

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PAULO CEZAR FREIRE DE MENEZES

**SISTEMAS LÓGICOS PARA CONSISTENTES APLICADOS AOS MODELOS
HIERÁRQUICOS PARA TOMADAS DE DECISÃO: ESTUDO REALIZADO EM
GESTÃO DE PROJETOS**

SANTOS/SP

2015

PAULO CEZAR FREIRE DE MENEZES

**SISTEMAS LÓGICOS PARA CONSISTENTES APLICADOS AOS MODELOS
HIERÁRQUICOS PARA TOMADAS DE DECISÃO: ESTUDO REALIZADO EM
GESTÃO DE PROJETOS**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho.

**SANTOS/SP
2015**

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Menezes, Paulo Cezar Freire de
Sistemas Lógicos Paraconsistentes Aplicados aos Modelos Hierárquicos Para Tomadas de Decisão: Estudo Realizado em Gestão de Projetos / Paulo Cezar Freire de Menezes.
- 2015.
No. de f.102

Orientador: Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2015.

1. Tomada de Decisão Multicritério. 2. Lógica Paraconsistente.
3. AHP 4. Gerenciamento de Projetos.

I. Da Silva Filho, João Inácio, orient.
II. Sistemas Lógicos Paraconsistentes Aplicados aos Modelos Hierárquicos para Tomadas De Decisão: Estudo Realizado em Gestão de Projetos

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas - Unisanta

Aos meus pais, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida, proporcionando-me os recursos necessários para a minha formação integral.

À minha esposa e filhos, que sempre me estimularam a buscar este objetivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor João Inácio de Silva Filho, por sua constante paciência, interesse e disponibilidade na orientação, durante a execução do trabalho de orientação.

Ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, com especial destaque para o professor Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco, pelas orientações no ramo de pesquisa acadêmica.

Às secretárias da Pós-Graduação do UNISANTA, Sandra e Imaculada, pela atenção e carinho dispensados a mim e a todos os alunos.

Aos colegas da turma de mestrado da UNISANTA, que me ajudaram durante as atividades do curso e me incentivaram na fase de elaboração do meu trabalho.

À minha esposa Ana Marina Barboza de Menezes, que me apoiou e incentivou em todos os momentos.

Aos meus filhos, que são exemplos de dedicação, esforço e onde eu busquei a inspiração e força necessárias para continuar nesta jornada.

RESUMO

Para que as empresas se mantenham competitivas no mercado, elas precisam estar atentas às mudanças que ocorrem a sua volta e, para isto, torna-se necessário que tenham uma visão estratégica dos princípios, das abordagens e das técnicas relacionadas à gestão de seus negócios. Neste sentido, para realizar melhorias contínuas, torna-se necessário gerir ao longo do tempo, um número de projetos dos mais variados tipos. Entretanto, para que tenham sucesso, é fundamental buscar um conjunto de conceitos a serem utilizados na prática, a fim de viabilizar a gestão eficaz de projetos e a definição dos critérios para tomada de decisão neste processo. O objetivo deste trabalho visa estudar a utilização de sistemas lógicos paraconsistentes aplicados aos modelos hierárquicos para tomadas de decisão apresentando o Processo Analítico Hierárquico - AHP (Analytic Hierarchy Process) como um potencial método de tomada de decisão para uso nas práticas de gerenciamento de projetos. O novo modelo proposto que denominamos de AHP/LPA2v utiliza como principal característica aceitar contradição em seus fundamentos teóricos. Neste estudo, aplicou-se o novo modelo AHP/LPA2v em 5 possíveis empresas candidatas, cada qual com suas características próprias, na seleção do melhor fornecedor da construção civil na execução de um projeto em uma indústria. Os resultados obtidos indicaram que com a inclusão da técnica paraconsistente ao método de multicritério, indentificou uma ferramenta que permite aos decisores maior clareza dos resultados parciais elevando assim os níveis de confiança as decisões.

Palavras-Chave: Tomada de decisão multicritério. Lógica paraconsistente. Processo Analítico Hierárquico. Gerenciamento de projetos.

ABSTRACT

In order for companies to remain competitive in the market, they need to be attentive to the changes taking place around them and, for this, it is necessary to have a strategic vision of the principles, approaches and techniques related to the management of their business. Accordingly, to carry out continuous improvements, it is necessary to manage over time, a number of designs of various types. However, to succeed, it is essential to search a set of concepts to be used in practice in order to enable the effective management of projects and the definition of criteria for decision making in this process. The objective of this work is to study the use of paraconsistent logical systems applied to hierarchical models for decision making by presenting the Analytical Hierarchy Process - AHP (Analytic Hierarchy Process) as a potential decision-making method for use in project management practices. The new proposed model that we call AHP/PAL2v uses as its main feature, accept contradiction in its theoretical foundations. In this study, we applied the new model AHP/PAL2v in 5 possible candidate companies, each with its own characteristics, in selecting the best construction supplier in the execution of a project in an industry. The results indicated that with the inclusion of paraconsistent technique to multi-criteria method, obtained a tool that allows decision makers clarity of partial results and thereby raising levels of trust decisions.

Keywords: Decision making multi-criterion. Paraconsistent logic. Analytic hierarchy process. Project management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão.	30
Figura 2. Fases de aplicação dos métodos multicritérios de apoio à decisão.	31
Figura 3. Matriz de avaliação em MMAD.....	32
Figura 4. Fluxo de processamento dos modelos de critério único de síntese.	33
Figura 5. Fluxo de processamento dos modelos <i>outranking</i>	34
Figura 6. Fluxograma geral do AHP.	35
Figura 7. Fluxograma do processo iterativo do MACBETH.	36
Figura 8. Matriz A – matriz de julgamento.	51
Figura 9. Índice randômico médio do AHP.	53
Figura 10. Reticulado associado à lógica paraconsistente anotada de anotação com dois valores LPA2v.	60
Figura 11. Representação dos graus de certeza e de contradição.	62
Figura 12. Representação do grau de certeza.	63
Figura 13. Representação do grau de contradição.....	64
Figura 14. Ponto de interpolação (G_C , G_{ct}), e distância D.	64
Figura 15. Grau de certeza de valor resultante real - G_{CR} no reticulado.....	65
Figura 16. Grau de certeza de valor real G_{Cr} no reticulado da LPA2v quando G_C é negativo e G_{ct} positivo.	66
Figura 17. Símbolo de um nó de análise paraconsistente típico.	67
Figura 18. Conversão de grau de certeza real G_{CR} em grau de evidência resultante real μ_{ER}	67
Figura 19. Conversão de grau de contradição G_{ct} em grau de contradição normalizado μ_{ctr}	68
Figura 20. Símbolo do paraextrctr algoritmo paraconsistente extrator	71
Figura 21. Matriz de comparação do especialista 1 e 2 para um dados multicritério.	74
Figura 22. Níveis de decisão AHP do estudo de caso da escolha dos fornecedores.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índice Randômico Médio do AHP.	53
Tabela 2. Preferência do decisor para cada um dos critérios x fornecedores.	78
Tabela 3. Cálculo do autovetor normalizado e da razão das consistências (RC) de cada um dos critérios.	80
Tabela 4. Cálculo do vetor de critérios e da Razão das Consistências da matriz dos critérios.....	81
Tabela 5. Cálculo do vetor de decisão e indicação do fornecedor mais adequado para o método AHP.....	82
Tabela 6. Cálculo dos NAP´s para cada fornecedor em função dos critérios.	83
Tabela 7. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o calculo do grau resultante real do Fornecedor A.	84
Tabela 8. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o calculo do grau resultante real do Fornecedor B.	85
Tabela 9. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o calculo do grau resultante real do Fornecedor C.	86
Tabela 10. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o calculo do grau resultante real do Fornecedor D.	87
Tabela 11. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o calculo do grau resultante real do Fornecedor E.	88
Tabela 12. Valores com base nos vetores de decisão na indicação do fornecedor vencedor, considerando apenas o Método AHP.	89
Tabela 13. Valores do grau de evidência real resultante(μ_{ER}) na indicação do fornecedor vencedor, considerando o Método AHP em conjunto com a LPA2v	89
Tabela 14. Resultados obtidos utilizando-se o método AHP.	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Métodos mais conhecidos da Escola Francesa.....	26
Quadro 2. Etapas de análise Multicritério	29
Quadro 3. Dificuldades apresentadas na execução dos MMAD.....	31
Quadro 4. Outros pontos fortes do MMAD.	39
Quadro 5. Tipos de problemas de decisão	41
Quadro 6. Métodos Multicritérios adequados a cada tipo de problema de decisão..	41
Quadro 7. Comparação teórica entre métodos multicritérios de análise de decisão	43
Quadro 8. Escala Fundamental - AHP.	50
Quadro 9. Passos do método AHP.....	55
Quadro 10. Críticas ao modelo AHP.	57
Quadro 11. Algoritmo de análise paraconsistente.	70
Quadro 12. Algoritmo Paraextrator de efeitos de contradição.	72
Quadro 13. Características dos critérios de cada fornecedor nas quais se basearam os decisores.	76
Quadro 15. Passos para o calculo da Razão de Consistência.	79

LISTA DE SIGLAS

AHP	<i>(Analytic Hierarchy Process – Método da Análise Hierárquica)</i>
ELECTRE	<i>(Elimination and Choice Translating Reality)</i>
LP	Lógica Paraconsistente
LPA	Lógica Paraconsistente Anotada
LPA2v	Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores
MACBETH	<i>(Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique)</i>
MAUT	<i>(Multiattribute Utility Theory – Teoria da Utilidade Multiatributo)</i>
MAVT	<i>(Multiattribute Value Theory)</i>
MMAD	Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão
MV	Variável Manipulada
NAP	Nó de Análise Paraconsistente
NAPCONTROL	Bloco de controle
Paraextrctr	Algoritmo Paraconsistente Extrator de Efeitos de Contradição
PROMÉTHEÉ	<i>(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)</i>
SMART	<i>(Simple Multi-Attribute Rating Technique)</i>
TODIM	(Tomada de Decisão Interativa Multicritério)
TOPSIS	<i>(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)</i>
SAW	<i>(Simple Additive Weighting)</i>
UTA	(Utilité Aditive - Teoria da Utilidade e Multiatributo)

LISTA DE SÍMBOLOS

τ	Reticulado finito
μ	Grau de evidência favorável
λ	Grau de evidência desfavorável
\mathbb{R}	Conjunto dos números reais
T	Inconsistente
V	Verdadeiro
\perp	Paracompleto ou indeterminado
P	Sentença proposicional
$P_{(\mu, \lambda)}$	Sinal lógico paraconsistente
G_C	Grau de certeza
G_{CT}	Grau de contradição
G_{CR}	Grau de certeza real
G_{Cr}	Grau de certeza de valor real
φ	Intervalo de certeza
$\varphi_{(\pm)}$	Intervalo de certeza sinalizado
φ_E	Intervalo de evidência resultante
$\varphi_{E(\pm)}$	Intervalo de evidência resultante sinalizado
μ_{ctr}	Grau de contradição normalizado
μ_{ER}	Grau de evidência resultante real

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 A Relevância na Tomada de Decisão.....	16
1.2 A Escola Clássica	19
1.3 A Lógica Paraconsistente	20
1.4 Objetivos.....	21
1.5 Organização da Dissertação.....	21
2. REVISÃO DA LITERATURA : MODELOS HIERÁRQUICOS DE DECISÃO	23
2.1 Métodos da Escola Americana.....	24
2.2 Métodos da Escola Francesa.....	25
2.3 Características Gerais dos métodos Multicritérios de Análise de Decisão.....	27
2.4 Etapas de uma Análise Multicritérios	28
2.5 Principais Métodos Multicritérios de Análise de Decisão	34
2.6 Análise Crítica dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão	38
2.7 Seleção do Método Hierárquico	40
2.8 O Método AHP (Analytic Hierarchy Process).....	44
2.8.1 Benefícios, Limitações e Aplicações do AHP.....	45
2.8.2 A Hierarquia do AHP.....	47
2.8.3 Processo de Hierarquização do Método AHP	49
2.8.4 O Método AHP e o Gerenciamento de projetos	54
2.8.5 Críticas ao Modelo AHP	56
3. REVISÃO DA LITERATURA: LÓGICA PARACONSISTENTE	59
3.1 Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de dois valores LPA2v	60
3.2 Grau de Certeza e Grau de Contradição	62
3.3 Grau de Certeza de valor real.....	64
3.4 Nó de Análise Paraconsistente (NAP)	66
3.5 Grau de evidência resultante real (μ_{ER})	67
3.6 Grau de contradição normalizado (μ_{ctr}).....	68
3.7 Nó de Análise Paraconsistente da LPA2v com saída de grau de Evidência resultante real	69
3.8 O Algoritmo Paraconsistente Extrator de Efeitos de Contradição – <i>ParaExtractr</i> 70	

4. MATERIAIS E MÉTODOS	73
4.1 Procedimentos na utilização do método AHP/LPA2V	74
4.2 Resultado do algoritmo de análise paraconsistente para determinação do Grau de Certeza real e do Intervalo de Certeza	82
4.1 Discussão.....	89
5. CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXO 1. Resultados da pesquisa – Fonte secundária (Menezes <i>et al.</i>, 2015)	100

1. INTRODUÇÃO

Decisões que envolvem muitas variáveis e ditam novos caminhos para as empresas, devem ser apoiadas em uma metodologia sólida. Quando são baseadas em uma metodologia, tendem a ser melhores que aquelas baseadas apenas em intuição, experiência ou outros fatores subjetivos (LAMBERT-TORRES, *et al.*, 2008).

Por este motivo, foram desenvolvidos alguns métodos para auxiliar os engenheiros e tomadores de decisão a entender e gerenciar o processo de decisão. Como estes métodos funcionam e como aplicá-los é sem dúvida uma matéria muito interessante (LAMBERT-TORRES, *et al.*, 2008).

Dentre as várias metodologias de decisão por multicritério que existem, foi escolhida e detalhada a metodologia de tomada de decisão multicritério - *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

O AHP representa uma modelagem da mente humana. Quando o ser humano se defronta com um grande número de elementos em uma situação complexa, sua mente agrupa-os utilizando propriedades comuns. A repetição dessa função de agrupamento em diferentes níveis hierárquicos converge para o objetivo do processo decisório (SAATY, 1991).

Ainda, segundo Saaty (1991), quando o ser humano pensa, ele identifica objetos, ideias e também suas inter-relações. Quando algo é identificado, sua complexidade é decomposta. Quando as relações são descobertas, elas são sintetizadas. Este é o processo fundamental da percepção: decomposição e síntese; que servem de suporte aos fundamentos do AHP. Este método é dividido em quatro partes: modelagem, avaliação, priorização e decisão.

Na modelagem, o usuário define o objetivo da decisão, os critérios e as alternativas do modelo. O objetivo representa a decisão a ser tomada. Os critérios são atributos a serem considerados durante a comparação das alternativas. As alternativas representam possíveis candidatas a atingir o objetivo, ou seja, serem escolhidas no processo de decisão. (GOMES e MOREIRA, 2004).

O processo usado na avaliação e priorização é o método das matrizes de comparações paritárias, sendo a classificação (*rank*) obtida pelo método do autovetor dominante (SAATY, 1991; LAMBERT-TORRES, *et al.*, 2008).

Usando matrizes recíproco-simétricas, são comparados todos os pares de alternativas, de acordo com cada critério escolhido, atribuindo-se um grau de

dominância de uma alternativa sobre a outra. O mesmo método é usado no cálculo da prioridade, ou peso, de cada critério (GOMES e MOREIRA, 2004).

Finalmente, na fase de decisão, a melhor alternativa para atingir o objetivo principal é determinada.

A convergência para o objetivo decisório se processa através de comparações paritárias, ou seja, comparações constituídas por pares de elementos, a fim de estabelecer uma relação de ordem entre eles. Assim, determina-se uma síntese dos valores dos agentes de decisão e conseqüentemente uma medida global para cada alternativa (LAMBERT-TORRES et al., 2008).

Em um processo de tomada de decisão são comuns situações de inconsistência, conhecimentos parciais, falta de informação e indefinições. Essas situações são frequentemente descritas no mundo real. Assim, um método de tomada de decisão deve utilizar uma lógica capaz de tratar todos esses comportamentos, e essa necessidade pode ser suprida pela Lógica Paraconsistente (DA SILVA FILHO et al., 2008).

Este documento propõe a aplicação da lógica paraconsistente ao processo de tomada de decisão multicritérios como uma forma de tratar os comportamentos não clássicos do processo. Um exemplo de aplicação do método será apresentado na área de gerenciamento de projetos onde veremos mais a frente os resultados utilizando as técnicas de multicritérios com os fundamentos da LPA.

O motivo da escolha deste exemplo ser na área de gerenciamento de projetos, se deve aos resultados obtidos em diversos projetos de engenharia. Um destes resultados é que a principal razão dos péssimos desempenhos dos projetos é causada principalmente pelos atrasos na sua conclusão. As empresas, preocupadas em reduzir parte do orçamento preferem a escolha de fornecedores mais baratos em detrimento dos mais confiáveis e acabam prejudicando o desempenho total do projeto. (Anexo 1)

1.1. A Relevância da Tomada de Decisão

Saber tomar as decisões é a principal função do administrador da empresa, pois não existe decisão perfeita. Portanto ele terá que pesar as vantagens e desvantagens de cada alternativa para escolher a melhor, sempre visando o desempenho econômico, lembrando que também existem os resultados não

econômicos, como a satisfação dos membros do negócio e dos colaboradores (MICHELLA, 2011).

A tomada de decisão é um processo que consta identificação do problema, dos critérios, a forma de elaborar, analisar e escolher alternativas, verificando a eficácia da decisão.

O ato de tomada de decisão pode ser para muitas pessoas, um ato de sofrimento. Algumas delas possuem dificuldades nas decisões mais simples, como escolher uma roupa para uma determinada ocasião ou um roteiro para as férias (MICHELLA, 2011).

A grande dificuldade para tomar decisões acontece frequentemente em qualquer situação, seja ela no ambiente profissional ou pessoal. Uma vez consumada, a decisão é uma estrada sem volta. As consequências virão, cedo ou tarde, de formas positivas ou negativas. Por isso, a decisão exige um compromisso efetivo com a escolha feita e suas consequências. Isso nem sempre é fácil, por dois motivos (MICHELLA, 2011, p.1):

1. Não existe decisão perfeita, porque não podemos analisar todas as alternativas e todas as consequências;
2. Ao optar por uma alternativa, deve-se renunciar às outras, e isso gera sempre um sentimento de perda, mesmo quando a decisão é eficaz.

No ambiente empresarial, esta dificuldade também existe, ela se torna muito mais grave, pois se pode perder uma grande negociação apenas pelo titubear da decisão numa reunião, a indecisão tem levado muitas pessoas a erros difíceis de reparação. Um exemplo disto é o gestor que precisa tomar uma decisão de investimento em inovação de produtos, ou numa negociação com fornecedores e acaba perdendo uma excelente oportunidade de ganho ou lucro porque no momento de tomada de decisão ele opta pela indecisão. E o mercado não perdoa quem não toma as decisões nas horas certas.

São inúmeras as implicações de uma tomada de decisão, a maior parte das consequências está normalmente fora do alcance visual. Um processo decisório pressupõe opções, escolhas nem sempre muito fáceis de fazer. Existem perdas e ganhos, conflitos de valores, e isso tudo é extremamente necessário.

Por isso é relevante tentar, de alguma forma, sistematizar um contexto, criar um cenário pelo menos próximo da realidade onde as possibilidades de decisão possam ser examinadas sob todos os ângulos (MICHELLA, 2011).

O decisor é exposto a inúmeros fatores de influência internos e externos. Muitas vezes, um determinado cenário exige soluções diferentes e até antagônicas para solucionar um problema. Esses fatores são de certa forma, indicadores que dão informações sobre o possível sucesso ou fracasso do empreendimento; que podem, alguns, estar indicando condições favoráveis, outros, condições desfavoráveis e, um terceiro grupo, indicando condições indiferentes ao sucesso do empreendimento. Tais fatores podem ser de diferentes ordens: econômicos, sociais, legais, climáticos, econômico-financeiros, técnicos, logísticos, etc.

A função dos decisores de uma empresa é extremamente relevante, pois os processos de tomada de decisão afetam diretamente a sobrevivência da empresa e a vida das pessoas que giram em torno dela, sejam elas: empregados, acionistas, fornecedores ou clientes.

As decisões quando envolvem um único critério, são fáceis de serem tomadas; mas isso não ocorre quando as decisões são multicritérios. Simon (1965) afirma que:

As decisões são algo mais que simples proposições factuais. Para ser mais preciso, elas são descrições de um futuro estado de coisas, podendo essa descrição ser verdadeira ou falsa, num sentido empírico. Por outro lado, elas possuem, também, uma qualidade imperativa, pois selecionam um estado de coisas futuro em detrimento de outro e orientam o comportamento rumo à alternativa escolhida. (SIMON, 1965, p.54).

Para tomar decisões multicritério é necessário que o decisor leve em conta algum processo. As grandes empresas geralmente fazem uso de *softwares* especialistas. Segundo O'Brien (2004, p.25), os sistemas de apoio à decisão fornecem suporte computacional direto aos gerentes durante o processo de decisão, hoje os sistemas especialistas baseados no conhecimento forjam um novo papel para os sistemas de informação, servindo como consultores para os usuários, fornecendo conselho especializado.

Segundo Cassarro (2003, p.12), “quanto mais elevado estiver o gerente na estrutura organizacional e/ou quanto maior for o valor envolvido, maiores serão suas margens de risco. Por este motivo o gestor deve possuir todas as informações que lhe permita tomar a decisão final com maior grau de segurança”. Ainda segundo Cassarro (2003, p.25), “uma decisão nada mais é do que uma escolha entre alternativas, obedecendo a critérios previamente estabelecidos [...] e para isso é fundamental a existência de informações apropriadas”.

O problema deve ser bem definido e os critérios que influem também deverão ser muito claros, de modo que seja possível precisar o "sim" ou o "não" na decisão de executar ou não o empreendimento. Um fator poderá dar indicação bastante favorável à execução de um empreendimento, mas dificilmente mostrará como deverá ser realizado. Por outro lado, pode haver fatores dando indicação altamente favorável e outros, altamente desfavorável.

Assim, um processo de tomada de decisão pode ser definido como um conjunto de ações e fatores dinâmicos que começa com a identificação de um estímulo para a ação e termina com o compromisso específico para essa ação (MINTZBERG, RAISINGHANI e THÉORËT, 1976). Como uma parte dos comportamentos de uma organização podem nascer em decisões, as características essenciais da estrutura organizacional derivam das características do processo decisório e da escolha racional humana (CHOO, 2003).

1.2. A Escola Clássica

A Lógica Aristotélica ou Lógica Clássica é conhecida por essas denominações devido ao fato de se atribuir a Aristóteles e seus discípulos o primeiro estudo formal do raciocínio conceituando-se um sistema lógico (DA SILVA FILHO; ABE; TORRES, 2008).

