENTOS

Deseja-se agradecer a ajuda dos Engenheiros Kemal Vieira Jorge, Coordenador de Integridade da Regional do Centro-Oeste (GRCO), da Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S/A (TBG), e também, a Cesar Augusto Costa, Supervisor de Integridade e professor da UCDB, Campo Grande, MS.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME – American Society of Mechanical Engineers. ASME B31.8S-2004 Edition, 2004.
- AYAG, Z. A Fuzzy AHP-based Simulation Approach to Concept Evaluation in a NPD Environment, *IIE Transactions*, v. 37, pp. 827-842, 2005.
- BADRI, M.A. A Combined AHP-GP Model for Quality Control Systems, *International Journal of Production Economics*, v. 72, pp. 27-40, 2001.
- BANA E COSTA, C.; VANSNICK, J.C. MACBETH - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions, *International Transactions in Operational Research*, v. 1, pp. 489-500, 1994.
- BERTOLINI, M.; BEVILACQUA, M. A Combined Goal Programming-AHP Approach to Maintenance Selection Problem, *Reliability Engineering and System Safety*, v. 91, pp. 839-848, 2006.
- CAVASSIN, S.A. **Uso de Metodologias Multicritério na Avaliação de Municípios do Paraná, com Base no Índice de desenvolvimento Humano Municipal**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2004.
- CEOLIM, A.J. **Aplicação de Metodologias Multicritério na Avaliação dos Cursos da UNESPAR/FECILCAM**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.
- CHAN, F.T.S.; CHAN, H.K. Development of the Supplier Selection Model - A Case Study in the Advanced Technology Industry, *Proceedings of Institution of Mechanical Engineers - Part B: Journal of Engineering Manufacture*, v. 218, pp. 1807-1824, 2004.
- CHAN, F.T.S.; CHUNGA, S.H.; WANDHWAB, S. A Hybrid Genetic Algorithm for Production and Distribution, *Omega*, v. 33, p. 345-355, 2005.
- CHATZIMOURATIDIS, A.I.; PILAVACHI, P.A. Technological, Economic and Sustainability Evaluation of Power Plants Using the Analytic Hierarchy Process, *Energy Policy*, v. 37, pp. 778-787, 2009.
- CORREIA, P.T.A.; FERREIRA, A. Sustentabilidade da Integridade de Dutos, *TN Petróleo*, nº 38, Data: 2/12/2004. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/novo_novidades_view.asp?tipo=gasodutos&cod=437> Acesso em 05/08/07.
- CRUZ JUNIOR, A.T.; CARVALHO, M.M. Obtenção da Voz do Consumidor: Estudo de Caso em um Hotel Ecológico. *Revista Produção*, v. 13, pp. 88-100, 2003.
- DEVINCENZI, G.R.P. **Metodologia para Implantação do Custeio Baseado em Atividades em Pequenas Empresas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.
- ENSSLIN, L.G.; COSTA, P.; SCHUCH, A. O Humano no Centro das Estratégias para apoio ao Processo Decisório em Direção à Competitividade. *Anais do XXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Vitória, ES, 1995.
- FORNASARI FILHO, N. **Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras da Engenharia**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP, 1992.
- HENRY, M.; KATO, Y. An assessment framework based on social perspectives and Analytic Hierarchy Process: A case study on sustainability in the Japanese concrete industry, *Journal of Engineering and Technology Management*, v. 28, pp. 300-316, 2011.