A relevância da Lógica Clássica na história da humanidade é muito acentuada, visto que o conhecimento tecnológico atual está sustentado pelos seus princípios. Entretanto, sabe-se que os avanços recentes representados por novas tecnologias criaram diferentes condições limites para descrição de objetos de onde é possível a extração de informações essenciais sobre o ambiente. O conhecimento dessas informações é primordial para a ação e controle de situações reais. Apesar da eficiência da Lógica Clássica, os avanços da tecnologia fizeram com que as faixas de incerteza nas fronteiras que medem, classificam e descrevem formas dos objetos, bem como analisam suas propriedades físicas, ficassem pequenas pela exigência de determinações cada vez mais precisas (DA SILVA FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008).

Com o passar dos anos, essas situações foram criando cenários que não se enquadravam mais nas rígidas regras da Lógica Clássica, exigindo métodos complexos para tratamento e interpretações dos dados representantes de

informações sobre o meio físico. Para buscar novas formas de tratamento de dados nessas situações limites, foram recentemente criadas as Lógicas Não Clássicas. Portanto, as Lógicas Não Clássicas, são aquelas que em seus fundamentos existem, de alguma forma, certos conceitos que desconsideram alguns princípios das rígidas leis binárias da clássica.

As Lógicas Não Clássicas violam justamente as suposições binárias que não admitem indefinições, ambiguidades e contradições nos seus fundamentos. Estabelece que o conceito de dualidade é algo que pode coexistir com seu oposto para se obter melhor precisão nas conclusões para a tomada de decisão. As Lógicas Não Clássicas podem complementar o escopo da lógica clássica ou podem rivalizar com ela. (DA SILVA FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008).

Em aplicações reais, destaca-se o fato de que a Lógica Clássica é binária, admitindo apenas dois estados que podem ser verdadeiro ou falso. Devido a sua característica binária (níveis 0 ou 1), pode parecer que em algumas situações não retrate de modo satisfatório o mundo real, que é incompleto e contraditório, e por isso tornando-se impossível de ser utilizada. Por esse motivo, recentemente tem surgido diversas lógicas consideradas não clássicas indicadas para aplicações diretas em inúmeros campos do conhecimento.

1.3. A Lógica Paraconsistente

A Lógica Não Clássica definida como Lógica Paraconsistente (LP), atua no mundo real oferecendo condições para tratamentos satisfatórios as inconsistências, ou seja, dando tratamento adequado a duas ou mais interpretações diferentes sobre um mesmo assunto (DA SILVA FILHO; ABE, 2000).

Nesta área de tratamento de incertezas a lógica paraconsistente, na sua forma especial, denominada lógica paraconsistente anotada com anotação de dois valores (LPA2v) também tem se destacado pelos métodos eficientes em tratar informações contraditórias valorizando estas informações que podem trazer evidências para estruturar resultados que retratam melhor a realidade (DA SILVA FILHO, 2006).

Neste trabalho foram utilizados cálculos baseados em algoritmos da LPA2v onde se destaca o Nó de Análise Paraconsistente –NAP.

Segundo Da Silva Filho, Abe e Lambert-Torres (2008), o Nó de Análise Paraconsistente é a denominação dada a um algoritmo extraído da LPA2v para análise de uma proposição por meio informações aplicadas na entrada,

representadas na forma de anotação composta por um Grau de Evidência Favorável (μ) e um Grau de Evidência Desfavorável (λ). Após os cálculos, na saída, obtém-se o Grau de Evidência Resultante Real (μ_{ER}) (quando normalizado) e uma representação da intensidade da certeza obtida através de um Intervalo de certeza (φE). O Nó de análise Paraconsistente e outros algoritmos serão detalhados no capítulo 3, que trata da Lógica Paraconsistente.

1.4. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal propor a utilização de sistemas lógicos paraconsistentes aplicados aos modelos hierárquicos nas tomadas de decisão, a fim de que este método, que une os fundamentos da lógica paraconsistente com tomadas de decisão multicritério, seja uma ferramenta essencial aos decisores. Pretende-se com isso, agregar maior nível de confiança nas decisões deixando de apenas serem baseadas em sentimentos, parâmetros subjetivos ou intuições, mas substanciadas com o método AHP e LPA2v.

Para alcançar esse objetivo, se propõe o alcance de objetivos secundários que consistem em encontrar resultados com as novas formas de adequação, desenvolvendo técnicas de testes. Para isto foi desenvolvido um método de escolha na avaliação do melhor fornecedor em um projeto, aplicando os algoritmos extraídos da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) e comparando os valores com as técnicas de AHP na decisão.

1.5. Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: Neste capítulo 1 foi apresentada uma introdução do trabalho, a relevância na tomada de decisão como justificativa desta pesquisa e uma breve comparação entre lógica clássica e paraconsistente, finalizando com os objetivos que norteiam esse estudo.

No capítulo 2, são apresentadas as considerações sobre os modelos hierárquicos que são utilizados atualmente para a tomada de decisão e realizada uma abordagem detalhada do método AHP. No capítulo 3, apresenta-se de forma mais detalhada uma explanação sobre a Lógica Paraconsistente e os fundamentos da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v). No

capítulo 4 são abordados os modos de como os sistemas lógicos paraconsistentes podem ser aplicados aos modelos hierárquicos para tomada de decisão, sendo demonstrada a técnica de AHP com um exemplo prático na área de gerenciamento de projetos. Também no capítulo 4, são reunidos os resultados obtidos desse exemplo e apresentadas às discussões em relação a estes resultados e, finalizando, o capítulo 5 mostra a conclusão e a perspectiva de evolução da pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA: MODELOS HIERÁRQUICOS DE DECISÃO

A mente humana tem muitas dificuldades em comparar simultaneamente diversas alternativas. Para facilitar o trabalho do gestor na árdua tarefa de decidir, as teorias organizacionais têm contribuído com vários estudos que apontam modelos para o entendimento dos processos decisórios. (MILLER, 1956)

Partindo do reconhecimento de necessidades geradas por problemas complexos, surgiram os processos com múltiplos critérios de tomada de decisão, onde é preciso analisar critérios pessoais de preferência: riscos, beleza e custo, por exemplo. A utilização destes critérios é necessária para a compreensão da realidade do problema analisado e escolha da alternativa que permitirá tomar a decisão mais adequada.

Um dos métodos estatísticos mais populares no processo de tomada de decisão é o BA (*Bayesian Analysis* – Análise Bayesiana), que fornece um paradigma decisional para atualização da informação na forma de possibilidades. É baseado na premissa de que as decisões que envolvem incertezas associadas ao problema permitem a avaliação de probabilidades condicionais de forma simples e que podem unicamente se apoiar nas informações pertencentes ao ambiente do processo de tomada de decisão. (NEWMAN, 1971)

O método CP (*Compromise Programming* - Programação de Compromisso) foi adotado por estar baseado no conceito de distância métrica (Teorema de Pitágoras) entre os dois pontos, cujas coordenadas são conhecidas. Este método procura minimizar a distância dos pontos factíveis em relação a um determinado ponto escolhido pelo decisor, chamado de ponto ideal. A dificuldade na escolha do ponto ideal em relação à solução final é diminuída quando, por uma restrição, o ponto meta for menor ou igual ao ponto ideal, onde a solução ideal é definida pela maximização da função objetivo (ZELENY, 1982).

Já o Método CGT (*Cooperative Game Theory* - Teoria dos Jogos Cooperativos), ao invés de minimizar a distância de um certo ponto ideal, conforme mencionado no método Programação de Compromisso, a melhor solução será aquela que maximiza a distância de algum ponto “*status quo*” de nível mínimo, em que a medida de distância utilizada é a geométrica (GERSHON; DUCKSTEIN, 1983).

O processo de seleção das melhores alternativas em problemas decisórios com múltiplos critérios originou diversas escolas, das quais se destacam a Escola Americana e a Escola Francesa ou Europeia, serão apontados nos próximos subcapítulos.

2.1. – Métodos da Escola Americana

Dentre os métodos pesquisados da escola americana destacam-se: MAUT; SMART; TODIM e o AHP. Em seguida irá ser apresentado uma breve descrição destes métodos.

MAUT (*Multiattribute Utility Theory* – Teoria da Utilidade Multiatributo) – introduzida por Keeney e Raiffa (1976) - consiste em uma extensão natural da Teoria da Utilidade (FISHBURN, 1970), para o contexto no qual cada alternativa seja escrita por uma lista de atributos. A Teoria da Utilidade assume que o decisor deseja fazer uma escolha que corresponde ao maior nível de satisfação (ou utilidade). A satisfação ou preferência do decisor perante o risco é representada por uma função matemática chamada função de utilidade. A função de utilidade multiatributo, multicritério utiliza várias funções de utilidade para avaliar a maior satisfação possível (SHIMIZU, 2006). Ehrlich (1996, p.48) afirma que “o método MAUT é de uma solidez teórica incontestável, sendo o único que utiliza a Utilidade Agregada, condicionada a verificações que somente este método se propõe a realizar”.

SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*): tem como base o uso de função utilidade linear como a media algébrica ponderada para priorizar as alternativas.

TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério): incorpora em sua formulação padrões de preferência dos decisores em presença de risco, baseado na Teoria dos Prospectos, que utiliza funções de valor para explicar a aversão e a propensão ao risco na tomada de decisão (RANGEL e GOMES, 2007); prospecto deve ser entendido como um jogo, no qual o decisor prefere ganhar menos, diante do risco de perder, ou, correr o risco de ganhar, na certeza de perder (CLEMEN e REILLY, 2001).

O AHP (*Analytic Hierarchy Process* – Método da Análise Hierárquica), contrapondo-se ao MAUT, tem maior simplicidade no processo de modelagem da decisão, conquistando o tomador de decisão por permitir uma maior compreensão

de seu processo e sua participação na estruturação do problema. O AHP será exposto no item 2.8 deste capítulo por ser um dos métodos mais utilizados e por ser o método escolhido para este estudo.

2.2. – Métodos da Escola Francesa

Conforme Gomes, Araya e Carignano (2004, p.93) os métodos desenvolvidos na Europa, foram denominados, em seu conjunto, por Escola Francesa de Apoio à Decisão com Múltiplos Critérios, conhecidos pela sigla MCDA (*Multiple Criteria Decision Aid* – Auxílio à Decisão por Múltiplos Critérios). Esses métodos permitem a elaboração de um modelo mais flexível do problema, não determinando como obrigatório a comparação entre alternativas e não obriga o analista de decisão a criar uma estrutura hierárquica dos critérios. Ehrlich (1996, p.46) explica que estes métodos em vez de considerar a intensidade da preferência, consideram a atratividade ou a falta de atratividade (ou indiferença), criando um ranking de classes de conjuntos de componentes da decisão. Os métodos desenvolvidos na Europa mais conhecidos são apresentados no Quadro 1:

Métodos	Definições
ELECTRE (<i>Elimination and Choice Translating Reality</i>):	Método que produz índices de concordância e de discordância para determinar relações de dominância entre as alternativas e categorizá-las (FULOP, 2005);
PROMÉTHEÉ (<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation</i>):	Método que utiliza índices de preferência para determinar a intensidade global de preferência entre as alternativas, com o objetivo de se obter uma categorização parcial ou completa (FULOP, 2005);
TOPSIS (<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>):	Consiste no método de ordenação de preferência por similaridade, baseado no princípio de que a melhor alternativa é aquela em que esta é mais próxima de uma solução ideal e mais distante de uma solução não desejada, segundo um coeficiente de similaridade, que mede a semelhança entre as alternativas (BRITES, 2008);
MACBETH (<i>Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique</i>):	Método que agrega conceitos da escola americana e francesa (SALOMON, 2004), no qual modelos de problemas de programação linear são utilizados para descrever o grau de preferência das alternativas. Desenvolvido por Bana e Costa e Vansnick (1995, 1997) apresentado em Costa e Chagas (2004) e Costa, Ferreira e Correa (1996), permite agregar os diversos critérios de avaliação em um critério único de síntese, por meio da atribuição de pesos aos vários critérios, respeitando as opiniões dos decisores. Mediante a comparação par a par da atratividade das alternativas, são atribuídos os pesos aos critérios: dadas duas alternativas, o decisor deve dizer qual a mais atrativa (deve receber a maior nota) e qual o grau desta atratividade em uma escala semântica que tem correspondência com uma escala ordinal.
SAW (<i>Simple Additive Weighting</i>)	Método que consiste em quantificar os valores dos atributos (critérios) para cada alternativa, construindo a Matriz de Decisão contendo estes valores, derivando a Matriz de Decisão normalizada, nomeando a importância (pesos) para os critérios e calculando a contagem global para cada alternativa. Então, a alternativa com a contagem mais alta é selecionada como a preferida (melhor) (JANIC; REGGIANI, 2002).

Quadro 1. Métodos mais conhecidos da Escola Francesa.
Fonte: Adaptado de Schmidt, 1995

Em uma primeira observação, pode parecer que o MACBETH apresenta fortes semelhanças com o AHP, assim como o AHP e outros métodos multicritérios de apoio à decisão, compreende duas importantes fases de estruturação e de avaliação. Porém, existem grandes diferenças. No MACBETH, os critérios de uma decisão - denominados de ponto vista – são operacionalizados por indicadores. Na fase de avaliação, também existem, como no AHP, julgamentos entre alternativas aos pares, utilizando-se de matrizes. As principais diferenças estão nas escalas utilizadas nos julgamentos e na validação destes, que no MACBETH também pode ser obtida por meio da verificação da coerência teórica e da coerência semântica, além da consistência (SCHMIDT, 1995).

2.3.– Características Gerais dos métodos Multicritérios de Análise de Decisão

As abordagens multicritérios são formas de modelar os processos de decisão que englobam: uma decisão a ser tomada; os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados; os possíveis cursos de ação e, os próprios resultados.

Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos decisores. Desta forma, os métodos multicritérios funcionam como uma base para discussão, principalmente nos casos onde há conflitos entre os decisores, ou ainda, quando a percepção do problema pelos vários atores envolvidos ainda não está totalmente consolidada (NORONHA, 1998). Seu objetivo, portanto, é ajudar o decisor a analisar os dados que são intensamente complexos no campo ambiental e buscar a melhor estratégia de gestão do meio ambiente.

Essas abordagens foram desenvolvidas para problemas que incluem aspectos qualitativos e/ou quantitativos. Elas têm como base o princípio de que a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos quanto as informações utilizadas para a tomada de decisão (SCHMIDT, 1995). Nota-se, que a análise multicritérios leva em conta a subjetividade dos atores (NORONHA, 1998). Por isso, a convicção da interconexão e inseparabilidade dos elementos objetivos e subjetivos do contexto decisório, e a certeza da aprendizagem e do construtivismo são consideradas por Bana e Costa (1993) em Souza (1999) como as características mais importantes dos Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (MMAD).

Os Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão permitem avaliar critérios que não podem ser transformados em valores financeiros. Sua aplicação é apropriada para comparar alternativas de projetos, políticas e cursos de ação e também para analisar projetos específicos, identificando seu grau de impacto global, as ações mais eficazes e as que devem ser modificadas (FERNANDES, 1996).

Desta forma, a metodologia multicritérios dá ao grupo envolvido no processo de tomada de decisão, subsídios necessários para obter uma solução que melhor se ajuste às suas necessidades.

Com a aplicação dos modelos multicritérios, o decisor poderá estimar as possíveis implicações de cada curso de ação, de modo a obter uma melhor compreensão das vinculações entre suas ações e seus objetivos (FLAMENT, 1999).

O desafio é identificar, entre critérios conhecidos ou implícitos, quais são relevantes para o problema de decisão (HENING e BUCHANAN, 1994). As variáveis de decisão são as ações detalhadas que devem ser escolhidas e comunicadas. A decisão do grupo será a combinação das preferências individuais, resultando, portanto, em um intercâmbio de decisões entre seus membros, por meio da negociação das propostas aceitáveis. Logo, se o acordo é obtido, elas são automaticamente pactuadas (GOMES e MOREIRA, 1998). A forma de tratamento analítico da informação é tão importante quanto a própria qualidade da informação disponível ao longo do processo de resolução de um problema complexo. Fundamentalmente, ela deve agregar valor à qualidade da informação, havendo, por conseguinte, uma relação estreita entre a qualidade da informação e a qualidade do apoio à tomada de decisão (GOMES e MOREIRA, 1998). Por isso, os resultados obtidos pela análise multicritérios dependem do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, da escolha e estruturação dos critérios, dos valores de ponderação atribuídos aos critérios, do método de agregação utilizado e da participação dos diferentes atores (SOARES, 2003). É possível notar, portanto, o esforço dos MMAD em representar o mais fielmente possível as preferências do decisor ou do grupo de decisores, mesmo que essas preferências não sejam totalmente consistentes. Estes métodos, contudo, não visam apresentar uma solução ao problema, elegendo uma única verdade representada pela ação selecionada. Na realidade, eles buscam apoiar o processo decisório com a recomendação de ações ou cursos de ações a quem vai tomar decisão.

2.4. – Etapas de uma Análise Multicritérios

A análise multicritérios é desenvolvida em etapas que, de modo geral, podem ser representadas no Quadro 2, da seguinte maneira (SOARES, 2003):

1ª Etapa	Formulação do problema	De um modo bastante simples, corresponde à definição do que se quer decidir.
2ª Etapa	Determinação das ações ou alternativas potenciais	Os atores envolvidos na tomada de decisão devem constituir um conjunto de ações que atendam ao problema colocado.
3ª Etapa	Definição dos critérios de avaliação	Elaboração de um conjunto de critérios que permita avaliar os efeitos causados pela ação ao meio ambiente. Esta é uma tarefa longa, com sucessivas aproximações entre os objetivos desejados e a possibilidade de atendimento com os recursos financeiros, tempo e conhecimentos disponíveis.
4ª Etapa	Avaliação das alternativas	Esta etapa é, geralmente, formalizada pela construção de uma matriz de avaliações ou tabela de performances, na qual as linhas correspondem às ações ou alternativas a avaliar e as colunas representam os respectivos critérios de avaliação previamente estabelecidos.
5ª Etapa	Determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação	Os pesos traduzem numericamente a importância relativa de cada critério, revelando as preferências dos decisores (PRATO, 2003). A ponderação de critérios pode ser realizada com o uso de várias técnicas como: hierarquização de critérios, notação, distribuição de pesos, taxa de substituição, regressão múltipla, jogos de cartas, dentre outros (SOARES, 2003).
6ª Etapa	Agregação dos critérios	Após o preenchimento da matriz de avaliação, os critérios são agregados, segundo um modelo matemático definido, associando as avaliações dos diferentes critérios para cada ação ou alternativa. As ações serão em seguida comparadas entre si por um julgamento relativo de seus valores.

Quadro 2. Etapas de análise Multicritério
Fonte : Adaptado de Soares, 2003

A Figura 1 apresenta as etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão. Nela são descritas as atividades desenvolvidas pelo facilitador e pelos decisores.

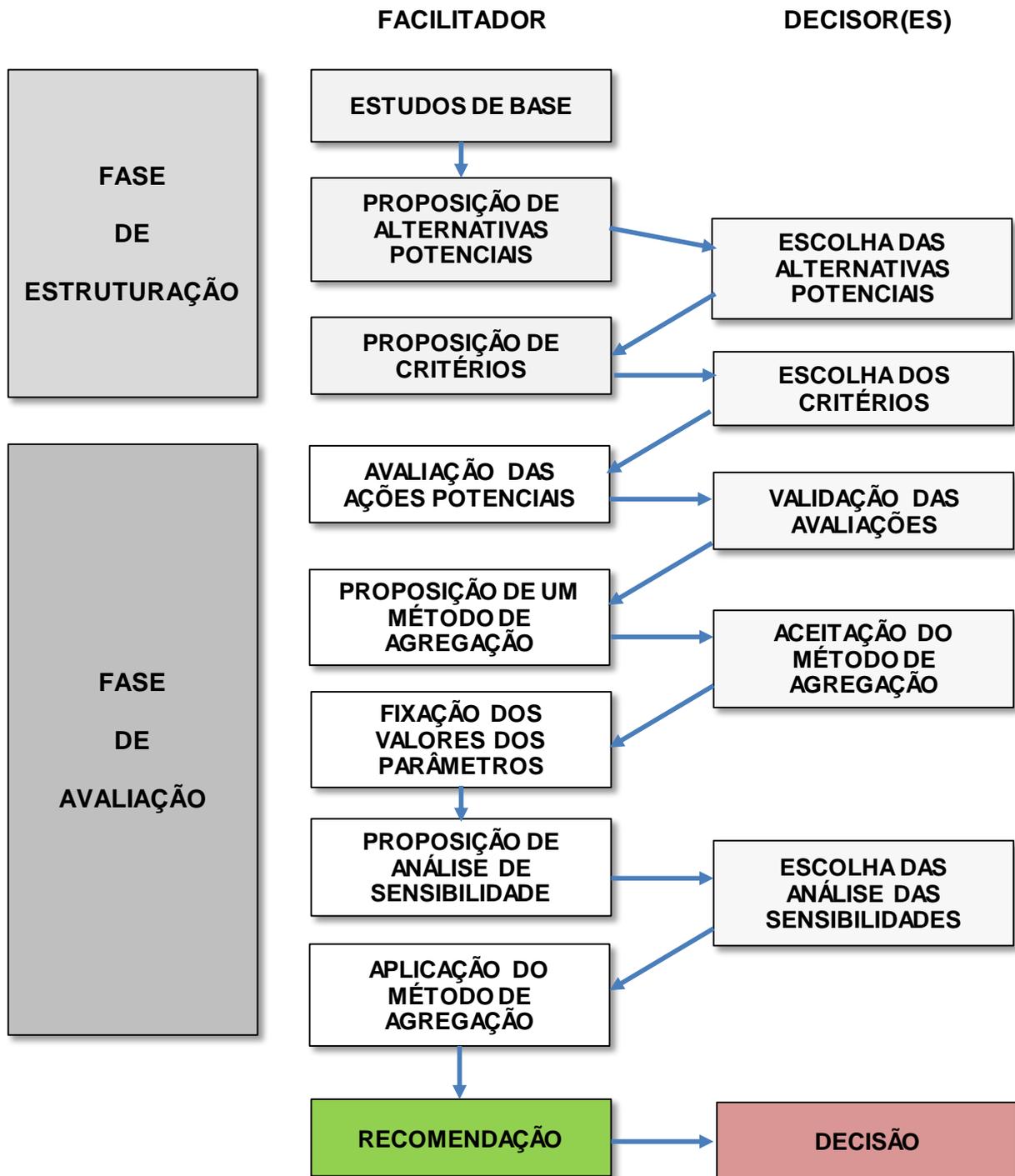


Figura 1 - Etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão.
Fonte: Adaptado de Soares (2003).

A execução destas etapas apresenta algumas dificuldades, como destaca Fernandes (1996) no Quadro 3:

Dificuldades Apresentadas na execução dos Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão:
1. Existência de múltiplos critérios;
2. Dificuldade em identificar boas opções;
3. Presença de fatores intangíveis;
4. Multiplicidade de grupos afetados pelas decisões;
5. Natureza sequencial das decisões;
6. Horizonte de longo prazo;
7. Risco e incerteza;
8. Risco à vida;
9. Natureza interdisciplinar dos impactos;
10. Presença de vários decisores;
11. Interdependência entre critérios.

Quadro 3. Dificuldades apresentadas na execução dos MMAD
Fonte: Adaptado de Fernandes, 1996

As etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão descritas na Figura 2 caracterizam duas fases distintas da aplicação dos MMAD: a estruturação e avaliação. Na estruturação o modelo é efetivamente construído, definindo-se que aspectos serão considerados. Na avaliação são criadas as formas para mensurar os aspectos considerados importantes. Ao final deste processo, são propostas as recomendações aos decisores, como se observa na Figura 3 (BANA E COSTA, 2005).

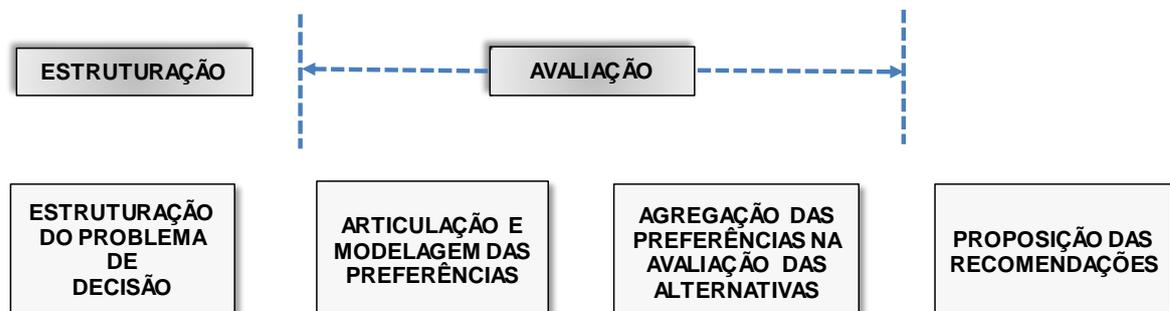


Figura 2 - Fases de aplicação dos Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão.
Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

A estruturação, para Bana e Costa (2005), é uma fase de análise do sistema em estudo. Ela conduz à identificação, caracterização e hierarquização dos principais atores intervenientes e à explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si, em termos dos méritos e desvantagens relativas, frente a um conjunto de critérios de avaliação que, nesta fase, são definidos de acordo com os pontos de vista dos atores.

Já a avaliação, é considerada uma fase de síntese, onde a análise de sensibilidade e robustez é utilizada para esclarecer a escolha. Realiza-se a valoração das alternativas ou ações potenciais, por meio da articulação e modelagem das preferências (BANA E COSTA, 2005).

Na aplicação dos MMAD é feito o levantamento do conjunto de alternativas A ($A = \{a_1 \dots a_j \dots a_n\}$) e do conjunto de critérios F ($F = \{g_1 \dots g_j \dots g_m\}$). As alternativas do conjunto A, são comparadas entre si considerando seus desempenhos nos critérios do conjunto F. Para a valoração de cada alternativa, em cada critério, adota-se a notação $g_j(a_i)$. Os resultados são tabulados na matriz de avaliação (GARTNER, 2001) apresentado na Figura 3:

	g_1	g_j	g_m
a_1	$g_1(a_1) \dots$	$g_j(a_1) \dots$	$g_m(a_1) \dots$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
a_j	$g_1(a_j) \dots$	$g_j(a_j) \dots$	$g_m(a_j) \dots$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
a_n	$g_1(a_n) \dots$	$g_j(a_n) \dots$	$g_m(a_n) \dots$

Figura 3. Matriz de Avaliação em MMAD
Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

Depois de obter as preferências do decisor efetua-se a agregação, definido o tipo de método multicritérios de apoio à decisão a ser aplicado. Roy (1985), Bana e Costa (1995), Jacquet-Lagrange (1995) e Vincke (1995) em Gartner (2001), com base no procedimento de agregação das preferências, classificam os MMAD em três tipos:

a) Métodos de agregação a um critério único de síntese.

Os métodos de critério único de síntese definem que as preferências dos decisores podem ser representadas por uma função de utilidade ou de valor. Estas devem ser avaliadas pelo analista com o uso de modelos aditivos, multiplicativos, entre outros (GARTNER, 2001).

Estes métodos adotam o princípio da transitividade e não admitem a incompatibilidade das ações potenciais. Consideram, em geral, somente as situações de preferência e indiferença, o que resulta em ordenações totais das alternativas (GARTNER, 2001). Alguns exemplos destes métodos são: UTA, AHP, MACBETH, MAVT, SMART e TOPSIS (GONÇALVES, 2001). A Figura 4 apresenta o fluxo de processamento destes modelos.

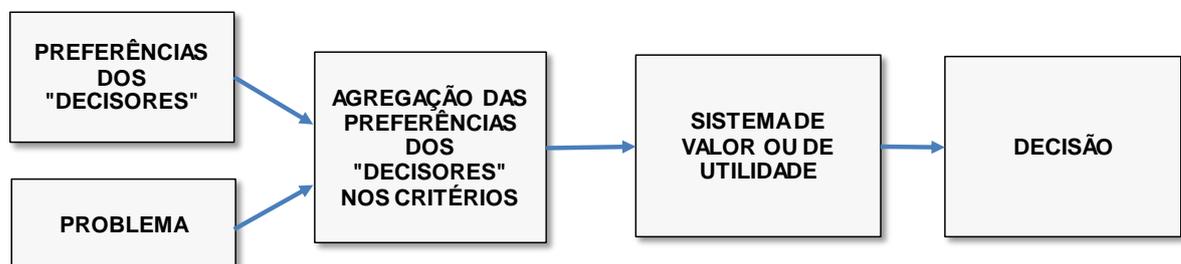


Figura 4 – Fluxo de processamento dos modelos de critério único de síntese.
Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

b) Métodos de subordinação ou *outranking*

A relação *outranking* é definida como sendo binária. Ela compara os argumentos favoráveis e contrários à hipótese de que a ação “a” é no mínimo tão boa quanto a ação “b”. Isso equivale dizer que a é “não pior que” b, por meio da notação: $a S b$ (a outranks b) (GARTNER, 2001).

Relações *outranking* (S) permitem o tratamento da incompatibilidade entre as ações. As situações de incompatibilidade podem ocorrer na prática, devido à incerteza e imprecisão dos dados utilizados e pelas características próprias do decisor. Convém destacar que não há necessidade de que as relações *outranking*

atendam ao princípio da transitividade. Estas abordagens definem condicionantes em sistema de preferências, no qual devem ser enquadrados os desempenhos fornecidos pelo decisor para cada uma das ações (GARTNER, 2001). A Figura 5 representa o fluxo de processamento destes modelos.



Figura 5 – Fluxo de processamento dos modelos *outranking*.
Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

Gonçalves (2001) e Gartner (2001) citam alguns métodos *outranking* entre estes se destacam: PROMETHEE, ELECCALC, ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III e ELECTRE IV. Maiores informações poderão ser encontradas nestas referências.

c) Métodos interativos

Os métodos interativos, também são conhecidos como *Multi-Objective Decision Making* (MODM), têm como base as técnicas de programação matemática envolvendo conjuntos contínuos de alternativas com espaços contínuos de soluções. Eles alternam passos computacionais e diálogo com os tomadores de decisão: o primeiro passo computacional provê uma primeira solução que é apresentada aos tomadores de decisão, que reagem dando informações extras sobre suas preferências, permitindo a construção de uma nova solução (TOPCU, 1999).

2.5. – Principais Métodos Multicritérios de Análise de Decisão

A seguir serão detalhados alguns dos principais métodos multicritérios de análise de decisão, dentre eles estão: AHP; MACBETH; PROMETEE e ELECTRE.

a) AHP – *Analytic Hierarchy Process*

O método AHP reduz decisões complexas dentro de uma série de comparações simples (*Pairwise Comparisons*) entre elementos da hierarquia de

decisão. Pela síntese dos resultados destas comparações, o AHP pode ajudar a chegar à melhor solução e prover uma clara razão para a escolha feita (MENDOZA *et al.*, 1999). O AHP é uma ferramenta muito útil por ser uma boa medida da hierarquia dos princípios, critérios, indicadores e verificadores (MENDOZA *et al.*, 1999). Ele aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema dentro de uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica (GOMES; MOREIRA, 1998).

A Figura 6 apresenta um fluxograma do funcionamento geral do método.

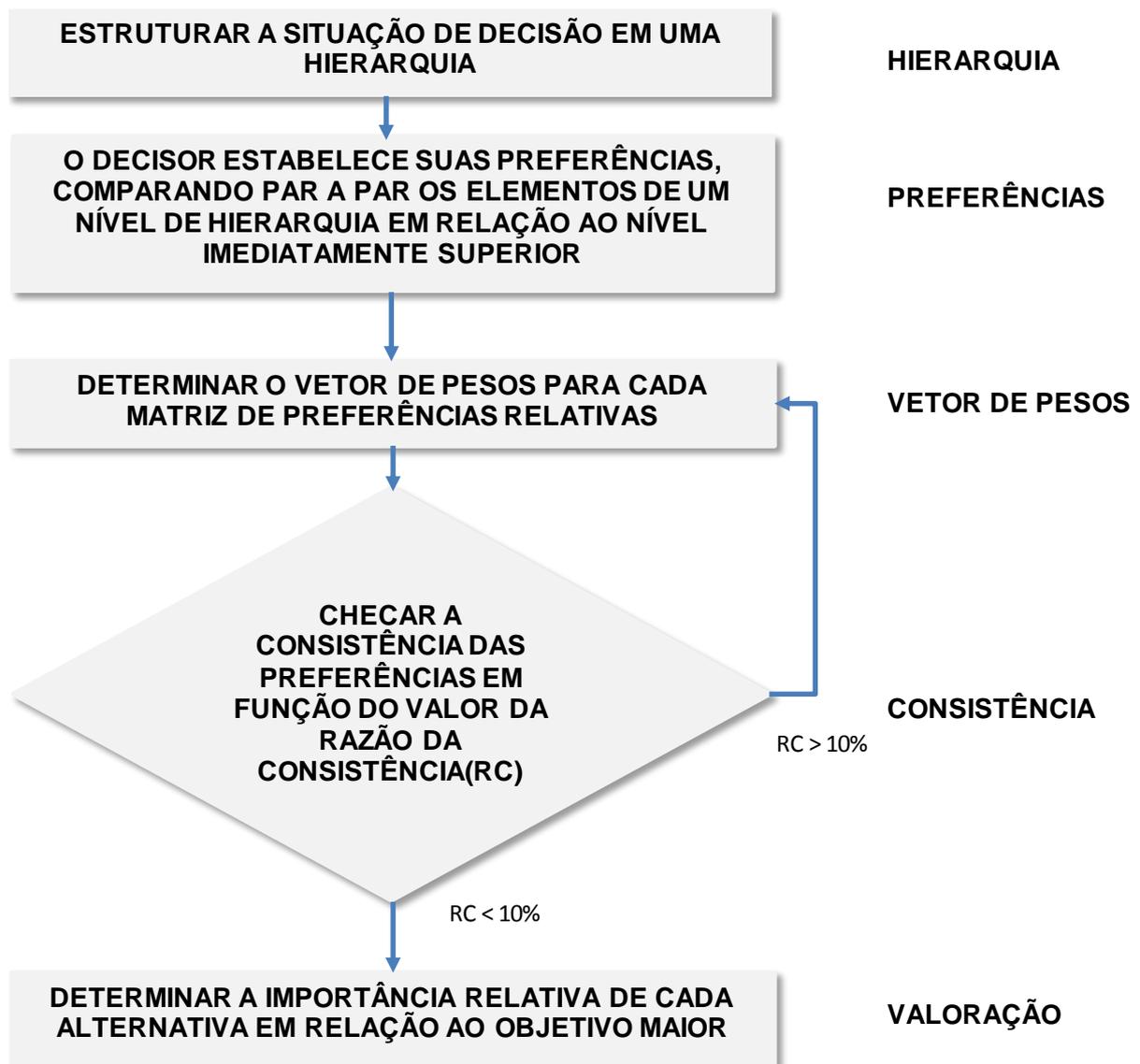


Figura 6 - Fluxograma geral do AHP.
Fonte: Adaptado de Schmidt (1995).

b) MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique.

O método MACBETH foi desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vansnick em 1994. Ele constrói uma função critério de um ponto de vista fundamental e determina os parâmetros relacionados com a informação (pesos na fase de agregação) (BANA E COSTA *et al.*, 1999; GOMES; ALENCAR, 2005).

Trata-se de uma abordagem que requer somente julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor para ajudar um indivíduo ou um grupo quantificar a atratividade relativa das opções, como se observa na Figura 7 (BANA E COSTA; *et al.*, 1999) (BANA E COSTA, 2005) (CORTE; VANSNICK, 2004). O MACBETH mede o grau de preferência de um “decisor” sobre um conjunto de alternativas e, dessa forma, permite que se verifique inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a revisão (BANA E COSTA; VANSNICK, 1994). Sua maior vantagem, portanto, é interatividade (FERNANDES, 1996).

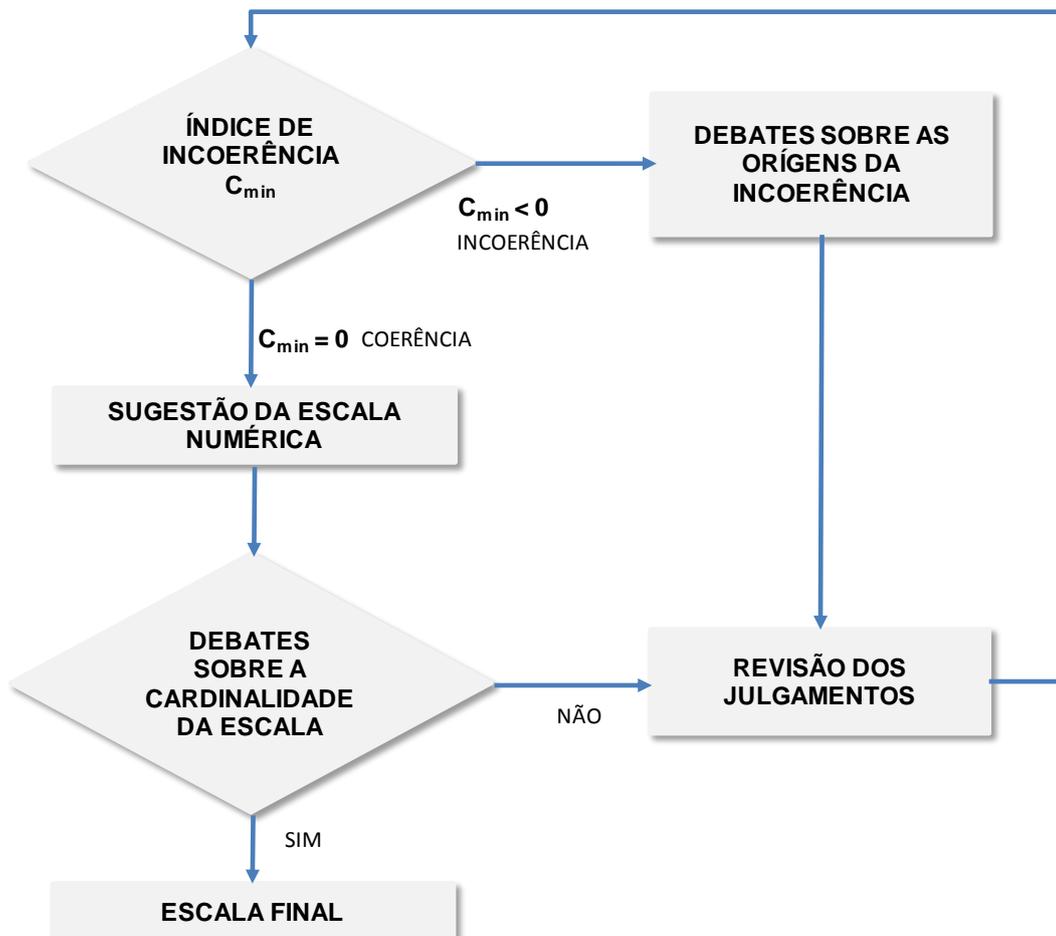


Figura 7 - Fluxograma do processo interativo do MACBETH.
Fonte: Adaptado de Schmidt (1995).

c) PROMETEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*.

O método PROMETEE tem como objetivo proporcionar aos decisores um melhor entrosamento e entendimento da metodologia de apoio à decisão utilizada (GARTNER, 2001). Ele atua na construção de relações de superação valorizadas, incorporando conceitos e parâmetros que possuem alguma interpretação física ou econômica facilmente compreensível pelo decisor.

Esta abordagem faz uso abundante do conceito de pseudocritério, já que constrói o grau de superação entre cada par de ações ordenadas levando em conta a diferença de pontuação que essas ações possuem a respeito de cada atributo (FLAMENT, 1999). Sua aplicação é indicada para solução de problemas formados por um número finito de alternativas e por vários critérios de decisão, que devem ser maximizados ou minimizados de acordo com a necessidade (SANTOS *et al.*, 2005).

Há várias versões do PROMETHEE. Em PROMETHEE I se obtém uma pré-ordem parcial, e no PROMETHEE II pode-se obter uma pré-ordem total considerando os fluxos líquidos de cada alternativa. Outras variantes do método analisam situações mais sofisticadas de decisão, em particular problemas com um componente estocástico. Dessa forma se desenvolvem as versões PROMETHEE III, PROMETHEE IV e PROMETHEE V (FLAMENT, 1999).

d) ELECTRE - *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*

ELECTRE são métodos baseados em relações de superação para decidir sobre a determinação de uma solução, que mesmo sem ser ótima pode ser considerada satisfatória, e obter uma hierarquização das ações (FLAMENT, 1999). Eles se sustentam em três conceitos fundamentais: concordância, discordância e valores-limite (*outranking*), utilizando um intervalo de escala no estabelecimento das relações de troca na comparação aos pares das alternativas (GONÇALVES, 2001).

Estes métodos foram desenvolvidos pela Escola Francesa e, atualmente contam com os procedimentos ELECTRE I, II, III IV, IS e ELECTRE TRI, que resolvem diferentes tipos de problemas suscitados no tratamento da teoria da decisão (FLAMENT, 1999). Estas técnicas podem ser aplicadas na solução de problemas de gestão de recursos hídricos, caracterizados por alternativas avaliadas por critérios preferencialmente qualitativos, com fixação prévia das preferências por

parte dos decisores. Também são utilizados para variáveis contínuas, critérios quantitativos, ou para situações mistas (GONÇALVES, 2001). Entretanto, Gartner (2001) adverte que os métodos ELECTRE envolvem conceitos complexos. Além disso, requerem muitos parâmetros para a construção dos limiares de discriminação, concordância e discordância.

2.6. – Análise Crítica dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão

As abordagens multicritérios apresentam duas prerrogativas decisivas: definir e evidenciar a responsabilidade do decisor e melhorar a transparência do processo de decisão (SOARES, 2003). Elas proporcionam uma melhor adaptação aos contextos decisórios encontrados na prática, permitindo que um grande número de dados, interações e objetivos sejam avaliados de forma integrada. Este fato é apontado por Gartner (2001) como a maior vantagem dos MMAD em relação aos modelos monocritérios tradicionais, dos quais se destaca a análise custo-benefício.

Outra vantagem dos MMAD está relacionada com o consenso geral em um grupo multidisciplinar na tomada de decisão: não é necessário que todos concordem com a importância relativa dos critérios ou com a ordenação das alternativas. Assim, cada um apresenta seus próprios julgamentos e contribui distintamente para que uma conclusão seja alcançada em conjunto (MENDOZA, et al., 1999). Segundo Bouyssou (1989) em Noronha (1998), isto ocorre porque as abordagens multicritérios assumem que, na maioria dos contextos decisórios, é possível identificar um pequeno número de pontos de vista, normalmente entre três e dez, para construir um conjunto de critérios exaustivo e simples o suficiente para ser aceito como base de discussão por todos os atores envolvidos no processo. As abordagens multicritérios apresentam ainda outros pontos fortes, como (BOUYSSOU, 1990 em MELLO *et al.*, 2003) e (DIAKOULAKI e MAVROTAS, 2004) apresentam no Quadro 4:

OUTROS PONTOS FORTES dos MMAD	
1.	Consideração de uma grande variedade de critérios independentemente do tipo de dados (quantitativos ou qualitativos) e da escala de medida;
2.	Envolvimento de todos os decisores;
3.	Motivação para os decisores refletirem sobre os conflitos, levando em consideração outros pontos de vista e argumentos antagônicos;
4.	Multidisciplinaridade, que captura da complexidade dos sistemas naturais, a pluralidade dos valores associados aos bens ambientais e as variações das;
5.	Percepções de desenvolvimento sustentável;
6.	A construção de uma base para o diálogo entre analistas e decisores que fazem;
7.	uso de diversos pontos de vista comuns;
8.	A facilidade em incorporar incertezas aos dados sobre cada ponto de vista;
9.	Interpretar cada alternativa como um acordo entre objetivos em conflito;
10.	Divisão do processo de desenvolvimento do modelo em duas fases distintas - construção dos critérios de avaliação e definição dos parâmetros que serão utilizados para agregação destes critérios para auxiliar a decisão.

Quadro 4. Outros pontos fortes do MMAD.

Fonte: Adaptado de BOUYSSOU, 1990 em MELLO et al., 2003 e DIAKOULAKI; MAVROTAS, 2004

Não obstante as vantagens apresentadas, Stirling (1996) ressalta que nas abordagens multicritérios, são estabelecidas metas para cada objetivo, para então, minimizar a soma dos desvios nos níveis realizados por cada variável para a qual há uma meta. Conseqüentemente, é gerada uma imensa matriz com diferentes objetivos, metas e pesos, que evidenciam as diversas perspectivas dos agentes envolvidos na escolha.

Assim, os responsáveis pela decisão final farão as suas escolhas considerando vários aspectos distintos. Ressalta-se que a minimização ocorre sujeita a uma série de restrições, que refletem principalmente a demanda por recursos. Surgem, portanto, conflitos entre a simultânea maximização e minimização de todos os objetivos. Além disso, o nível de informações requeridas é muito grande e pode atrapalhar o estabelecimento das metas (STIRLING, 1996). Já Diakoulaki e Mavrotas (2004) destacam como a maior desvantagem destas abordagens, a inexistência de uma metodologia única que supra as deficiências inerentes a cada um dos métodos.

Ao final desta análise, fica claro que os métodos multicritérios para apoio à tomada de decisão agregam um valor substancial à informação, pois, não só permitem a abordagem de problemas considerados complexos e, por isto mesmo, não são tratáveis pelos procedimentos intuitivo-empíricos usuais, mas também dão ao processo de tomada de decisão uma clareza e transparência jamais disponíveis quando métodos de natureza monocritério são empregados (GOMES e MOREIRA, 1998).