- HO, W. Integrated Analytic Hierarchy Process and its Applications – A Literature Review, **European Journal of Operational Research**, v. 186, pp. 211-228, 2008.
- HOU, Y.; WANG, B.; OUYANG, G.; SHEN, H.; HE, Y. An Analytic Hierarchy Process to Evaluate PEM Fuel Cell Engine Performance. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, p. 6780-6787, 2011.
- HWANG, C.L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1981.
- LEE, A.H.I.; KANG, H.Y.; WANG, W.P. Analysis of Priority Mix Planning for the Fabrication of Semiconductors under Uncertainty, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 28, pp. 351-361, 2006.
- LEE, D.J.; HWANG, J. Decision Support for Selecting Exportable Nuclear Technology Using the Analytic Hierarchy Process: A Korean Case, **Energy Policy**, v. 38, pp. 161-167, 2010.
- LEE, H.H.; YANG, T.T.; CHEN, C.B.; CHEN, Y.L. A fuzzy hierarchy integral analytic expert decision process in evaluating foreign investment entry mode selection for Taiwanese bio-tech firms, **Expert Systems with Applications**, v. 38, pp. 3304-3322, 2011.
- LIANG, G.; WANG, M. A Fuzzy Multi-criteria Decision Method for Facility Selection, **International Journal of Production**, v. 29, pp. 2313-2330, 1991.
- LÖBLER, M.L. **Processamento da Informação: Uma Avaliação dos Diferentes Níveis de Conhecimento no Processo de Decisão**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.
- LOPES, E.A. **A Escolha de um Imóvel Utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP)**. Projeto de Conclusão de Curso. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Arcos, MG, 2004.
- LUCENA, L.F.L. **A Análise Multicriterial na Avaliação de Impactos Ambientais**. Disponível em: <www.nepam.unicamp.br/ecoeco/artigos/encontros/downloads/mesa3/7.pdf> Acesso em: 15/11/2003.
- MARCH, J.G.; SIMON, H. **Teoria das organizações**. FGV, Rio de Janeiro, RJ, 1966.
- MARTINS, F.G. **Levantamento para a Implantação do Transporte Intermodal das Cargas no Estado de Mato Grosso do Sul**. Projeto de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2006.
- ONG, S.K.; KOH, T.H.; NEE, A.Y.C. Assessing the Environmental Impact of Material Processing Techniques Using an Analytical Hierarchy Process Method, **Journal of Material Processing Technology**, v. 113, p. 424-431, 2001.
- PARTOVI, F. Y. An Analytic Model for Locating Facilities Strategically, **Omega**, v. 34, pp. 41-55, 2006.
- PUC-RIO - Certificação Digital N° 0311068/CA. Glossário de Termos. Disponível em <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0311068_05_cap_08.pdf> Acesso em 18/08/07.
- RAFAELI, L.; MULLER, C.J. Estruturação de um Índice Consolidado de Desempenho, utilizando o AHP, **Gestão & Produção**, v. 14, pp. 363-377, 2007.
- SAATY, T.L. **Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process**, RWS Publications, Pittsburgh, PA, USA, 1996.

SAATY, T.L. **Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process**, 2nd edition, Pittsburgh: RWS Publications, 2001.

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

SAEN, R.F. A New Mathematical Approach for Suppliers Selection: Accounting for Non-homogeneity is Important, **Applied Mathematics and Computation**, v. 185, pp. 84-95, 2007.

SALOMON, V.A.P.; SHIMIZU, T. Utilização de Matrizes de Julgamentos na Análise do Controle da Produção, **Revista Gestão Industrial**, v. 2, pp. 70-78, 2006.

SILVA, R.M.; BELDERRAIN, M.C.N. Considerações sobre Métodos de Decisão Multicritério. In: XI Encontro de Iniciação Científica e Pos-Graduação do ITA, São José dos Campos. **Anais do XI ENCITA**, 2005. v. 1. pp. 1-7. Disponível em <<http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf>> Acesso em 09/08/07.

SIMON, H.A. **Administrative Behavior**. Macmillan, New York, NY, USA, 1945.

SU, C.T.; CHOU, C.J. A Systematic Methodology for the Creation of Six Sigma Projects: A Case Study of Semiconductor Foundry, **Expert Systems with Applications**, v. 34, pp. 2693-2703, 2008.

TÁLAMO, J.R.; CARVALHO, M.M. Seleção dos Objetivos Fundamentais de uma Rede de Cooperação Empresarial, **Gestão & Produção**, v. 11, p. 239-250, 2004.

THOMAS, H.J.R. **Seleção de Empregados em Indústria de Petróleo: Uma Análise pelo Método AHP**. Dissertação de Mestrado Profissionalizante. Faculdades IBMEC, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

VAIDYA, O.S.; KUMAR, S. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, pp. 1-29, 2006.

VAN DE WATER, H.; VAN PEET, H.P. A Decision Support Model Based on the Analytic Hierarchy Process for the Make or Buy Decision in Manufacturing, **Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 12, pp. 258-271, 2006.

YANG, M.; KHAN, F.I.; SADIQ, R. Prioritization of Environmental Issues in Offshore Oil and Gas Operations: A Hybrid Approach Using Fuzzy Inference System and Fuzzy Analytic Hierarchy Process, **Process Safety and Environmental Protection**, v. 89, pp. 22-34, 2011.