Os métodos multicritérios apresentados por Gartner (2001) são as abordagens mais desenvolvidas e exploradas cientificamente, além de apresentar a maior aplicação prática relatada. Torna-se necessário, portanto, selecionar o método adequado ao problema ambiental focado neste trabalho: o uso múltiplo de reservatórios. Deste modo, será possível avaliar as abordagens multicritérios, a fim de saber se elas podem suportar a estruturação dos problemas de uso múltiplo de reservatórios, permitindo que as preocupações dos principais atores sejam exploradas e que haja *trade-offs* entre objetivos conflitantes, levando à avaliação as opções de diferentes perspectivas (BEINAT e NIJKAMP, 1998).

2.7. – Seleção do Método Hierárquico

Muitas situações de tomada de decisão, em um ambiente participativo, envolvem a seleção de alternativas, eventos ou cursos de ação. No entanto, os agentes tomadores de decisão, geralmente, possuem pontos de vista conflitantes e diferentes juízos de valores. Torna-se necessário, portanto, que estas diversidades sejam integradas (SCHMOLDT; PETERSON; SMITH, 1995).

Os métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) aparecem como uma opção para consecução desse propósito. Eles provêm um maior entendimento do contexto multidisciplinar do processo decisório; efetuam a análise da decisão e testam a sua robustez; recomendam um curso de ações ou selecionam a melhor ação a ser implementada; validam a análise da decisão – avaliação *ex post* – e organizam as informações para decisões futuras (GOMES, 1998).

Esses métodos podem, por conseguinte, ser utilizados para: (a) identificar a opção, (b) ordenar as opções, (c) listar um número limitado de alternativas melhor para uma subsequente avaliação detalhada, ou (d) simplesmente distinguir as possibilidades aceitáveis das inaceitáveis (DODGSON *et al.*, 2001) (ALMASRI e

KALUARACHCHI, 2005). Diante da variedade métodos multicritérios existentes e da multiplicidade de características inerentes a cada um, torna-se imprescindível selecionar aquele que melhor se adequa a esta pesquisa. Segundo Gartner (2001), esta escolha pode ser feita em função do tipo de problema de decisão. Ele afirma que os problemas normalmente se enquadram em um dos quatro tipos apresentados no Quadro 5 e exibe no Quadro 6, os métodos adequados a cada tipo de problema.

TIPO DO PROBLEMA	CARACTERÍSTICA	REPRESENTAÇÃO
ESCOLHA	Seleção de somente uma das alternativas	α
TRIAGEM	Escolha de todas boas alternativas	β
CLASSIFICAÇÃO	Escolha de algumas das melhores alternativas	γ
DESCRIÇÃO	Descrição das alternativas e suas consequências	δ

Quadro 5. Tipos de problemas de decisão
Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

GRUPO DE MMAD	MÉTODO	TIPO DE PROBLEMA
MÉTODOS DE CRITÉRIO ÚNICO DE SÍNTESE	TOPSIS	A
	MAVT	A
	UTA	A
	SMART	A
	MAUT	A
	AHP	A
	EVAMIX	α, χ
	SOMA Poderosa Difusa	α, χ
	Maxmin Difuso	A
MÉTODOS <i>OUTRANKING</i>	ELECTRE I	A
	ELECTRE II	A
	ELECTRE III	X
	ELECTRE IV	X
	ELECTRE TRI	X
	PROMETHEE I	B
	PROMETHEE II	X
	MELCHIOR	X
	ORESTE	X
	REGIMA	X
	NAIADE	X

Quadro 6. Métodos Multicritérios adequados a cada tipo de problema de decisão
Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

Ao analisar as características dos tipos de problema indicados no Quadro 6, percebe-se que os mesmos não são excludentes. Isto ocorre porque, para seleção de somente uma das características, ou para a escolha de todas as boas alternativas ou de algumas das melhores alternativas, devem ser conhecidas previamente todas as alternativas e suas consequências. Antes de adotar esse procedimento para seleção do método a ser empregado nesta pesquisa, optou-se por analisar as características de desempenho dos MMAD mais utilizados.

Salomon e Montevechi (2001) apresentam as comparações efetuadas por Zanakis *et al.* (1998) entre os métodos AHP, TOPSIS e ELECTRE. Saunders (1994) analisou as características técnicas dos métodos SJT, MAUT, AHP e PA. Já Guglielmetti, Marins e Salomon (2003) avaliaram alguns MMAD de acordo com determinadas características de desempenho, como pode se observar no Quadro 7.

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO	AHP	MAHP	ELECTRE
ENTRADA DE DADOS			
Utilização em decisões com vários níveis	SIM	SIM	NÃO
Restrições á quantidade de elementos de um nível	SIM	NÃO	NÃO
Quantidades de julgamentos em problemas de multicritérios e alternativas	ALTA	MEDIA ALTA	BAIXA
Necessidade de processar os dados antes de seu uso	NÃO	SIM	SIM
Permite tratar dados quantitativos e qualitativos	SIM	SIM	SIM
Possibilidade de lidar com problemas do tipo técnico	SIM	SIM	SIM
Possibilidades de tratar critérios e alternativas dependentes	NÃO	NÃO	NÃO
Permite criar escalas de julgamentos conforme contexto	NÃO	SIM	NÃO
SAÍDA DE DADOS			
Problemas com alocação em conjunto	NÃO	NÃO	NÃO
Problemas com avaliação do desempenho	SIM	SIM	NÃO
Problemas com avaliação do desempenho em classes	NÃO	NÃO	NÃO
<i>Ranking</i> completo de alternativas	SIM	SIM	NÃO
Soluções muito refinadas	SIM	SIM	NÃO
Somente eliminação de algumas alternativas	NÃO	NÃO	SIM
Permite avaliação de coerência dos julgamentos	SIM	NÃO	NÃO
INTERFACE TOMADOR DE DECISÃO X MÉTODO			
Disponibilidade de <i>software</i> para <i>download</i> gratuito	SIM	NÃO	NÃO
Necessidade de um especialista no método utilizado	MEDIA	ALTA	MEDIA
Utilização de decisões em grupo	SIM	SIM	NÃO
Permissão para a participação de mais de uma pessoa na decisão	SIM	SIM	SIM
Facilidade para estruturar o problema	ALTA	MEDIA	*
Possibilita o aprendizado sobre a estrutura do problema	SIM	SIM	*
Nível de compreensão conceitual e detalhado do modelo	ALTA	MEDIA	BAIXA
Nível de compreensão referente a forma de trabalho	ALTA	ALTA	BAIXA
Transparência no processamento e nos resultados	ALTA	BAIXA	MEDIA
Quantidade de aplicações práticas	ALTA	ALTA	BAIXA
Número de publicações científicas	ALTA	BAIXA	MEDIA

Quadro 7. Comparação teórica entre métodos multicritérios de análise de decisão.

Fonte: Adaptado de Guglielmetti, Marins e Salomon (2003).

* Não há estudos que tratem especificamente do assunto.

Analisando as informações contidas no Quadro 7, percebe-se que o método ELECTRE possui várias restrições, enquanto o AHP se destaca principalmente pelas características relacionadas à interface Tomador de Decisão X Método.

Para a escolha do método apropriado ao desenvolvimento desta pesquisa, além de considerar as informações contidas no Quadro 7, realizou-se um estudo profundo da literatura disponível sobre os MMAD. Neste intento, foram considerados

principalmente os seguintes aspectos: consistência; lógica; transparência; facilidade de uso; quantidade de aplicações práticas; publicações científicas; tempo requerido para o processo de análise e disponibilidade de *software*.

Seguindo esses critérios, chegou-se à conclusão de que o método mais adequado é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Ele possui vários atributos desejáveis para a realização do estudo proposto como: a) é um processo de decisão estruturado que pode ser documentado e repetido; b) é aplicável a situações que envolvem julgamentos subjetivos; c) utiliza tanto dados quantitativos como qualitativos; d) provê medidas de consistência das preferências; e) há uma ampla documentação sobre suas aplicações práticas na literatura acadêmica; f) seu uso apropriado para grupos de decisão (JIANYUAN, 1992) (STEIGUER; DUBERSTEIN; LOPES, 2005).

2.8. O Método AHP (Analytic Hierarchy Process)

Medição de desempenho é uma tarefa desafiante. Nem sempre os dados estão disponíveis, acessíveis ou estruturados na forma ideal para consolidação. Além disso, há também os aspectos subjetivos a serem considerados, cujas medições são ainda mais complexas, exatamente por serem de caráter pessoal e de difícil externalização.

Apesar da quantidade de diversas variáveis objetivas ou subjetivas possíveis (ex. custos, percepção, quantidades, produtividade, ambiente, cultura, tempo, etc), Meyer (2003) afirma que simplificar a medição é a melhor solução. O autor defende que todas as medidas são imperfeitas e não é necessário medir mais, apenas encontrar uma forma que traduza o que realmente importa e conduza a um plano de ação eficiente.

Esse é o fundamento do método de análise hierárquica, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*): decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1991). Através desse método, será proposta uma forma de avaliação de desempenho de projetistas contratadas para projetos industriais, pela relevância das projetistas no sucesso da execução do projeto. A validação do método proposto será efetuada por meio do estudo com aplicação em um projeto industrial com essa necessidade.

A seguir, será descrito o funcionamento do processo de hierarquização do AHP.

A ideia central da teoria da análise hierárquica introduzida por Saaty é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. A utilidade do método realiza-se no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas.

Para o autor, a teoria reflete o método natural de funcionamento da mente humana, isto é, diante de um grande número de elementos (controláveis ou não), a mente os agrega em grupos segundo propriedades comuns. O cérebro repete esse processo e agrupa novamente os elementos em outro nível mais elevado, em função de propriedades comuns existentes nos grupos de nível imediatamente abaixo. A repetição dessa sistemática atinge o nível máximo quando este representa o objetivo do nosso processo decisório. E, assim, é formada a hierarquia, por níveis estratificados. Para analisar os elementos dessa hierarquia, a questão definida pelo criador da teoria é: com que peso os fatores individuais do nível mais baixo da hierarquia influenciam seu fator máximo, o objetivo geral? Desde que essa influência não seja uniforme em relação aos fatores, chegamos às prioridades, que são os pesos relativos desenvolvidos para destacar as diferenças entre os critérios.

O *Decision Support Systems Glossary* (DSS, 2006) define AHP como “uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um *ranking* total das alternativas”.

Saaty (1991) explica que a determinação das prioridades dos fatores mais baixos com relação ao objetivo reduz-se a uma sequência de comparação por pares, com relações de *feedback*, ou não, entre os níveis. Essa foi a forma racional encontrada para lidar com os julgamentos. Através dessas comparações por pares, as prioridades calculadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas e demonstram a intensidade de domínio de um critério sobre o outro ou de uma alternativa sobre a outra.

2.8.1. Benefícios, Limitações e Aplicações do AHP

O benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados

físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão. (SAATY, 1994)

Grandzol (2005) afirma que, por reconhecer que participantes podem estar incertos ou fazer julgamentos pobres em algumas comparações, o método de Saaty envolve comparações redundantes para melhorar a validade destas. O autor adverte que a tolerância de inconsistências não é uma limitação, mas sim um retrato da realidade. Assim, a aplicação do AHP inclui e mede todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis, para aproximar-se de um modelo realista.

Contudo, é preciso reconhecer as limitações também. Uma das limitações do método é a sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis onde a aplicação é percebida como simplificação excessiva ou como desperdício de tempo. (GRANDZOL, 2005)

Convém também destacar, as aplicações já efetuadas com o método, provando-se a aplicabilidade do método AHP no mercado profissional e também no meio acadêmico. No campo acadêmico, as áreas de aplicações de sucesso incluem seleção de corpo docente (GRANDZOL, 2005), prioridades de pesquisa de agricultura internacional (BECKER, 2004), medição de eficiência do gerenciamento de atividades e pesquisa e desenvolvimento em universidades (FENG, 2004).

No campo profissional, as áreas de aplicações de sucesso incluem decisão estratégia de TI (MURAKAMI, 2003), escolha de operador logístico (SANTANA, 2004), planejamento de projeto de produto (HUMMEL, 2002), avaliação de riscos em projetos de ERP – Enterprise Resource Planning (Huang, 2004), prioridades em sistema de gestão de segurança (CHAN, 2004) e proposição de um indicador geral. (FRANCISCHINI, 2003)

Para Becker (2004), a natureza de problemas de multicritérios soma-se aos processos de priorização, já que envolvem *trade-offs* significativos, o que requer atribuição de pesos para cada critério, como o AHP faz. A escolha do método pela autora justificou-se por considerar que muitas decisões de pesquisas são fortemente baseadas em julgamentos subjetivos.

Murakami (2003) aplicou o AHP em problemas de TI por considerá-los desestruturados e com múltiplos critérios qualitativos e quantitativos. Hummel (2002) também considerou AHP a ferramenta mais apropriada para análise de decisão de multicritério no apoio à definição de planejamento de projeto de produto, porque

promoveu um ponto de referencial de competitividade através das comparações paritárias entre as alternativas dos novos produtos. Além disso, a redundância nas comparações paritárias do AHP permitiu checar a inconsistência dos julgamentos.

No caso apresentado por Feng (2004) usou-se o AHP antes do DEA (*Data Envelopment Analysis*) para obter os pesos relativos dos indicadores a serem utilizados no DEA. Francischini (2003) também adotou o mesmo processo para consolidar um indicador geral. Adotou o AHP para permitir a atribuição de graus de prioridade através da determinação de pesos, viabilizando assim a unificação e consequente redução do número de fatores a serem flexibilizados pelo DEA.

Santana (2004) propôs um modelo de desenvolvimento de Sistema de Medição de Desempenho Logístico para o qual a seleção dos indicadores de desempenho foi realizada com o AHP. O autor justificou a escolha por se tratar do método matemático mais simples de todos os métodos de apoio multicritério à decisão e por ser o mais difundido e aplicado para apoio à decisão atualmente nas empresas.

2.8.2. A Hierarquia do AHP

O método AHP divide o problema geral em avaliações de menor importância, enquanto mantém, ao mesmo tempo, a participação desses problemas menores na decisão global. Ou seja, ao encarar um problema complexo, é mais fácil dividi-lo em outros menores, porque, quando solucionados individualmente e depois somados, estes representam a decisão do problema inicial buscada. Sob essa lógica hierárquica, convém introduzir a definição, as características e a importância da hierarquia na metodologia.

Saaty (1991) afirma que hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total. Essa abstração pode tomar várias formas inter-relacionadas, todas descendentes de um objetivo geral, abrindo-se em sub-objetivos, desmembrando-se nas forças influentes e até nas pessoas que influenciam essas forças.

Dois questões surgem na estrutura hierárquica dos sistemas (SAATY, 1991):
1) Como estruturar hierarquicamente as funções de um sistema? ; 2) Como medir impactos de cada elemento na hierarquia?

A parte mais criativa de tomadas de decisão que tem efeito significativo no resultado é a modelagem do problema. No método AHP, um problema é estruturado como hierarquia e, posteriormente, sofre um processo de priorização. Saaty (1991) explica que priorização envolve explicitar julgamentos de questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade. Assim, afirma que o princípio básico a se seguir na criação dessa estrutura é sempre tentar responder a seguinte questão: posso comparar os elementos de um nível abaixo usando alguns ou todos os elementos no próximo nível superior como critérios ou atributos dos elementos do nível inferior?

Para elaborar a forma de uma hierarquia, Saaty (1994) fornece sugestões úteis: 1) identificar o problema geral. Qual a questão principal?; 2) identificar os sub-objetivos do objetivo geral. Caso relevante, identificar o horizonte de tempo que afetam a decisão; 3) identificar os critérios que devem ser satisfeitos para satisfazer os sub-objetivos do objetivo geral; 4) identificar os subcritérios abaixo de cada critério. Vale ressaltar que critérios e subcritérios podem ser especificados em termos de faixas de valores de parâmetros ou em termos de intensidades como alta, média, baixa; 5) identificar os atores envolvidos; 6) identificar os objetivos dos atores; 7) identificar as políticas dos atores; 8) identificar opções e resultados; 9) para decisões sim-não, tomar o resultado mais preferível e comparar os benefícios e custos de tomar decisão com os de não se tomar a decisão; 10) realizar uma análise de custo-benefício usando valores marginais. Como lidamos com hierarquia de dominância, deve-se perguntar qual alternativa gera o melhor benefício, que alternativa é mais custosa e, para riscos, qual alternativa é mais arriscada.

Uma hierarquia bem construída será um bom modelo da realidade, podendo trazer vantagens. Primeiramente, a representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos. A hierarquia também permite a obtenção de uma visão geral de um sistema, desde os atores de níveis mais baixos até seus propósitos nos níveis mais altos. Finalmente, os modelos hierárquicos são estáveis e flexíveis: estáveis porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; já flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho.

Por outro lado, uma hierarquia não linear apresentaria arranjos circulares, de modo que um nível superior poderia ser dominado por um nível inferior e estar também numa posição dominante.

Entretanto, apesar de apresentar vantagens, a hierarquia por si própria não é uma ferramenta poderosa no processo de tomada de decisões ou de planejamento. É preciso computar a força com que elementos de um nível atuam sobre os elementos do nível mais alto seguinte, assim como considerar forças relativas entre os níveis e os objetivos gerais.

Para sua efetivação, utiliza-se a escala de prioridades relativas do método AHP, descrito a seguir.

2.8.3. Processo de Hierarquização do Método AHP

Conforme já apresentado, a metodologia do AHP constitui-se de decomposição por hierarquias e síntese pela identificação de relações através de escolha consciente.

A prática da tomada de decisões está ligada à avaliação das alternativas, todas satisfazendo um conjunto de objetivos pretendidos. O problema está em escolher a alternativa que melhor satisfaz o conjunto total de objetivos. Estamos interessados em obter pesos numéricos para alternativas com relação a sub-objetivos e, para sub-objetivos com relação a objetivos de ordem mais elevada (SAATY, 1991). O meio de estruturar logicamente os objetivos e sub-objetivos do problema de decisão é pela hierarquia, como descrito anteriormente.

Grandzol (2005) descreve que, através de comparações aos pares em cada nível da hierarquia baseadas na escala de prioridades do AHP, os participantes desenvolvem pesos relativos, chamados de prioridades, para diferenciar a importância dos critérios.

Para fazer bom uso da escala de prioridades, entretanto, é preciso compreender o que são os julgamentos no método criado por Saaty. Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação entre dois elementos que possuem o mesmo pai. O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado numa matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos. Cada julgamento representa a dominância de um elemento da coluna à esquerda sobre um elemento na linha do topo (SAATY, 1994).

A escala recomendada por Saaty (1991), mostrada na Quadro 8, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e significando a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios

intermediários de importância entre esses níveis 1 e 9. Além disso, desconsiderando as comparações entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se das comparações recíprocas na matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados, conforme pode ser observado na Quadro 8.

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	PONTUAÇÃO	FORMA DE AVALIAÇÃO
1	IGUAL IMPORTÂNCIA	AS DUAS ATIVIDADES CONTRIBUEM IGUALMENTE PARA O OBJETIVO
3	IMPORTÂNCIA PEQUENA DE UMA SOBRE OUTRA	A EXPERIÊNCIA E O JULGAMENTO FAVORECE LEVEMENTE UMA ATIVIDADE EM RELAÇÃO À OUTRA
5	IMPORTÂNCIA GRANDE OU ESSENCIAL	A EXPERIÊNCIA OU JULGAMENTO FAVORECE FORTEMENTE UMA ATIVIDADE EM RELAÇÃO À OUTRA
7	IMPORTÂNCIA MUITO GRANDE OU DEMOSTRADA	UMA ATIVIDADE É MUITO FORTEMENTE FAVORECIDA EM RELAÇÃO À OUTRA: SUA DOMINAÇÃO DE IMPORTÂNCIA PODE SER DEMONSTRADA NA PRÁTICA
9	IMPORTÂNCIA ABSOLUTA	A EVIDÊNCIA FAVORECE UMA ATIVIDADE EM RELAÇÃO À OUTRA, COM O MAIS ALTO GRAU DE CERTEZA.
2,4,6,8	VALORES INTERMEDIÁRIOS	QUANDO SE PROCURA UMA CONDIÇÃO DE COMPROMISSO ENTRE DUAS DEFINIÇÕES.
Recíprocos dos valores acima de zero	SE A ATIVIDADE <i>i</i> RECEBE UMA DAS DESIGNAÇÕES DIFERENTES ACIMA DE ZERO, QUANDO COMPARADA COM A ATIVIDADE <i>j</i> , ENTÃO <i>j</i> TEM O VALOR RECÍPROCO QUANDO COMPARADA COM <i>i</i> .	UMA DESIGNAÇÃO RAZOÁVEL
Racionais	RAZÕES RESULTANTES DA ESCALA	SE A CONSISTÊNCIA TIVER DE SER FORÇADA PARA OBTER VALORES NUMÉRICOS <i>N</i> , SOMENTE PARA COMPLETAR A MATRIZ

Quadro 8. Escala Fundamental - AHP.
Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério de nível superior, e com que intensidade, usando a escala de 1-9, da Quadro 8. Convém notar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade. Se o elemento- linha é menos importante do que o elemento-coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz. Devido à relação de reciprocidade e à

necessidade de consistência entre duas atividades ou critérios, os recíprocos dos valores acima de zero são inseridos na matriz criada quando uma comparação entre duas atividades já foi realizada. O processo é robusto, porque diferenças sutis em uma hierarquia na prática não se tornam decisivas.

A seguir na Figura 8 é apresentado o exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP.

CARRO	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Figura 8 – Matriz A – matriz de julgamento.
Fonte: Elaborado pelo autor para ilustração.

Gomes, Araya e Carignano (2004) lembram que Saaty observou que, apesar das diferenças dos estímulos seguirem uma escala geométrica, a percepção dos indivíduos obedece a uma escala linear. Além do fato da existência de um limite psicológico, onde o ser humano pode, no máximo, julgar corretamente de 5 a 9 pontos para distinguir essas diferenças e baseado nestes motivos definiu uma escala para as avaliações, contendo 5 pontos de avaliação mais 4 pontos intermediários, esta foi denominada Escala Fundamental de Saaty como é apresentada na Quadro 8.

As posições da diagonal serão sempre 1, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Para preencher os outros elementos da matriz fora da diagonal, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a Tabela 1, que apresenta a escala de comparações empregadas no método. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos dos da parte superior direita da mesma.

No caso da Matriz A na Figura 8, observa-se pela parte superior direita que todos os elementos-linha eram mais dominantes do que os elementos-coluna, pois todas as posições estão com números maiores que 1. Lê-se: A é 5 vezes mais dominante do que B e 6 vezes mais dominante do que C.

A consistência da matriz deve ser garantida, a partir de uma quantidade básica de dados, todos os outros podem ser logicamente deduzidos. Se A é 5 vezes mais dominante do que B, e A é 6 vezes mais dominante que C, então $A=5B$ e

$A=6C$. Logo, $B/C = 6/5 =$ posição (B, C). Portanto, se o julgamento da posição (B, C) for diferente de $6/5$, então a matriz é inconsistente, como ocorre na Matriz A.

Chan (2004, p. 440-441) resume os passos recomendados para aplicação do AHP:

1) Definir o problema e o que se procura saber. Expor as suposições refletidas na definição do problema, identificar partes envolvidas, checar como estas definem o problema e suas formas de participação no AHP.

2) Decompor o problema desestruturado em hierarquias sistemáticas, do topo (objetivo geral) para o último nível (fatores mais específicos, usualmente as alternativas). Caminhando do topo para a extremidade, a estrutura do AHP contém objetivos, critérios (parâmetros de avaliação) e classificação de alternativas (medição da adequação da solução para o critério). Cada nó é dividido em níveis apropriados de detalhes. Quanto mais critérios, menos importante cada critério individual se torna, e a compensação é feita pela atribuição de pesos para cada critério. É importante certificar-se de que os níveis estejam consistentes internamente e completos, e que as relações entre os níveis estejam claras.

3) Construir uma matriz de comparação paritária entre os elementos do nível inferior e os do nível imediatamente acima. Em hierarquias simples, cada elemento de nível inferior afeta todos os elementos do nível superior. Em outras hierarquias, elementos de nível inferior afetam somente alguns elementos do nível superior, requerendo a construção de matrizes únicas.

4) Fazer os julgamentos para completar as matrizes. Para isso, são necessários $n(n - 1) / 2$ julgamentos para uma matriz $n \times n$, sendo n o número de linhas e colunas. O analista ou grupo participante julga se A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha de A com a coluna de B. A posição coluna A com linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz. Os valores inseridos são aqueles da escala de comparação, mostrados na Tabela 1.

5) Calcular o índice de consistência (IC). Se não for satisfatório, refazer julgamentos.

$$IC = \text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.0)$$

De acordo com Saaty (1991), para obter-se a consistência de uma matriz positiva recíproca (matriz criada no Passo 4), seu autovalor máximo deveria ser igual a n (dimensão da matriz). No caso de uma matriz consistente, precisa-se de $n - 1$ comparações paritárias já que, a partir dessas, as outras podem ser deduzidas logicamente.

O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método da análise hierárquica busca o autovalor máximo, λ_{\max} , que pode ser calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos A (Passo 4) pelo vetor coluna de prioridades computado w , seguido da divisão desse novo vetor encontrado, Aw , pelo primeiro vetor w , chegando-se ao valor de λ_{\max} .

Cabe lembrar que $Aw = \lambda w$ e, que no método da análise hierárquica, $Aw = \lambda_{\max} w$. Para o cálculo de λ_{\max} , utiliza-se a fórmula abaixo:

$$\lambda_{\max} = \text{média do vetor} = \frac{AW}{W} \quad (2.1)$$

Como regra geral, se o índice de consistência for menor do que 0.1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Se for maior do que 0.1 recomenda-se que julgamentos sejam refeitos (por exemplo, reescrevendo questões do questionário ou recategorizando elementos) até que a consistência aumente.

Saaty (1991) sugere também o uso da Razão de Consistência, que considera o IC e o Índice Randômico (IR), que varia com o tamanho n da amostra.

$$RC = \text{Razão de Consistência} = \frac{IC}{\text{Índice Randômico(IR) para } n} \quad (2.2)$$

Saaty (1991) propõe uma tabela com os índices randômicos (IR) de matrizes de ordem 1 a 15, calculados em laboratório, conforme exibido na Tabela 1.

Tamanho Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Consistência Randômica	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tabela 1. Índice Randômico Médio do AHP.
Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

6) Analisar as matrizes para estabelecer as prioridades locais e globais, comparar as alternativas e selecionar a melhor opção.

Saaty (1994) mostra que há dois meios de sintetizar as prioridades locais das alternativas, usando prioridades globais dos critérios pai: o modo distributivo e o modo ideal. No distributivo, os pesos das alternativas somam 1. É adotado quando há dependência entre as alternativas e uma prioridade unitária é distribuída entre elas, ou seja, quando o objetivo é escolher uma alternativa que é melhor em relação a outras.

Grandzol (2005) exemplifica que o modo distributivo é apropriado para alocação proporcional de um benefício. Traduzindo numericamente o exemplo do autor, três alternativas com relação de dependência A, B e C teriam prioridades como $A=0.2$, $B=0.5$ e $C=0.3$, que totalizam 1.0.

Já o modo ideal, é utilizado para obter a melhor alternativa entre alternativas distintas e sem relação de dependência. Nesse modo, as prioridades locais das alternativas são divididas pelo maior valor entre elas. Isso é feito para cada critério, e a alternativa torna-se ideal de valor 1. Se as alternativas são suficientemente distintas, sem dependência nas definições, o modo ideal seria o meio de síntese. No exemplo citado de A, B e C, B seria a alternativa ideal com prioridade 1.0 ($= 0.5 \div 0.5$), C teria prioridade 0.6 ($= 0.3 \div 0.5$) e A teria prioridade 0.4 ($= 0.2 \div 0.5$).

2.8.4. O Método AHP e o Gerenciamento de projetos

Segundo Grandzol (2005), a metodologia do AHP agrega valor no planejamento de um projeto, ao tratar de prioridades, de parâmetros ótimos e de seleção de alternativas. O AHP é baseado na habilidade humana inata de fazer julgamentos sobre problemas diversos e foi aplicado em projetos de decisão e planejamento em cerca de vinte países.

O grupo de alternativas a serem escolhidas compõe a motivação da tomada de decisão que, segundo Saaty (1994), é um processo que envolve os seguintes passos mostrados no Quadro 9:

Passo 1	Estruturar um problema com um modelo que mostre os elementos-chave do problema e suas relações;
Passo 2	Expor julgamentos que refletem conhecimento, sentimentos e emoções;
Passo 3	Representar os julgamentos com números significativos;
Passo 4	Usar esses números para calcular as prioridades dos elementos da hierarquia;
Passo 5	Sintetizar esses resultados para determinar um resultado geral;
Passo 6	Analisar a sensibilidade a mudanças de julgamento.

Quadro 9. Passos do método AHP
Fonte: Adaptado de Saaty (1994)

Com a teoria explicada nesta seção, observa-se que o método AHP atende a esses critérios de processo de tomada de decisão. O AHP quebra um problema em subproblemas e depois agrega as soluções dos subproblemas em uma solução geral. Facilita a tomada de decisão ao organizar percepções, sentimentos, julgamentos e memórias em uma estrutura que exhibe as forças influentes na decisão e que gera um resultado numérico e conclusivo.

Por isso, a teoria do AHP pode ser usufruída pela teoria de Gerenciamento de Projetos: o AHP ajuda a estruturar o Planejamento e na tomada de decisões e, ao mesmo tempo, o Gerenciamento de Projetos depende de Planejamento para tomada de decisões. No estudo em questão, o AHP apoia o Gerenciamento de Projeto na escolha de contratadas, além de auxiliar o entendimento e melhoramento dos processos das mesmas.

O projeto avaliado na presente pesquisa tem diversas variáveis que dificultam a medição do desempenho. De fato, o AHP é útil no estudo em questão porque busca simplificar a medição, corroborando a sugestão de Meyer (2003). O método tem a capacidade de simplificar e organizar de forma racional os critérios necessários para a avaliação da qualidade de projetistas do estudo de caso para facilitar as análises de gerenciamento de projetos.

Ao considerar aspectos objetivos e subjetivos, numéricos e qualitativos, o método consegue compor um índice único formado pela combinação dos critérios

principais do problema objetivo e das áreas de conhecimento de gerenciamento sugeridas pelo PMI.

2.8.5. Críticas ao Modelo AHP

Certamente não há método de solução de problemas que não receba críticas. Gomes (2008) num artigo intitulado "Por que o método AHP, embora matematicamente errado, deve continuar a ser usado ainda por algum tempo" faz uma lista das principais críticas ao modelo AHP. Eis o teor:

Este texto tem fundamentalmente como base o artigo de Gomes (2003). Uma apresentação conceitual do método AHP pode ser encontrada em Gomes (2007), ao passo que uma apreciação técnica do mesmo, bem como de algumas de suas variantes, acha-se em Gomes, Araya e Carignano (2004).

O método AHP (Analytic Hierarchy Process), bastante usado no Brasil e restante do mundo em avaliações de natureza estratégica desde os anos oitenta (SAATY,1991), tem sido objeto de críticas surgidas na literatura principalmente desde a década de oitenta. Goodwin e Wright (1991) resumem as críticas sobre o AHP em seis tópicos descritos no quadro 10.

CRÍTICAS	DESCRIÇÃO
1. Conversão da escala verbal para numérica.	Agentes de decisão usando o método verbal de comparação terão seus julgamentos automaticamente convertidos para uma escala numérica, mas a correspondência entre as duas escalas é baseada em pressupostos não testados. Por exemplo, se A é julgada fracamente mais importante que B, o AHP assumirá que A é considerado três vezes mais importante, mas este pode não ser o caso. Muitos autores têm argumentado que um fator de multiplicação de 5 é muito alto para expressar a noção de preferência forte.
2. Inconsistências impostas pela escala de 1 a 9.	Em alguns problemas a restrição de comparações par a par sobre uma escala de 1 a 9 força o agente de decisão a cometer inconsistências. Por exemplo, se A é considerado 5 vezes mais importante que B e B é 5 vezes mais importante que C, então para ser consistente A deveria ser 25 vezes mais importante que C, mas isto não é possível. Esta crítica também é citada no artigo de Barzilai (2001), no qual ele ressalta a limitação da flexibilidade na obtenção das entradas do agente de decisão.
3. Significado das respostas às questões.	Os pesos são obtidos sem referência às escalas nas quais os atributos são medidos, podendo significar que as questões são interpretadas de modos diferentes, e possivelmente errados, pelos

	agentes de decisão. Lootsma (1990) observou a dificuldade que os agentes de decisão encontram para escolher uma dentre as qualificações verbais para expressar suas preferências por uma entre duas alternativas, principalmente quando suas performances são expressas em valores físicos ou monetários.
4. Novas alternativas podem reverter o ranking das alternativas existentes.	Esta crítica foi anteriormente citada por Belton e Gear (1982), Dyer e Ravinder (1983), Lootsma (op. cit.) e vários outros autores. Saaty e Vargas (1984) responderam à esta crítica alegando a legitimidade da reversão de ranking, o que foi novamente comentado por Belton e Gear (1985). Foi proposta uma solução para o problema no artigo de Dyer (1990). Por exemplo, suponha que se deseja escolher uma localização para um novo escritório de vendas e os pesos obtidos pelo método fornecem a seguinte ordem de preferência: 1. Albuquerque, 2. Boston e 3. Chicago. Entretanto, antes de se tomar a decisão um novo local em Denver é descoberto e o método é repetido incluindo-se esta nova opção. Mesmo que se mantenha a importância relativa dos atributos, a nova análise fornece a seguinte ordem: 1. Boston, 2. Albuquerque, 3. Denver e 4. Chicago, revertendo o ranking de Albuquerque e Boston. Este problema resulta do modo no qual os pesos são normalizados para somar 1.
5. O número de comparações requeridas pode ser grande.	Enquanto que a redundância existente dentro do AHP é uma vantagem, ela também pode requerer um grande número de julgamentos pelo agente de decisão. Por exemplo, um problema com 7 alternativas e 7 atributos vai requerer 168 comparações par a par, o que pode dificultar a aplicação do método.
6. Os axiomas do método.	Dyer (op. cit.) argumentou que os axiomas do AHP não são fundamentados em descrições do comportamento racional passíveis de teste, o que foi alvo de resposta por parte de Harker e Vargas (1987)

Quadro 10. Críticas ao modelo AHP.
Fonte: Adaptado de Goodwin e Wright (1991)

Bana e Costa e Vansnick (2001) propuseram em seu artigo uma das críticas mais contundentes ao AHP, descrevendo um problema que ocorre no cálculo do vetor de prioridades, mais especificamente nas escalas derivadas do método, a partir da matriz positiva recíproca que é preenchida após os questionamentos feitos ao agente de decisão. Tal problema implica fundamentalmente na quantificação das prioridades e não na ordem em que as alternativas são priorizadas. Outro ponto também ressaltado no trabalho de Bana e Costa e Vansnick (op. cit.) é que o coeficiente de inconsistência proposto por Saaty não é capaz de detectar tal situação.

Mesmo sendo um método de apoio multi-critério à decisão tecnicamente controverso, é inegável o valor do AHP como ferramenta para se construir um

modelo de requisito básico (PHILLIPS 1982, 1983) para um problema decisório, através do estabelecimento de uma estrutura hierárquica de critérios. Nesta medida, é perfeitamente justificável o uso do método AHP, desde que se tenha em mente suas potenciais limitações. O problema é que, na realidade, são relativamente poucos os usuários do AHP que entendem tais limitações.

De acordo com Fassoni (2011), na prática as pessoas se encantam com o AHP, até porque jamais viram algo semelhante antes. Além disto, as pessoas passam a usar o AHP por meio de *softwares* comerciais, sem entender os cálculos matemáticos subjacentes e, em particular, o Teorema de Perron-Frobenius, que consiste no cerne de tais cálculos [SAATY (op. cit.)]. Em geral, desconhecem também todo e qualquer outro método para apoiar processos decisórios na presença de múltiplos critérios, tanto MAUT, como os ELECTRE, os PROMÉTHÉE, etc.

Fassoni (2011) ainda complementa que no método AHP o decisor demonstra sua preferência entre duas alternativas, comparando-as de acordo com a escala fundamental. Isso gera uma escala de razão de preferências, conflitando com o princípio da função aditiva, que se adapta melhor a uma escala de intervalos. Contudo, a maior crítica ao AHP refere-se ao problema de inversão de ordem das alternativas. A formulação do Método AHP Clássico é contrária à inversão de ordem, ou seja, a posição relativa das alternativas obtida segundo a função aditiva $f(A_j)$ pode ser alterada caso uma alternativa seja adicionada ou removida da análise. A existência de uma alternativa que, ao introduzir-se no problema, ocasiona inversão de ordem mostra que, na fase de modelagem do problema, podem ter ocorrido falhas. Na verdade, a inversão de ordem não é resultado da introdução de uma nova alternativa, mas sim da introdução da nova alternativa sem adequada reavaliação dos valores atribuídos aos elementos do nível hierárquico superior. Tal fato, em si, pode ocasionar a inversão de ordem das alternativas. Apesar da independência requerida entre os níveis hierárquicos, há uma dependência funcional que o decisor infringirá caso não o considere (FASSONI, 2011).

3. REVISÃO DA LITERATURA: LÓGICA PARACONSISTENTE

Na modelagem de sistemas é comum recorrer a certas simplificações, como por exemplo: desconsiderar fatos ou situações com inconsistência; falta de informação; conhecimentos parciais ou incompletos. Estas situações, entretanto, estão presentes no mundo real e, portanto, estes modelos necessitam de uma lógica que seja capaz de tratar também estes comportamentos.

Esta necessidade levou a criação de uma lógica subjacente aos sistemas formais, chamada Lógica Paraconsistente. Esta lógica surgiu e se desenvolveu por necessidades impostas pelo cotidiano, e conduzida pela intuição. Vários trabalhos apresentam-na como uma solução para o tratamento de situações em que a lógica Clássica e outras técnicas de Inteligência Artificial se mostram ineficientes.

As Lógicas não Clássicas são aquelas que na sua formalização existem conceitos os quais, de alguma forma, refutam um ou mais princípios binários da Lógica Clássica. Múltiplas teorias e técnicas de tratamento de sinais incertos estão sendo desenvolvidas em Inteligência Artificial aplicando lógicas não clássicas nas mais variadas áreas do conhecimento (ABE, 1992).

Na lógica Clássica, as proposições possuem apenas dois valores lógicos: verdadeiro ou falso. A lógica *Fuzzy* estendeu estes conceitos, associando a cada proposição um grau de pertinência μ , representado por um intervalo real $[0,1]$. Associou-se ao valor zero o estado lógico falso e ao valor 1 o estado lógico verdadeiro. Porém diferente da lógica clássica, existem infinitos graus de pertinência intermediários entre o zero e o um (DA SILVA FILHO, 1999).

Como expressado no paragrafo anterior, existem muitas lógicas que se fundamentam em leis que desafiam os conceitos binários da Lógica Clássica e, portanto, reconhecidamente como não clássicas. Entre estas, podemos destacar a Lógica *Fuzzy*, Multivaloradas, trivalentes, paraconsistentes, etc. A família de lógicas paraconsistentes, para Netto *et al.* (2013), possui como característica principal a admissão da contradição em sua estrutura teórica. Neste trabalho, serão aplicados algoritmos baseados em Lógica Paraconsistente, na sua forma anotada denominada Lógica Paraconsistente com anotação de dois valores (LPA2v) (DA SILVA FILHO, 1999).

3.1. Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de dois valores LPA2v

A Lógica Paraconsistente (LP) é um tipo de lógica não clássica que apresenta em sua fundamentação a propriedade de aceitar a contradição sem trivialização, portanto, sem que o conflito ocasionado pela inconsistência anule as conclusões. Uma representação da LP em um reticulado associado pode expressar estados lógicos através de anotação, portanto este tipo de lógica é chamada de Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) (DA SILVA FILHO, 1999).

As anotações da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) são geradas a partir de situações proposicionais e podem ser representadas em um reticulado finito com valores atribuídos a sua correspondente fórmula proposicional (DA SILVA FILHO, 1999).

O tratamento de incerteza, visto neste trabalho, utiliza os fundamentos de uma Lógica Paraconsistente Anotada especial, denominada de Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v), apresentada inicialmente em Da Silva Filho (1999).

Para melhor interpretação das evidências na LPA2v é utilizada uma representação, chamada de reticulado finito, formado por pares ordenados de valores (μ, λ) , na qual a letra grega μ significa o Grau de evidência favorável da proposição e λ o Grau de evidência desfavorável, conforme Figura 10, sendo que:

$$\tau = \{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathfrak{R}\}$$

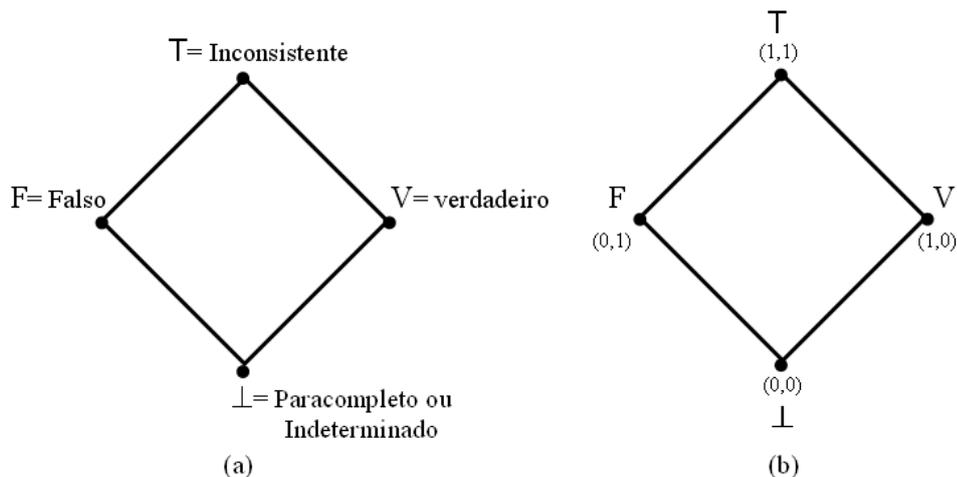


Figura 9. Reticulado associado à Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores LPA2v.

Fonte: Copiado de DA SILVA FILHO, 1999.

Para Da Silva Filho (1999), cada sentença proposicional é denominada proposição P e, por meio de uma análise da LPA2v, os graus de Evidência favorável e desfavorável que compõem a anotação atribuem uma conotação lógica à Proposição P , denominada estado ou sinal lógico paraconsistente representado por $P_{(\mu, \lambda)}$.

Sendo assim, conforme Torres (2004), podemos relacionar os estados lógicos paraconsistentes extremos obtidos dos quatro vértices do reticulado da seguinte forma:

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(1, 0)}$: pode ser lida como uma proposição verdadeira (evidência favorável total e evidência contrária nula) portanto, P é verdadeira.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(0, 1)}$: pode ser lida como uma proposição falsa (evidência favorável nula e evidência contrária total) portanto, P é falsa.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(1, 1)}$: pode ser lida como uma proposição inconsistente (evidência favorável total e evidência contrária total) portanto, P é inconsistente.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(0, 0)}$: pode ser lida como uma proposição paracompleta (evidência favorável nula e evidência contrária nula) portanto, P é paracompleta ou indeterminada.

Um bom exemplo para ilustrar esse conceito pode ser associado a seguinte proposição, P : “A água do sistema está contaminada”, no qual:

Se a anotação do estado paraconsistente fornecida por duas fontes de evidência for (1,0), entende-se que a proposição é verdadeira e existe evidência total de que a água do sistema está contaminada.

Se a anotação do estado paraconsistente fornecida por duas fontes de evidência for (0,1), entende-se que a proposição é falsa e não existe evidência nenhuma de que a água do sistema esteja contaminada, ou seja, a água do sistema está totalmente não contaminada.

Se a anotação do estado paraconsistente fornecida por duas fontes de evidência for (1,1), entende-se que a proposição é inconsistente, pois existe evidência favorável total para a água do sistema contaminada, assim como evidência desfavorável total de que a água do sistema não está contaminada.

Se a anotação do estado paraconsistente fornecida por duas fontes de evidência for $(0,0)$, entende-se que a proposição é indeterminada, pois existe evidência favorável nula para a água do sistema contaminada, assim como evidência desfavorável nula de que a água do sistema está contaminada.

3.2. Grau de Certeza e Grau de Contradição

Na LPA2v os valores do grau de certeza (G_C) são expressos em um eixo horizontal compondo o eixo dos graus de certeza. Da mesma forma, os valores do grau de contradição (G_{CT}) são expressos em um eixo vertical, compondo o eixo dos graus de contradição.

Um estado lógico paraconsistente verdadeiro $(1,0)$ está representado na Figura 11, pelo ponto D, assim como um estado lógico paraconsistente falso $(0,1)$ está representado pelo ponto B.

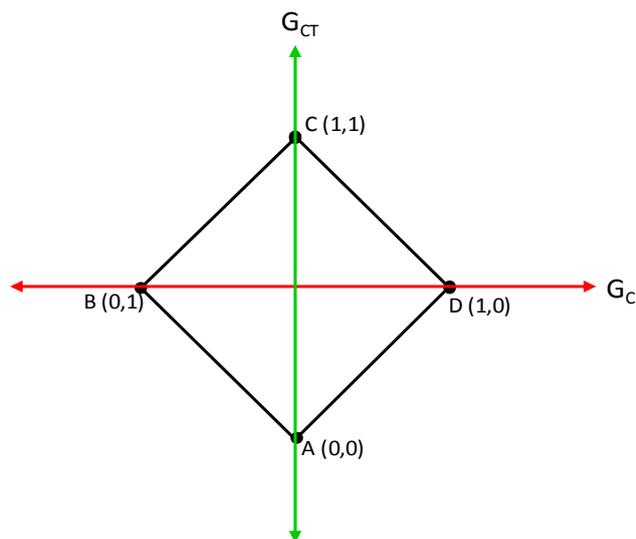


Figura 10 . Representação dos Graus de Certeza e de Contradição.
Fonte: Copiado de DA SILVA FILHO, 1999.

Considerando-se que o ponto de intersecção dos eixos dos graus de certeza e contradição é a origem desses valores, ou seja, nesse ponto, $G_C = 0$ e $G_{CT} = 0$, pode-se dizer que quando uma proposição apresentar estado lógico paraconsistente verdadeiro, o valor do grau de certeza será $G_C = +1$. De forma análoga, quando uma proposição apresentar estado lógico paraconsistente falso, o valor do grau de certeza será $G_C = -1$.

Portanto, pode-se equacionar o Grau de certeza como:

$$G_C = \mu - \lambda \quad (3.1)$$

Os valores do Grau de Certeza (G_C) pertencem ao conjunto \mathfrak{R} , que variam no intervalo fechado $+1$ e -1 e estão no eixo horizontal do reticulado, conforme apresentado na Figura 12. Definido por Costa *et al.* (1999), o G_C é definido como o valor que representa no reticulado a distância entre os dois estados extremos denominados de Totalmente Falso e Totalmente Verdadeiro.

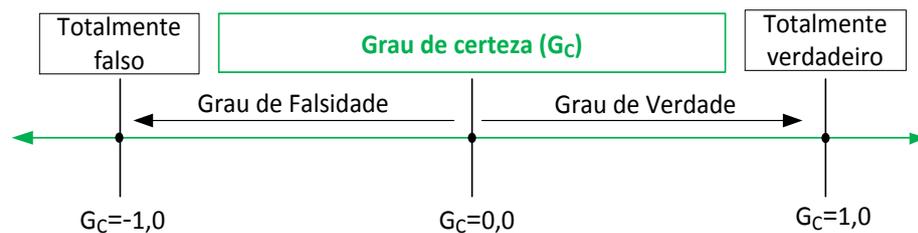


Figura 11 . Representação do grau de certeza.
Fonte: Adaptado de DA SILVA FILHO, 2006.

Na Figura 11 pode-se observar que um estado lógico inconsistente $(1,1)$ está representado pelo ponto C, assim como um estado lógico indeterminado $(0,0)$ está representado pelo ponto A.

Em um sistema de análise paraconsistente, quando o estado lógico paraconsistente de uma proposição estiver mais próximo do segmento de reta formado pelos pontos BD da Figura 11, significa que o nível de contradição das fontes de evidência é baixo, tendendo a não existir. Porém, quando o estado lógico estiver o mais distante possível dessa reta, o valor do grau de contradição será $G_{ct} = +1$ para uma situação inconsistente e $G_{ct} = -1$ para uma situação indeterminada, representando alta contradição.

Portanto, pode-se equacionar o Grau de contradição como:

$$G_{ct} = \mu + \lambda - 1 \quad (3.2)$$

A Figura 13 mostra o eixo dos graus de contradição com os seus valores no intervalo fechado de -1 a $+1$ e pertencente ao conjunto \mathfrak{R} . Definido por Costa *et al.* (1999), o G_{CT} é definido como o valor que representa no reticulado a distância entre os dois estados extremos denominados de Totalmente Paracompleto ou Indeterminado e Totalmente Inconsistente.

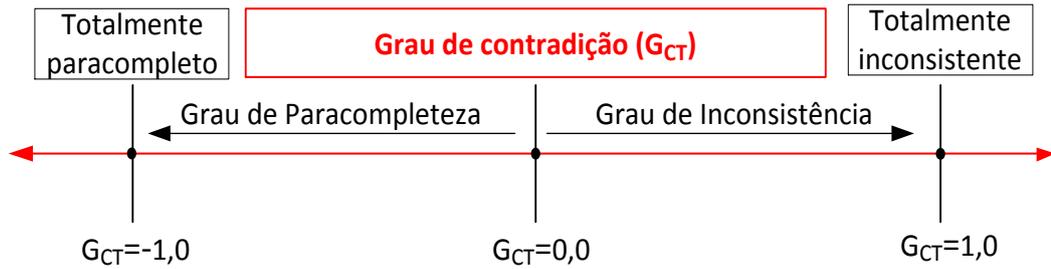


Figura 12 . Representação do grau de contradição.
Fonte: Adaptado de DA SILVA FILHO, 2006.

3.3. Grau de Certeza de valor real

Visando melhora no sistema de tratamento das incertezas das fontes de evidência favorável e desfavorável em conjunto com os graus de certeza e contradição, um novo parâmetro definido como Grau de Certeza Real (G_{CR}) pode ser calculado, de acordo com o mencionado por Da Silva Filho (2008):

Um Sistema de decisão capaz de analisar dados originados do Conhecimento Incerto terá maior robustez quando, ao final da análise, apresentar um resultado que represente o valor de certeza puro, isto é, não contaminado pelos efeitos das incertezas. Portanto, o valor final deve vir subtraído do valor atribuído ao efeito da influência das inconsistências originadas pelas informações conflitantes (DA SILVA FILHO, 2008).

Partindo-se do pressuposto que em uma análise paraconsistente, os cálculos do Grau de Certeza G_C através de [3.1] e Grau de Contradição G_{ct} , por meio de [3.2], resultaram em valores positivos e que estão interpolados no reticulado em um ponto interno (G_C, G_{ct}), conforme a Figura 14.

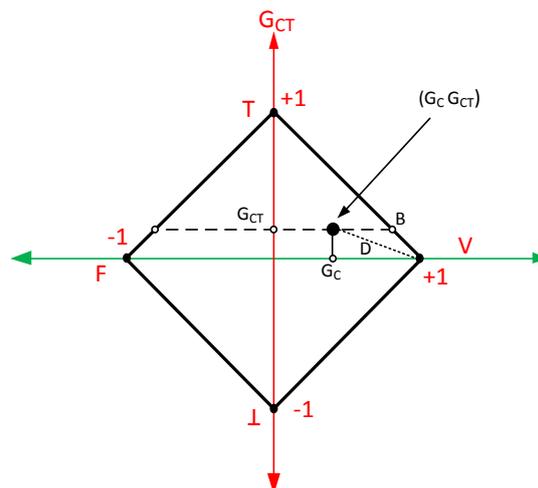


Figura 13 . Ponto de interpolação (G_C, G_{ct}), e distância D.
Fonte: Copiado de DA SILVA FILHO et al.,2008.

A distância D da reta da Figura 14, que vai do ponto de máximo Grau de Certeza V , representada no vértice direito do reticulado, até ao ponto de interpolação (G_C, G_{ct}) , é calculada por:

$$D = \sqrt{(1 - |G_C|)^2 + G_{ct}^2} \quad (3.3)$$

Sendo assim, o Grau de Certeza de valor real G_{Cr} será a projeção da distância D no eixo de valores de certeza, conforme se demonstra na Figura 15.

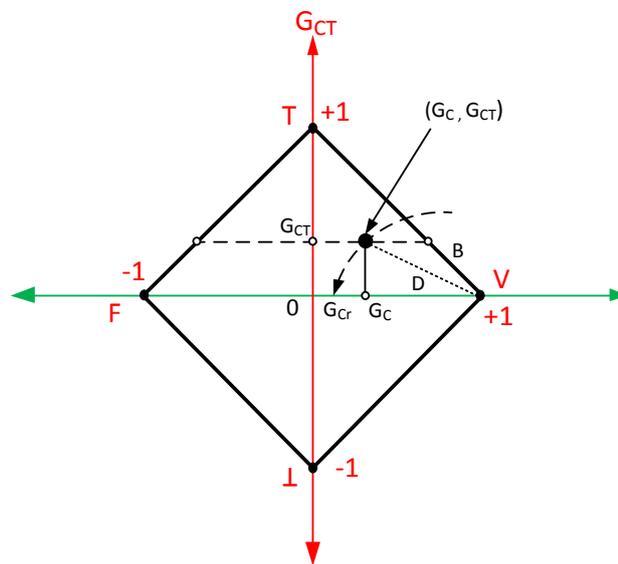


Figura 14 . Grau de Certeza de valor resultante real - G_{Cr} no reticulado.
Fonte: Copiado de DA SILVA FILHO et al.,2008

Se o Grau de Certeza Calculado G_C resultar em valor negativo, a distância D será obtida a partir do ponto de certeza F , representado no vértice esquerdo do reticulado, até ao ponto de interpolação $(-G_C, G_{ct})$. O ponto de interpolação nessas condições está representado na Figura 16.

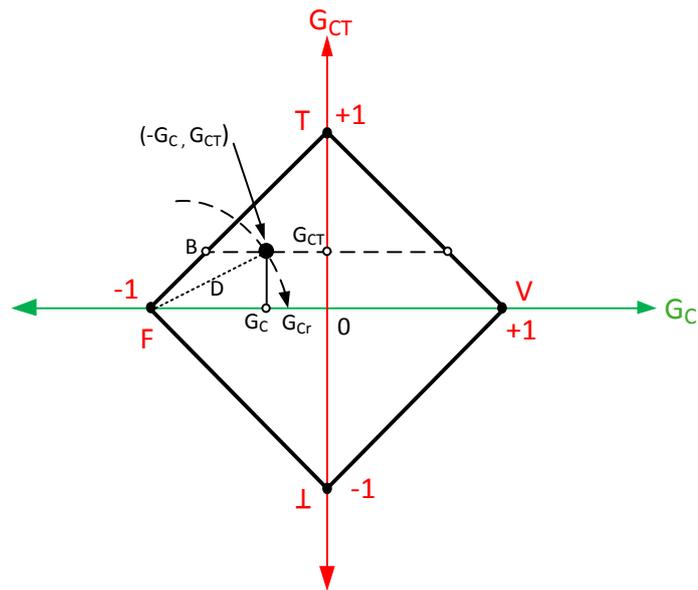


Figura 15 . Grau de Certeza de valor real G_{Cr} no reticulado da LPA2v quando G_C é negativo e G_{ct} positivo.

Fonte: Copiado de DA SILVA FILHO et al.,2008

Então, o valor do Grau de Certeza real G_{CR} é obtido a partir da determinação da distância D , conforme as condições mostradas abaixo:

Se $G_c > 0$: $G_{CR} = (1 - D)$

ou

$$G_{CR} = 1 - \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2} \quad (3.4)$$

Se $G_c < 0$: $G_{CR} = (D - 1)$

ou

$$G_{CR} = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2} - 1 \quad (3.5)$$

As equações obtidas a partir da metodologia estudada no LPA2v comporão os algoritmos para tomada de decisão e tratamento de incertezas.

3.4. Nó de Análise Paraconsistente (NAP)

Para Baptista (2013), o Nó de Análise Paraconsistente – NAP, trata-se de um novo algoritmo de tratamento de incertezas, fundamentado em Lógica Paraconsistente Anotada LPA2v. Portanto, o NAP envolve a aplicação das equações apresentadas no item anterior.

Nas redes de análise paraconsistente, os NAPs fazem tratamento de sinais de informação conforme os fundamentos da Lógica Paraconsistente. Com as suas entradas sendo alimentadas pelos Graus de Evidências retirados de base de dados de Conhecimento Incerto os NAPs utilizam as equações obtidas da metodologia da LPA2v e vão obtendo os Graus de Certeza real G_{CR} acompanhados de seus respectivos Intervalos de Certeza φ . Este processo possibilita a obtenção de conclusões à respeito de determinadas proposições (DA SILVA FILHO, 2008).

Na representação de um NAP tem-se duas entradas de Graus de Evidência favorável μ e desfavorável λ a respeito da proposição analisada, e duas saídas de resultados: o Grau de Certeza real (G_{CR}) e o Intervalo de Certeza (φ), conforme demonstra-se na Figura 17.

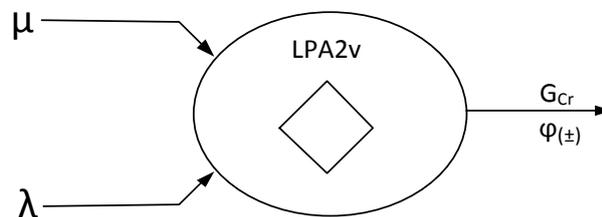


Figura 16 . Símbolo de um Nó de Análise Paraconsistente típico.
Fonte: Copiado de DA SILVA FILHO et al.,2008

3.5. Grau de evidência resultante real (μ_{ER})

Como uma análise Paraconsistente produz valores de Grau de Certeza real no intervalo fechado entre -1 e +1, para transformar o Grau de Certeza real resultante da análise de uma proposição em Grau de Evidência resultante real (μ_{ER}), que servirá como entrada para outra proposição, é feita uma normalização nos seus valores, para que fique no intervalo entre 0 e 1.

A Figura 18 mostra a equivalência entre os valores dos Graus de Certeza real G_{CR} e os Graus de Evidência resultante real (μ_{ER}).

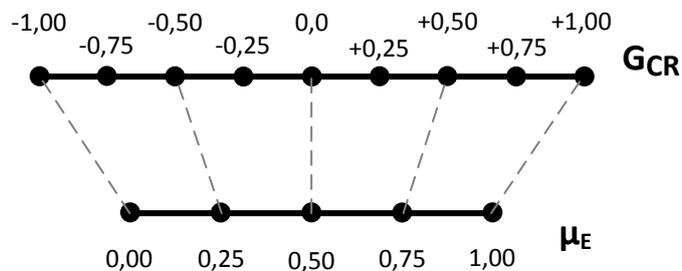


Figura 17 . Conversão de Grau de Certeza real G_{CR} em Grau de Evidência resultante real μ_{ER} .
Fonte: Copiado de DA SILVA FILHO et al.,2008

O Grau de Evidência resultante real (μ_{ER}) é calculado a partir das equações [3.4] e [3.5] e equacionado por:

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR}+1}{2} \quad (3.6)$$

3.6. Grau de contradição normalizado (μ_{ctr})

Para que a resposta em um NAP seja padronizada também é feita uma normalização no Grau de Contradição, e assim seus valores resultantes encontrados ficarão no intervalo real fechado entre 0 e 1. Tomando-se como referência a equação $G_{ct} = (\mu + \lambda) - 1$, é realizada a normalização no Grau de Contradição por:

$$\mu_{ctr} = \frac{G_{ct}+1}{2} \quad (3.7)$$

ou

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu+\lambda}{2} \quad (3.8)$$

Conforme Da Silva Filho (2008), percebe-se que a relação entre os valores do Grau de Contradição G_{ct} e os valores do Grau de Contradição normalizado (μ_{ctr}) pode-se representar por meio da Figura 19.

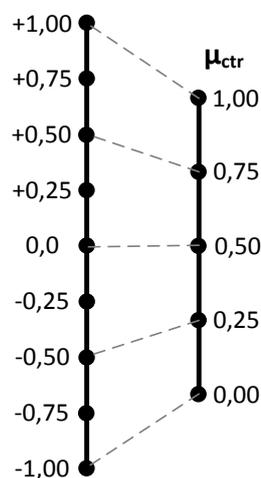


Figura 18 . Conversão de Grau de Contradição G_{ct} em Grau de Contradição normalizado μ_{ctr} .
Fonte: Copiado de DA SILVA FILHO et al., 2008.

Quando o valor do Grau de Contradição Normalizado estiver acima de 0,5 significa que existe uma contradição entre os Graus de Evidência das entradas a respeito da Proposição analisada. Portanto, os valores de Graus de Contradição Normalizados acima de 0,5 e tendendo a 1,0 indicam que estão no sentido de estabelecer um estado lógico Inconsistente à Proposição analisada.

Quando o valor do Grau de Contradição Normalizado for igual a 1,0 existe uma contradição total à proposição, portanto o estado lógico é o totalmente Inconsistente. Por outro lado, quando o valor do Grau de Contradição Normalizado estiver abaixo de 0,5 significa que também existe uma contradição à proposição analisada. Portanto, os valores de Graus de Contradição Normalizados abaixo de 0,5 e tendendo a zero indicam que as evidências são contraditórias no sentido de estabelecer um estado lógico de Indeterminação à Proposição analisada.

Quando o valor do Grau de Contradição Normalizado for igual a zero, existe total contradição, portanto o estado lógico é totalmente Indeterminado.

3.7. Nó de Análise Paraconsistente da LPA2v com Saída de Grau de Evidência Resultante Real

Segundo Da Silva Filho *et al.* (2008), o sistema ou algoritmo denominado de Nó de Análise Paraconsistente pode ser feito utilizando-se as equações obtidas no estudo dos NAPs. O sistema Paraconsistente de Tratamento de Incertezas pode ser utilizado em diversos campos do conhecimento em que informações incompletas e contraditórias receberão um tratamento adequado por meio das equações da LPA2v. O algoritmo de Análise paraconsistente para determinação do Grau de Certeza real e do Intervalo de Certeza é exposto no quadro 11:

Passo 1	Entre com os valores de Entrada.
	μ */ Grau de Evidência favorável $0 \leq \mu \leq 1$
	λ */ Grau de Evidência desfavorável $0 \leq \lambda \leq 1$
Passo 2	Calcule o Grau de Contradição Normalizado.
	$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2}$
Passo 3	Calcule o Intervalo de Evidência Resultante
	$\varphi_E = 1 - 2 \cdot \mu_{ctr} - 1 $
Passo 4	Calcule o Grau de Certeza.
	$G_C = \mu - \lambda$
Passo 5	Calcule o Grau de Contradição
	$G_{ct} = (\mu + \lambda) - 1$
Passo 6	Calcule a distância D

	$D = \sqrt{(1 - Gc)^2 + Gct^2}$
Passo 7	Calcule o Grau de Certeza Real
	Se $Gc > 0$, $G_{CR} = (1-D)$
	Se $Gc < 0$, $G_{CR} = (D-1)$
Passo 8	Determine o sinal da Saída
	Se $\varphi_E \leq 0,25$ ou $D > 1$, então faça:
	$S1 = 0,5$ e $S2 = \varphi_{E(\pm)}$: Indefinição e vá para o Passo 12 .
	Senão vá para o Passo 9
Passo 9	Calcule o Grau de Evidência Resultante real
	$\mu_{ER} = \frac{G_{CR}+1}{2}$
Passo 10	Determine a sinalização do Intervalo de Evidência resultante
	Se $\mu_{ctr} < 0,5$, sinalize negativo $\varphi = \varphi_{E(-)}$
	Se $\mu_{ctr} > 0,5$, sinalize positivo $\varphi = \varphi_{E(+)}$
	Se $\mu_{ctr} = 0,5$, sinalize zero $\varphi = \varphi_{E(0)}$
Passo 11	Apresente os resultados na saída.
	Faça $S1 = \mu_{ER}$ e $S2 = \varphi_E (\pm)$
Passo 12	Fim.

Quadro 11. Algoritmo de análise paraconsistente.
Fonte: Adaptado de Da Silva et al, 2008

3.8. O Algoritmo Paraconsistente Extrator de Efeitos de Contradição – *ParaExtrctr*

Conforme Da Silva Filho (2009), o Algoritmo Paraconsistente Extrator de efeitos da Contradição *ParaExtrctr* é capaz de extrair gradativamente os efeitos da contradição em sinais de informação originados de banco de dados de conhecimento incerto. Em seu funcionamento típico o *ParaExtrctr* recebe um grupo de sinais de informação representados por Graus de Evidência à respeito de determinada proposição P e, independentemente de outras informações externas, faz análise paraconsistente em seus valores onde, gradativamente, vai extraindo os

efeitos da contradição até restar como saída um único Grau de Evidência resultante real.

Na Figura 20 é mostrado o símbolo do algoritmo ParaExtrctr utilizado no processo de extração dos efeitos da contradição em um grupo composto de n graus de evidências μ à respeito de uma proposição P .

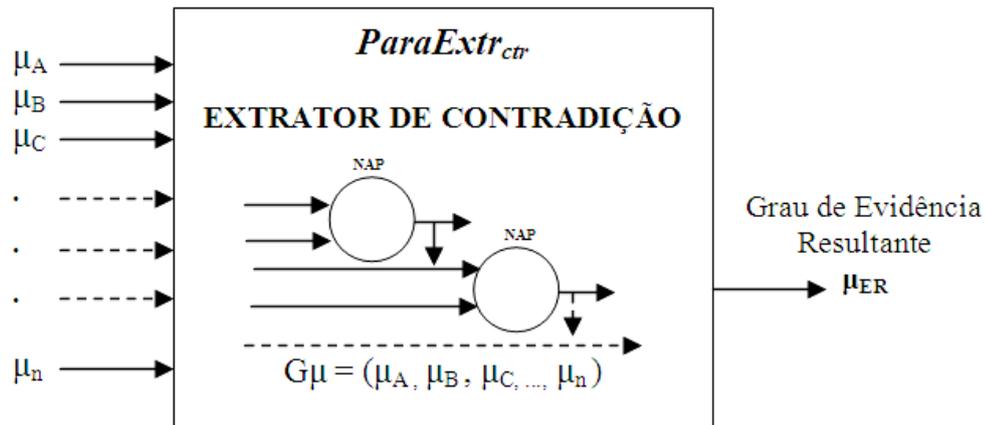


Figura 19. Símbolo do ParaExtrctr Algoritmo Paraconsistente Extrator de efeitos da Contradição.

Fonte Copiado de Da Silva Filho, 2009

A descrição do algoritmo ParaExtrctr é mostrada no Quadro 12.

Passo 1	Apresente os n valores de Graus de Evidência que compõe o grupo em estudo
	$G\mu = (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots, \mu_n)$ */Graus de Evidência $0 \leq \mu \leq 1$ */
Passo 2	Selecione o maior valor entre os Graus de Evidência do grupo em estudo.
	$\mu_{maxA} = \max(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots, \mu_n)$
Passo 3	Considere o maior valor entre os Graus de Evidência do grupo em estudo em Grau de Evidência favorável.
	$\mu_{maxA} = \mu$
Passo 4	Selecione o menor valor entre os Graus de Evidência do grupo em estudo.
	$\mu_{mimA} = \min(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots, \mu_n)$
Passo 5	Transforme menor valor em Grau de Evidência desfavorável.
	$1 - \mu_{mimA} = \lambda$

Passo 6	Faça a análise Paraconsistente entre os valores selecionados:
	$\mu_{R1} = \mu \diamond \lambda$ */ Utilização de um NAP */
Passo 7	Acrescente o valor obtido μ_{R1} no grupo em estudo, excluindo deste os dois valores μ_{max} e μ_{mim} selecionados anteriormente.
	$G_{\mu} = (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots, \mu_n, \mu_{R1}) - (\mu_{maxA}, \mu_{mimA})$
Passo 8	Retorne ao item 2 até que o Grupo em estudo tenha um único elemento resultante das análises.
	$G_{\mu} = (\mu_{ER})$

Quadro 12. Algoritmo Paraextrator de efeitos de contradição.
Fonte: Adaptado de Da Silva et al, 2008

De acordo com Da Silva Filho (2009), para a análise paraconsistente que utiliza o Algoritmo *ParaExtrctr* os sinais de informação são capturados de banco de dados incertos. Essas informações são representantes de atributos geralmente conseguidas através de respostas subjetivas que geram apenas evidências a respeito da proposição analisada. Dessa maneira, as informações obtidas podem vir representadas por números resultantes de análises quantitativas expostos em tabelas, ou na forma percentual ou ainda através de programas computacionais aplicativos. Na aplicação do Algoritmo *ParaExtrctr* o processo de captura de informações de diversas fontes de informação inicia-se pela obtenção dos Graus de Evidência favoráveis e desfavoráveis por meio de equações de normalização. Esses graus formarão os grupos que serão analisados por blocos de NAPs que compõem os Algoritmos Extratores de Contradição. A partir daí, a rede de algoritmos paraconsistentes captura os dados nas fontes e extrai os efeitos das contradições até que na análise final seja obtido um único valor de Grau de Evidência resultante. Este será então o que representa os diversos graus aplicados como evidências da proposição analisada.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho utilizou como base um estudo exploratório. Buscou-se inicialmente por meio de um levantamento bibliográfico, uma maior familiaridade com as técnicas de tomada de decisão multicritério, mais especificamente o Método de Análise Hierárquica de Processo (AHP), com vistas a utilizá-lo em conjunto com os fundamentos da Lógica Paraconsistente Anotada de dois valores (LPA2v) para aplicação em um exemplo de uma fonte de dados secundários, na definição do melhor de 5 fornecedores que prestam serviços na área de construção civil em um projeto de engenharia.

A principal finalidade se dá em aperfeiçoar o Método de Análise Hierárquica de Processo (AHP) para amenizar algumas incorreções pois este em seu processo de análise possui várias oportunidades para o aparecimento de inconsistências. A primeira delas é a violação da transitividade (Significado: Diz-se da relação binária que, se verificada para os elementos **a** e **b** e também para **b** e **c**, verifica-se ainda para **a** e **c**.) nas matrizes de comparação. A outra inconsistência seria utilizar mais de um avaliador para cada critério, permitindo que cada um preencha uma mesma matriz de comparação.

De acordo com o método AHP, quando uma matriz de comparação apresenta grau de inconsistência igual acima de 10%, ele sugere uma revisão na matriz de comparação buscando possíveis erros ou más interpretações dos critérios ou alternativas. Em alguns casos cogita-se a substituição do avaliador responsável por outro que forneça valores mais consistentes. Neste caso, pode-se aplicar a lógica paraconsistente, que ao invés de evitar sistematicamente as matrizes inconsistentes, propõe a minimização de seus efeitos através da utilização de vários avaliadores para um mesmo critério e o uso do QUPC para interpretação do grau de contradição.

O que poderia parecer uma fonte de inconsistências, na verdade é uma forma de diminuir os impactos de eventuais erros ou diferenças de interpretação nas avaliações feitas por um único especialista. Esta nova proposta gera o grau de contradição associado à decisão tomada, além do vetor decisão, que classifica como cada alternativa atende aos critérios escolhidos para se atingir o objetivo.

Qualquer decisão tomada possui um risco inerente à fidelidade dos dados disponíveis, do modelo adotado, da interpretação do problema e de julgamentos subjetivos utilizados. O grau de contradição pode ser interpretado como o risco envolvido em se tomar uma decisão. Portanto, durante a fase de priorização são utilizados dois ou mais especialistas para preencher as matrizes de comparação. O especialista 1 preenche uma metade da matriz(a_{ij}) e na outra metade que seria preenchida com o inverso do valor, será preenchida pelo especialista 2. Para tratar as inconsistências conforme a LPA2v, as duas matrizes são combinadas, gerando uma única matriz paraconsistente, conforme ilustra a matriz da Figura 21 a seguir:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ & 1 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ & & 1 & a_{34} & a_{35} \\ & & & 1 & a_{45} \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & \\ a_{21} & 1 & & & \\ a_{31} & a_{32} & 1 & & \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 1 & \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 20. Matriz de comparação do especialista 1 e 2 para um dado multicritério.
Fonte: Adaptado de LAMBERT TORRES, 2008

A matriz definida pelo especialista 1 é associada ao grau de crença μ , e o recíproco da matriz da avaliação do especialista 2 é associado ao grau de contradição λ . O grau de contradição e o grau de certeza são definidos conforme as equações 3.1 e 3.2. Assim, cada valor de comparação da matriz paraconsistente pode ser analisado no reticulado de forma a encontrar e escolher a alternativa mais adequada para a decisão multicritério.

4.1. Procedimentos na utilização do método AHP/LPA2V

Como foi relatado no capítulo da introdução, um dos principais pontos na tomada de decisão de um Gerente de Projetos para que não atrasem os projetos, é

justamente na escolha dos fornecedores e para avaliar este estudo da lógica paraconsistente na tomada de decisão por multicritério utilizamos um exemplo que foi realizado em um trabalho de Kamal M Al-Subhi Al-Arbi (2001) onde é feita uma análise AHP de 5 fornecedores de construção civil e que podem fornecer serviços de engenharia.

Os dados são bem parecidos com a realidade onde foram escolhidos 6 critérios para a escolha dos fornecedores: Experiência da empresa; Estabilidade financeira; Desempenho da qualidade; Recursos de mão de obra; Recursos de equipamentos e Projetos similares recentemente desenvolvidos.

O Quadro 13 descreve as informações necessárias nas quais foram baseadas as avaliações pelos tomadores de decisão:

CRITÉRIOS	ESCOLHA DE FORNECEDORES PARA UM PROJETO NA INDÚSTRIA				
	FORNECEDOR A	FORNECEDOR B	FORNECEDOR C	FORNECEDOR D	FORNECEDOR E
EXPERIÊNCIA	5 ANOS EXPERIÊNCIA	7 ANOS EXPERIÊNCIA	8 ANOS EXPERIÊNCIA	10 ANOS EXPERIÊNCIA	15 ANOS EXPERIÊNCIA
	2 PROJETOS SIMILARES	1 PROJETO SIMILAR	NÃO TEM PROJETOS SIMILARES	2 PROJETOS SIMILARES	NÃO TEM PROJETO SIMILAR
		GRANDE EXPERIÊNCIA EM AQUISIÇÕES	1 PROJETO INTERNACIONAL		
ESTABILIDADE FINANCEIRA	\$ 7 M EM ATIVOS	\$ 10 M EM ATIVOS	\$ 14 M EM ATIVOS	\$ 11 M EM ATIVOS	\$ 6 M EM ATIVOS
	% ALTA DE CRESCIMENTO	\$ 5,5 M DE ENDIVIDAMENTO	\$ 6 M DE ENDIVIDAMENTO	\$ 4 M DE ENDIVIDAMENTO	\$ 1,5 M DE ENDIVIDAMENTO
	SEM DÍVIDAS			BOM RELACIONAMENTO COM BANCOS	
DESEMPENHO DA QUALIDADE	Boa organização	Média organização	Boa organização	Boa organização	Organização Ruim
				Boa reputação	tecnicas antiéticas
	Boa reputação	2 projetos atrasados	Premiação do governo	Muita certificação	1 projeto terminado
	muita certificação	programa de segurança	Boa reputação	Aumento de custos em alguns projetos	média qualidade
	programa de segurança		Programa Quality assurance		
RECURSOS DE MÃO DE OBRA	150 funcionários	100 funcionários	120 funcionários	90 funcionários	40 funcionários
	10 c/ perfil qualificados	200 sub-contratados	perfil de c/ boa qualificação	130 sub-contratados	260 sub-contratados
	disponibilidade em picos	25 c/ perfil qualificados			

RECURSOS DE EQUIPAMENTOS	4 caminhões betoneiras	6 caminhões betoneiras	1 Planta de Cimento	4 caminhões betoneiras	2 caminhões betoneiras
	1 retro-escavadeira	1 retro-escavadeira	1 caminhão transferencia concreto	1 retro-escavadeira	10 tipos de outras escavadeiras
	15 tipos de outras escavadeiras	1 buldozzer	2 betoneiras	9 tipos de outras escavadeiras	2000 formas de aço
		20 tipos de outras escavadeiras	1 retro-escavadeira		6000 formas de madeira
		15000 formas de aço	1 bulldozer		
			16 tipos de outras escavadeira		
			17000 formas de aço		
PROJETOS RECENTES	1 grande projeto terminado	2 projetos encerrados	1 projeto medio iniciado	2 projetos grandes encerrados	2 projetos pequenos iniciados
	2 projetos em andamento	(1 grande e 1 medium)	2 projetos encerrados	1 projeto medio em andamento	3 projetos encerrados
	(1 medio e 1 pequeno)		(1 grande e 1 medio)		(2 pequenos e 1 médio)

Quadro 13. Características dos critérios de cada fornecedor nas quais se basearam os decisores.

Fonte: Adaptado de AL-ARBI, 2001.

A seguir, na Figura 22, são informados os níveis de decisão em que se baseia o método AHP para esta escolha.

Conforme o método AHP, os decisores têm de indicar preferências ou prioridades para cada alternativa de decisão e como ela contribui para cada critério como mostra a Tabela 6.

Lembrando que o lado oposto da matriz será o inverso do valor da preferência indicada. Por exemplo, no caso do primeiro critério (experiência) ao indicar que o fornecedor B é 3 vezes mais experiente que o fornecedor A. Logo o fornecedor A terá 1/3 da experiência de B, de acordo com a comparação aos pares descrito no capítulo 2.8, onde foi abordado em detalhes o método AHP.

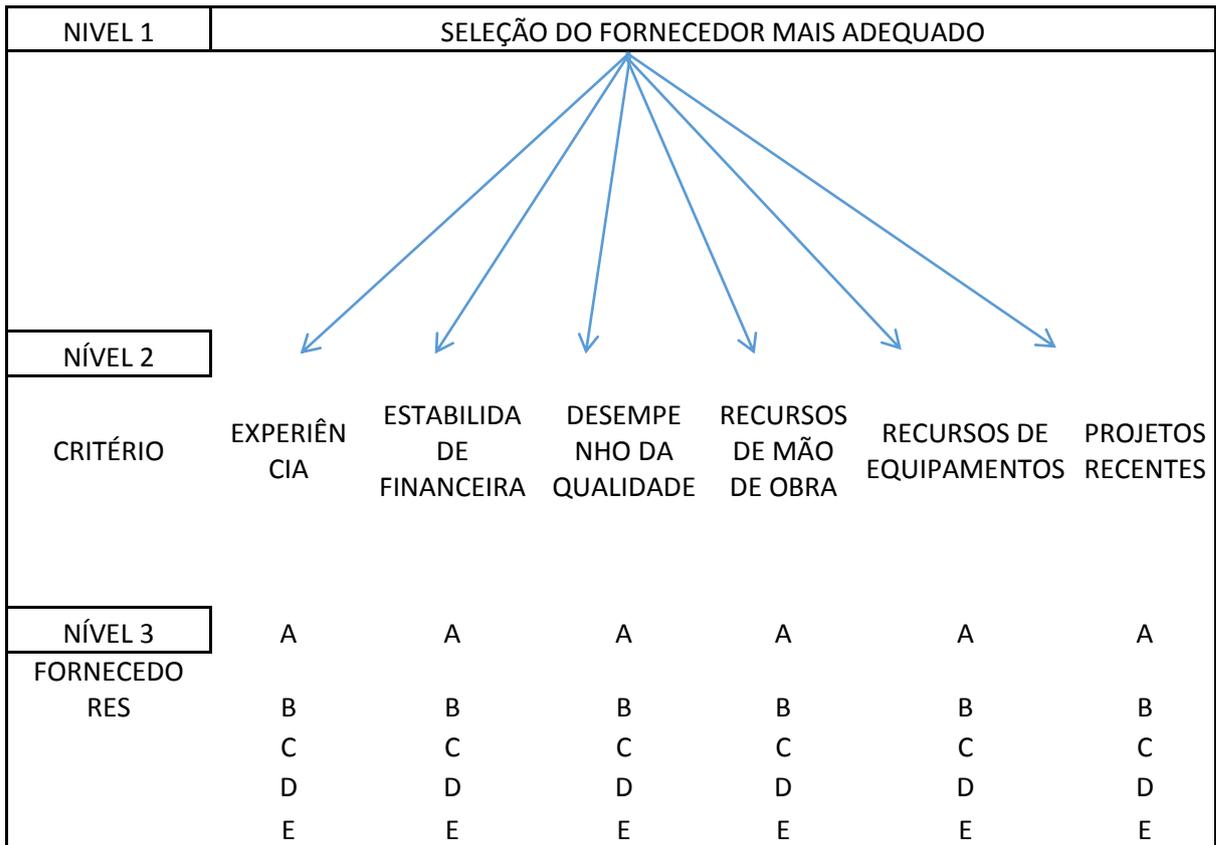


Figura 21. Níveis de decisão AHP do estudo de caso da escolha dos fornecedores.
Fonte: Adaptado de AL-ARBI, 2001.

Na Tabela 2 são apresentadas as 6 matrizes de prioridades de cada critério (Experiência; Est. financeira; Qualidade; Rec. mão de obra; Rec. de equipamento e Proj. recentes) com as priorizações para cada fornecedor (A;B;C;D e E)

EXPERIÊNCIA	A	B	C	D	E
A	1	1/3	1/2	1/6	2
B	3	1	2	1/2	4
C	2	1/2	1	1/3	3
D	6	2	3	1	7
E	1/2	1/4	1/3	1/7	1
Σ	12,50	4,08	6,83	2,14	17,00

EST. FINANC.	A	B	C	D	E
A	1	6	3	2	7
B	1/6	1	1/4	1/2	3
C	1/3	4	1	1/3	5
D	1/2	2	3	1	7
E	1/7	1/3	1/5	1/7	1
Σ	2,14	13,33	7,45	3,98	23,00

QUALIDADE	A	B	C	D	E
A	1	7	1/3	2	8
B	1/7	1	1/5	¼	4
C	3	5	1	4	9
D	½	4	1/4	1	6
E	1/8	¼	1/9	1/6	1
Σ	4,77	17,25	1,89	7,42	28,00

REC. M.OBRA	A	B	C	D	E
A	1	½	1/4	2	5
B	2	1	1/3	5	7
C	4	3	1	4	6
D	½	1/5	1/4	1	2
E	1/5	1/7	1/6	½	1
Σ	7,70	4,84	2,00	12,50	21,00

REC. EQUIP.	A	B	C	D	E
A	1	1/6	1/8	2	3
B	6	1	1/4	5	7
C	8	4	1	9	9
D	½	1/5	1/9	1	2
E	1/3	1/7	1/9	½	1
Σ	15,83	5,51	1,60	17,50	22,00

PROJ. RECENT	A	B	C	D	E
A	1	1/5	1/3	3	3
B	5	1	5	6	6
C	3	1/5	1	2	2
D	1/3	1/6	1/2	1	2
E	1/3	1/6	1/2	½	1
Σ	9,67	1,73	7,33	12,50	14,00

Tabela 2. Preferência do decisor para cada um dos critérios x fornecedores.
Fonte: Adaptado de AL-ARBI, 2001.

O próximo passo do método AHP é calcular a Razão de Consistência(RC) para verificar se os dados são aceitáveis ou não, para isso segue em detalhes no quadro 15 o passo a passo para este cálculo:

Passo 1	Sintetizar a matriz de comparação de pares para cada um dos seis critérios. Divide-se o valor da célula pelo valor da soma da coluna. (vide Tabelas 5 e 6)
Passo 2	Calcular o vetor de prioridade (autovetor) para cada critério. O autovetor é a soma das linhas, dividido pelo número de fornecedores (neste caso são 5 fornecedores).
Passo 3	Multiplicar a linha da matriz de comparação de pares pelo seu respectivo autovetor gerando a coluna Mmult.
Passo 4	Dividir a coluna Mmult pelo autovetor para calcular a coluna Mmult/AV.
Passo 5	Calcular λ_{max} . Soma-se a coluna anterior (Mmult/AV) e divide pelo número de fornecedores (neste caso são 5 fornecedores).
Passo 6	Calcular o índice de consistência calculado (IC). Subtrai-se o λ_{max} do número de fornecedores e divide-se pelo numero de fornecedores menos 1.
Passo 7	Selecionar o valor apropriado para o índice de randômico médio (IR) a partir da Figura 9 (Saaty 1991). Neste caso, o tamanho da matriz é 5 e o índice IR é 1,12.
Passo 8	Verificar se a consistência das preferências do tomador de decisão em função do valor da razão das consistências (RC). Logo RC é o resultado da divisão do IC pelo IR. Se RC for menor que 0,1 a consistência dos valores é aceitável.

Quadro 14. Passos para o calculo da Razão de Consistência.

Fonte: Adaptado de Saaty, 2001

Segue na Tabela 3 os valores destes cálculos para cada uma das matrizes deste estudo :

						Calculo de RC p/			
EXPERIÊNCIA	A	B	C	D	E	AUTO VETOR	Mmult	Mmult/AV	EXPERIÊNCIA
A	0,080	0,082	0,073	0,078	0,118	0,086	0,432	5,016	$\lambda_{max} = 5,038$
B	0,240	0,245	0,293	0,233	0,235	0,249	1,261	5,059	IC = 0,00956
C	0,160	0,122	0,146	0,156	0,176	0,152	0,767	5,038	IR = 1,12
D	0,480	0,490	0,439	0,467	0,412	0,457	2,314	5,059	RC = 0,008533
E	0,040	0,061	0,049	0,067	0,059	0,055	0,277	5,018	RC < 0,1 Aceitável
Σ						1,000			
						Calculo de RC p/			
EST. FINANC.	A	B	C	D	E	AUTO VETOR	Mmult	Mmult/AV	EST. FINANC.
A	0,467	0,450	0,403	0,503	0,304	0,425	2,305	5,419	$\lambda_{max} = 5,320$
B	0,078	0,075	0,034	0,126	0,130	0,089	0,457	5,162	IC = 0,08008
C	0,156	0,300	0,134	0,084	0,217	0,178	0,961	5,395	IR = 1,12
D	0,233	0,150	0,403	0,251	0,304	0,268	1,470	5,476	RC = 0,071501
E	0,067	0,025	0,027	0,036	0,043	0,040	0,204	5,149	RC < 0,1 Aceitável
Σ						1,000			
						Calculo de RC p/			
QUALIDADE	A	B	C	D	E	AUTO VETOR	Mmult	Mmult/AV	QUALIDADE
A	0,210	0,406	0,176	0,270	0,286	0,269	1,521	5,645	$\lambda_{max} = 5,379$
B	0,030	0,058	0,106	0,034	0,143	0,074	0,372	5,022	IC = 0,09476
C	0,629	0,290	0,528	0,539	0,321	0,462	2,578	5,585	IR = 1,12
D	0,105	0,232	0,132	0,135	0,214	0,164	0,899	5,495	RC = 0,084605
E	0,026	0,014	0,059	0,022	0,036	0,032	0,162	5,149	RC < 0,1 Aceitável
Σ						1,000			
						Calculo de RC p/			
REC. M. OBRA	A	B	C	D	E	AUTO VETOR	Mmult	Mmult/AV	REC. M. OBRA
A	0,130	0,103	0,125	0,160	0,238	0,151	0,789	5,218	$\lambda_{max} = 5,240$
B	0,260	0,206	0,167	0,400	0,333	0,273	1,449	5,302	IC = 0,05999
C	0,519	0,619	0,500	0,320	0,286	0,449	2,471	5,503	IR = 1,12
D	0,065	0,041	0,125	0,080	0,095	0,081	0,414	5,097	RC = 0,053567
E	0,026	0,029	0,083	0,040	0,048	0,045	0,230	5,080	RC < 0,1 Aceitável
Σ						1,000			
						Calculo de RC p/			
REC. EQUIP.	A	B	C	D	E	AUTO VETOR	Mmult	Mmult/AV	REC. EQUIP.
A	0,063	0,030	0,078	0,114	0,136	0,084	0,427	5,050	$\lambda_{max} = 5,285$
B	0,379	0,182	0,157	0,286	0,318	0,264	1,462	5,535	IC = 0,07113
C	0,505	0,726	0,626	0,514	0,409	0,556	3,145	5,656	IR = 1,12
D	0,032	0,036	0,070	0,057	0,091	0,057	0,290	5,082	RC = 0,063511
E	0,021	0,026	0,070	0,029	0,045	0,038	0,194	5,099	RC < 0,1 Aceitável
Σ						1,000			
						Calculo de RC p/			
PROJ.RECENT	A	B	C	D	E	AUTO VETOR	Mmult	Mmult/AV	PROJ.RECENT
A	0,103	0,115	0,045	0,240	0,214	0,144	0,748	5,204	$\lambda_{max} = 5,402$
B	0,517	0,577	0,682	0,480	0,429	0,537	2,999	5,585	IC = 0,10044
C	0,310	0,115	0,136	0,160	0,143	0,173	1,004	5,805	IR = 1,12
D	0,034	0,096	0,068	0,080	0,143	0,084	0,432	5,126	RC = 0,089676
E	0,034	0,096	0,068	0,040	0,071	0,062	0,328	5,288	RC < 0,1 Aceitável
Σ						1,000			

Tabela 3. Cálculo do autovetor normalizado e da razão das consistências (RC) de cada um dos critérios.

Fonte: Adaptado de AL-ARBI, 2001.

Após o cálculo do autovetor normalizado para cada critério independente, o método AHP indica que o decisor avalie a importância de cada critério com os outros critérios, esta nova matriz será denominada de matriz de critérios. O objetivo é definir o vetor de critérios normalizado e se esta matriz de critérios possui o índice de consistência randômica aceitável, conforme demonstrado na Tabela 4.

	EXPERIÊNCIA	EST.FINANC.	QUALIDADE	REC.M.OBRA	REC.EQUIPAM	PROJ.RECENT	
EXPERIÊNCIA	1	2	3	6	6	5	
EST.FINANC.	1/2	1	3	6	6	5	
QUALIDADE	1/3	1/3	1	4	4	3	
REC.M.OBRA	1/6	1/6	1/4	1	2	1/2	
REC.EQUIPAM	1/6	1/6	1/4	1/2	1	1/4	
PROJ.RECENT	1/5	1/5	1/3	2	4	1	
Σ	2,37	3,87	7,83	19,50	23,00	14,75	
	EXPERIÊNCIA	EST.FINANC.	QUALIDADE	REC.M.OBRA	REC.EQUIPAM	PROJ.RECENT	VETOR CRITÉRIOS
EXPERIÊNCIA	0,423	0,517	0,383	0,308	0,261	0,339	0,372
EST.FINANC.	0,211	0,259	0,383	0,308	0,261	0,339	0,293
QUALIDADE	0,141	0,086	0,128	0,205	0,174	0,203	0,156
REC.M.OBRA	0,070	0,043	0,032	0,051	0,087	0,034	0,053
REC.EQUIPAM	0,070	0,043	0,032	0,026	0,043	0,017	0,039
PROJ.RECENT	0,085	0,052	0,043	0,103	0,174	0,068	0,087
						Σ	1,000
ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DA MATRIZ CRITÉRIOS							
	2,412	6,489	λ_{max} =	6,312			
	1,933	6,588	IC =	0,062			
	1,005	6,438	IR =	1,240			
	0,324	6,114	RC =	0,050			
	0,237	6,136	RC < 0,1	Aceitável			
	0,532	6,108					

Tabela 4. Cálculo do vetor de critérios e da Razão das Consistências da matriz dos critérios.
Fonte: Adaptado de AL-ARBI, 2001.

Pode-se observar na Tabela 4 que o procedimento do cálculo é o mesmo que foi feito para cada um dos critérios separadamente conforme ilustrado na Tabela 3. Cada célula da matriz dos critérios é dividida pelo valor da soma da coluna em questão, como por exemplo: para a experiência tem-se $1/2,37 = 0,423$.

Para se calcular, por exemplo, o vetor de critérios do critério da experiência, deve-se somar toda a linha deste critério e dividir pelo número total de critérios, que neste estudo é 6. Neste caso para o critério experiência é: $0,432 + 0,517 + 0,383 + 0,308 + 0,261 + 0,339 + 0,372 / 6 = 0,372$. O mesmo cálculo é feito para os outros 5 critérios.

Como no procedimento da Tabela 3, executa-se o mesmo cálculo para identificar os valores de λ_{max} , IC, IR e RC. Como RC é igual a 0,050, então, o valor é menor que 0,1 (Saaty 1991), portanto, os valores são aceitáveis.

O próximo passo do método AHP é calcular o vetor decisão que irá indicar o fornecedor mais adequado para se tomar a decisão. Este valor é o maior valor na coluna do vetor decisão. O cálculo do vetor decisão é o resultado da multiplicação do valor de cada coluna pelo seu respectivo vetor de critérios e somando-se com os outros critérios. Neste estudo o maior valor calculado foi de 0,288 para o Fornecedor D, conforme informado na Tabela 5.

	EXPERIÊNCIA	EST.FINANC.	QUALIDADE	REC.M.OBRA	REC.EQUIPAM	PROJ.RECENT	VETOR DECISÃO
A	0,086	0,425	0,269	0,151	0,084	0,144	0,223
B	0,249	0,089	0,074	0,273	0,264	0,537	0,202
C	0,152	0,178	0,462	0,449	0,556	0,173	0,241
D	0,457	0,268	0,164	0,081	0,057	0,084	0,288
E	0,055	0,040	0,032	0,045	0,038	0,062	0,046
VETOR CRITÉRIOS	0,372	0,293	0,156	0,053	0,039	0,087	

CONCLUSÃO = FORNECEDOR "D" É O MAIS ADEQUADO

Tabela 5. Cálculo do vetor de decisão e indicação do fornecedor mais adequado para o método AHP.

Fonte: Adaptado de AL-ARBI, 2001.

4.2. Resultado do algoritmo de análise paraconsistente para determinação do Grau de Certeza real e do Intervalo de Certeza

Neste item será aplicado à lógica paraconsistente a partir dos resultados dos autovetores e vetores de critérios calculados através do modelo AHP.

Conforme informado no item 3.7, o sistema ou algoritmo denominado de nó de análise paraconsistente (NAP), pode ser calculado utilizando-se as equações obtidas no estudo dos NAPs. Para este cálculo, definiu-se o μ (grau de evidência favorável) como sendo a coluna normalizada do autovetor de cada critério (ver Tabela 3) e o λ (grau de evidência desfavorável) como sendo a coluna normalizada do vetor dos critérios (ver Tabela 4). Como resultado do nó (NAP), obtém-se o grau de evidência real (μ_{ER}) e o sinal do intervalo de evidência resultante (ϕ_{Er}) para cada critério de cada fornecedor.

Na Tabela 6 são apresentados os cálculos dos NAP's para todos os 6 critérios (Experiência; Est. financeira; Qualidade; Rec.de mão de obra; Rec. equipamentos e Proj. recentes), considerando cada um dos 5 fornecedores em questão:

FORNECEDORA	μ	λ	μ_{Ctr}	Φ_{Er}	G_c	G_{CT}	D	G_{CR}	μ_{ER}
EXPERIÊNCIA	0,086045644	0,62828329	0,35716447	0,71432894	-0,5422376	-0,2856711	0,53959	-0,46041	0,26979359
EST. FINANCEIRA	0,425338614	0,70659801	0,56596831	0,86806338	-0,2812594	0,13193662	0,73075	-0,26925	0,36537492
QUALIDADE	0,269373043	0,84380956	0,5565913	0,88681739	-0,5744365	0,11318261	0,44036	-0,55964	0,22017866
REC. MÃO OBRA	0,151242041	0,94707037	0,54915621	0,90168758	-0,7958283	0,09831242	0,22661	-0,77339	0,11330424
REC. EQUIPAMENT	0,084463753	0,96141511	0,52293943	0,95412113	-0,8769514	0,04587887	0,13132	-0,86868	0,0656617
PROJ. RECENTES	0,14371463	0,91282365	0,52826914	0,94346172	-0,769109	0,05653828	0,23771	-0,76229	0,11885624

FORNECEDOR B	μ	λ	μ_{Ctr}	Φ_{Er}	G_c	G_{CT}	D	G_{CR}	μ_{ER}
EXPERIÊNCIA	0,249241667	0,62828329	0,43876248	0,87752496	-0,3790416	-0,122475	0,63292	-0,36708	0,31646068
EST. FINANCEIRA	0,088503622	0,70659801	0,39755082	0,79510163	-0,6180944	-0,2048984	0,43340	-0,56660	0,21669981
QUALIDADE	0,074014083	0,84380956	0,45891182	0,91782365	-0,7697955	-0,0821764	0,24443	-0,75557	0,12221607
REC. MÃO OBRA	0,273245987	0,94707037	0,61015818	0,77968364	-0,6738244	0,22031636	0,39361	-0,60639	0,19680563
REC. EQUIPAMENT	0,26417382	0,96141511	0,61279447	0,77441107	-0,6972413	0,22558893	0,37756	-0,62244	0,18878109
PROJ. RECENTES	0,536910813	0,91282365	0,72486723	0,55026554	-0,3759128	0,44973446	0,76925	-0,23075	0,3846251

FORNECEDOR C	μ	λ	μ_{Ctr}	Φ_{Er}	G_c	G_{CT}	D	G_{CR}	μ_{ER}
EXPERIÊNCIA	0,152163317	0,62828329	0,39022331	0,78044661	-0,47612	-0,2195534	0,56803	-0,43197	0,28401319
EST. FINANCEIRA	0,178201477	0,70659801	0,44239974	0,88479949	-0,5283965	-0,1152005	0,48547	-0,51453	0,24273493
QUALIDADE	0,461536441	0,84380956	0,652673	0,694654	-0,3822731	0,305346	0,68907	-0,31093	0,34453689
REC. MÃO OBRA	0,448932766	0,94707037	0,69800157	0,60399686	-0,4981376	0,39600314	0,63928	-0,36072	0,31964212
REC. EQUIPAMENT	0,556148459	0,96141511	0,75878179	0,48243643	-0,4052667	0,51756357	0,78840	-0,21160	0,39420166
PROJ. RECENTES	0,172990044	0,91282365	0,54290684	0,91418631	-0,7398336	0,08581369	0,27395	-0,72605	0,13697677

FORNECEDOR D	μ	λ	μ_{Ctr}	Φ_{Er}	G_c	G_{CT}	D	G_{CR}	μ_{ER}
EXPERIÊNCIA	0,457450336	0,62828329	0,54286681	0,91426637	-0,170833	0,08573363	0,83359	-0,16641	0,41679379
EST. FINANCEIRA	0,268372546	0,70659801	0,48748528	0,97497056	-0,4382255	-0,0250294	0,56233	-0,43767	0,28116592
QUALIDADE	0,163566991	0,84380956	0,50368828	0,99262345	-0,6802426	0,00737655	0,31984	-0,68016	0,15992125
REC. MÃO OBRA	0,081294219	0,94707037	0,5141823	0,97163541	-0,8657762	0,02836459	0,13719	-0,86281	0,06859408
REC. EQUIPAMENT	0,057099378	0,96141511	0,50925725	0,98148551	-0,9043157	0,01851449	0,09746	-0,90254	0,04872952
PROJ. RECENTES	0,084335113	0,91282365	0,49857938	0,99715876	-0,8284885	-0,0028412	0,17154	-0,82846	0,0857675

FORNECEDOR E	μ	λ	μ_{Ctr}	Φ_{Er}	G_c	G_{CT}	D	G_{CR}	μ_{ER}
EXPERIÊNCIA	0,055099035	0,62828329	0,34169116	0,68338233	-0,5731843	-0,3166177	0,53143	-0,46857	0,26571527
EST. FINANCEIRA	0,039583742	0,70659801	0,37309088	0,74618175	-0,6670143	-0,2538182	0,41869	-0,58131	0,20934613
QUALIDADE	0,031509441	0,84380956	0,4376595	0,875319	-0,8123001	-0,124681	0,22534	-0,77466	0,11266831
REC. MÃO OBRA	0,045284986	0,94707037	0,49617768	0,99235536	-0,9017854	-0,0076446	0,09851	-0,90149	0,04925584
REC. EQUIPAMENT	0,03811459	0,96141511	0,49976485	0,9995297	-0,9233005	-0,0004703	0,07670	-0,92330	0,03835046
PROJ. RECENTES	0,062049399	0,91282365	0,48743652	0,97487304	-0,8507742	-0,025127	0,15133	-0,84867	0,07566322

Tabela 6. Cálculo dos NAP's para cada fornecedor em função dos critérios.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Com posse dos graus resultantes reais (μ_{ER}) e do sinal do intervalo de evidência resultante (Φ_{Er}) para cada fornecedor, utiliza-se o Algoritmo Paraconsistente Extrator de efeitos da Contradição (ParaExtrctr) que é capaz de extrair gradativamente os efeitos da contradição em sinais de informação originados de banco de dados de conhecimento incerto, conforme apresentado na Figura 20 do item 3.1.

São necessárias cinco etapas para se obter o μ_{ER} resultante do Fornecedor A, conforme Tabela 7. Em linhas gerais os μ_{ER} são ordenados por ordem de grandeza e escolhidos o maior e o menor valor para os cálculos da primeira etapa.

Após o cálculo do novo μ_{ER} , os dois valores utilizados na primeira etapa são eliminados, mas inserimos este novo μ_{ER} como um elemento a mais e ordenamos novamente os valores, repetindo o ciclo até sobraem apenas 2 valores de μ_{ER} , conforme etapa 5. O valor resultante do μ_{ER} para o **Fornecedor A** é **0,209535827**.

FORNECEDOR A	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 1	μ	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 2	μ
EXPERIÊNCIA	0,26979359	0,36537492	0,365	0,36537492	0,2624979	0,26979359	0,27	0,26979359
EST. FINANCEIRA	0,36537492	0,26979359	0,066	λ	0,26979359	0,2624979	0,113	λ
QUALIDADE	0,22017866	0,22017866		0,9343383	0,22017866	0,22017866		0,88669576
REC. MÃO OBRA	0,11330424	0,11885624		Gc	0,11885624	0,11885624		Gc
REC. EQUIPAMENT	0,0656617	0,11330424		-0,5689634	0,11330424	0,11330424		-0,6169022
PROJ. RECENTES	0,11885624	0,0656617		Gct				Gct
				0,29971322				0,15648935
				D				D
				0,52499579				0,41382709
				G _{CR}				G _{CR}
				-0,4750042				-0,5861729
				μ_{ER}				μ_{ER}
				0,2624979				0,20691355

	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 3	μ	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 4	μ
	0,20691355	0,2624979	0,262	0,2624979	0,2037547	0,22017866	0,22	0,22017866
	0,2624979	0,22017866	0,119	λ	0,22017866	0,20691355	0,204	λ
	0,22017866	0,20691355		0,88114376	0,20691355	0,2037547		0,7962453
	0,11885624	0,11885624		Gc				Gc
				-0,6186459				-0,5760666
				Gct				Gct
				0,14364166				0,01642397
				D				D
				0,40750939				0,42425139
				G _{CR}				G _{CR}
				-0,5924906				-0,5757486
				μ_{ER}				μ_{ER}
				0,2037547				0,21212569

	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 5	μ	FORNECEDOR A - μ_{ER} 0,209535827			
	0,21212569	0,21212569	0,212	0,21212569				
	0,20691355	0,20691355	0,207	λ				
				0,79308645				
				Gc				
				-0,5809608				
				Gct				
				0,00521215				
				D				
				0,41907165				
				G _{CR}				
				-0,5809283				
				μ_{ER}				
				0,20953583				

Tabela 7. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o calculo do grau resultante real do Fornecedor A.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para os outros fornecedores B, C, D e E, faz-se o mesmo procedimento que o fornecedor A, conforme mostrado nas Tabelas 8, 9, 10 e 11:

FORNECEDOR B	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 1	μ	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 2	μ
EXPERIÊNCIA	0,31646068	0,3846251	0,385	0,3846251	0,28537102	0,31646068	0,316	0,31646068
EST. FINANCEIRA	0,21669981	0,31646068	0,122	λ	0,31646068	0,28537102	0,189	λ
QUALIDADE	0,12221607	0,21669981		0,87778393	0,21669981	0,21669981		0,81121891
REC. MÃO OBRA	0,19680563	0,19680563		Gc	0,19680563	0,19680563		Gc
REC. EQUIPAMENT	0,18878109	0,18878109		-0,4931588	0,18878109	0,18878109		-0,4947582
PROJ. RECENTES	0,3846251	0,12221607		Gct				Gct
				0,26240903				0,12767958
				D				D
				0,57074204				0,52112505
				G _{CR}				G _{CR}
				-0,429258				-0,4788749
				μ_{ER}				μ_{ER}
				0,28537102				0,26056253

	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 3	μ	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 4	μ
	0,26056253	0,28537102	0,285	0,28537102	0,24512148	0,26056253	0,261	0,26056253
	0,28537102	0,26056253	0,197	λ	0,26056253	0,24512148	0,217	λ
	0,21669981	0,21669981		0,80319437	0,21669981	0,21669981		0,78330019
	0,19680563	0,19680563		Gc				Gc
				-0,5178233				-0,5227377
				Gct				Gct
				0,08856539				0,04386271
				D				D
				0,49024295				0,4792737
				G _{CR}				G _{CR}
				-0,509757				-0,5207263
				μ_{ER}				μ_{ER}
				0,24512148				0,23963685

	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 5	μ			
	0,23963685	0,24512148	0,245	0,24512148			
	0,24512148	0,23963685	0,24	λ			
				0,76036315			
				Gc			
				-0,5152417			
				Gct			
				0,00548463			
				D			
				0,48478935			
				G _{CR}			
				-0,5152106			
				μ_{ER}			
				0,24239468			

FORNECEDOR B - μ_{ER}
0,242394676

Tabela 8. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o cálculo do grau resultante real do Fornecedor B.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

FORNECEDOR D	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 1	μ	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 2	μ
EXPERIÊNCIA	0,41679379	0,41679379	0,417	0,41679379	0,29672515	0,29672515	0,297	0,29672515
EST. FINANCEIRA	0,28116592	0,28116592	0,049	λ	0,28116592	0,28116592	0,069	λ
QUALIDADE	0,15992125	0,15992125		0,95127048	0,15992125	0,15992125		0,93140592
REC. MÃO OBRA	0,06859408	0,0857675		Gc	0,0857675	0,0857675		Gc
REC. EQUIPAMENT	0,04872952	0,06859408		-0,5344767	0,06859408	0,06859408		-0,6346808
PROJ. RECENTES	0,0857675	0,04872952		Gct				Gct
				0,36806426				0,22813107
				D				D
				0,59345029				0,43069934
				G _{CR}				G _{CR}
				-0,4065497				-0,5693007
				μ_{ER}				μ_{ER}
				0,29672515				0,21534967

	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 3	μ	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 4	μ
	0,21534967	0,28116592	0,281	0,28116592	0,20785853	0,21534967	0,215	0,21534967
	0,28116592	0,21534967	0,086	λ	0,21534967	0,20785853	0,16	λ
	0,15992125	0,15992125		0,9142325	0,15992125	0,15992125		0,84007875
	0,0857675	0,0857675		Gc				Gc
				-0,6330666				-0,6247291
				Gct				Gct
				0,19539842				0,05542842
				D				D
				0,41571707				0,37934229
				G _{CR}				G _{CR}
				-0,5842829				-0,6206577
				μ_{ER}				μ_{ER}
				0,20785853				0,18967115

	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 5	μ				
	0,18967115	0,20785853	0,208	0,20785853				
	0,20785853	0,18967115	0,19	λ				
				0,81032885				
				Gc				
				-0,6024703				
				Gct				
				0,01818739				
				D				
				0,39794551				
				G _{CR}				
				-0,6020545				
				μ_{ER}				
				0,19897275				

FORNECEDOR D - μ_{ER}
0,198972754

Tabela 10. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o calculo do grau resultante real do Fornecedor D.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

FORNECEDOR E	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 1	μ	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 2	μ
EXPERIÊNCIA	0,26571527	0,26571527	0,266	0,26571527	0,18983593	0,20934613	0,209	0,20934613
EST. FINANCEIRA	0,20934613	0,20934613	0,038	λ	0,20934613	0,18983593	0,049	λ
QUALIDADE	0,11266831	0,11266831		0,96164954	0,11266831	0,11266831		0,95074416
REC. MÃO OBRA	0,04925584	0,07566322		Gc	0,07566322	0,07566322		Gc
REC. EQUIPAMENT	0,03835046	0,04925584		-0,6959343	0,04925584	0,04925584		-0,741398
PROJ. RECENTES	0,07566322	0,03835046		Gct				Gct
				0,22736481				0,16009029
				D				D
				0,37967187				0,3041445
				G _{CR}				G _{CR}
				-0,6203281				-0,6958555
				μ_{ER}				μ_{ER}
				0,18983593				0,15207225

	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 3	μ	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 4	μ
	0,15207225	0,18983593	0,19	0,18983593	0,14450364	0,15207225	0,152	0,15207225
	0,18983593	0,15207225	0,076	λ	0,15207225	0,14450364	0,113	λ
	0,11266831	0,11266831		0,92433678	0,11266831	0,11266831		0,88733169
	0,07566322	0,07566322		Gc				Gc
				-0,7345008				-0,7352594
				Gct				Gct
				0,11417272				0,03940394
				D				D
				0,28900728				0,26765694
				G _{CR}				G _{CR}
				-0,7109927				-0,7323431
				μ_{ER}				μ_{ER}
				0,14450364				0,13382847

	μ_{ER}	μ_{ER} ordenado	Etapa 5	μ				
	0,13382847	0,14450364	0,145	0,14450364				
	0,14450364	0,13382847	0,134	λ				
				0,86617153				
				Gc				
				-0,7216679				
				Gct				
				0,01067517				
				D				
				0,27853675				
				G _{CR}				
				-0,7214632				
				μ_{ER}				
				0,13926838				

FORNECEDOR E - μ_{ER}
0,139268376

Tabela 11. Algoritmo Paraconsistente Extrator para o calculo do grau resultante real do Fornecedor E.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

De acordo com os dados das Tabelas 7,8,9,10 e 11 podemos observar que o maior valor de μ_{ER} corresponde ao Fornecedor C seguido por B, A, D e depois E.

Este resultado leva em consideração todos os dados inclusive os que possuem evidências desfavoráveis.

4.1. Discussão

A comparação dos resultados obtidos pelo método AHP com o algoritmo da Lógica paraconsistente é inevitável. A seguir é apresentada uma breve discussão da comparação dos resultados obtidos utilizando o algoritmo de análise da Lógica Paraconsistente juntamente com o Método AHP.

Com o objetivo de equalizar a comparação, utilizou-se como μ (grau de evidência favorável) o autovetor normalizado calculado a partir das informações determinadas para cada fornecedor e como λ (grau de evidência desfavorável) o vetor de critérios normalizado de comparação entre cada critério com ele mesmo.

As Tabelas 12 e 13 apresentam as diferenças entre os valores finais apresentados para indicação do fornecedor vencedor, com base apenas nos vetores de decisão (método AHP) e considerando o grau de evidência real resultante como resultado da aplicação do estudo dos NAPs (Lógica paraconsistente) respectivamente.

Fornecedor A - 0,22264	Fornecedor B - 0,20163	Fornecedor C - 0,24123	Fornecedor D - 0,28818	Fornecedor E - 0,04629
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

Tabela 12. Valores com base nos vetores de decisão na indicação do fornecedor vencedor, considerando apenas o Método AHP.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Fornecedor A - 0,20953	Fornecedor B - 0,24239	Fornecedor C - 0,29837	Fornecedor D - 0,19897	Fornecedor E - 0,13926
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

Tabela 13. Valores do grau de evidência real resultante(μ_{ER}) na indicação do fornecedor vencedor, considerando o Método AHP em conjunto com a LPA2v.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Apesar de se obter um resultado satisfatório na comparação entre os dois métodos, pode-se observar uma significativa diferença entre a melhor alternativa definida pelo método AHP (fornecedor D) e a melhor do algoritmo utilizando a lógica paraconsistente (fornecedor C). Isto se deve provavelmente ao fato de se considerar as incertezas e contradições, onde se configura um dos pontos fracos do método AHP.

De acordo com Da Silva Filho (2009) a rede de algoritmos paraconsistentes captura os dados nas fontes e extrai os efeitos das contradições até que na análise final seja obtido um único valor de Grau de Evidência resultante.

Grandzol (2005) adverte que a tolerância de inconsistências não é uma limitação do AHP, mas sim um retrato da realidade. Assim, a aplicação do AHP inclui e mede todos os fatores importantes qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis para aproximar-se do modelo realista.

	EXPERIÊNCIA	EST.FINANC.	QUALIDADE	REC.M.OBRA	REC.EQUIPAM	PROJ.RECENT	VETOR DECISÃO
A	0,086	0,425	0,269	0,151	0,084	0,144	0,223
B	0,249	0,089	0,074	0,273	0,264	0,537	0,202
C	0,152	0,178	0,462	0,449	0,556	0,173	0,241
D	0,457	0,268	0,164	0,081	0,057	0,084	0,288
E	0,055	0,040	0,032	0,045	0,038	0,062	0,046
VETOR CRITÉRIOS	0,372	0,293	0,156	0,053	0,039	0,087	

Tabela 14. Resultados obtidos utilizando-se o método AHP.
Fonte: Copiado da Tabela 5.

Pode-se observar na Tabela 14, que nos dados utilizados pela lógica paraconsistente, o fornecedor D leva uma vantagem significativa nos dois critérios Experiência e Est. Financeira devido aos pesos que foram atribuídos entre os próprios critérios (linha vetor critérios), sendo nestes os maiores valores. Nos outros 4 critérios o fornecedor D possui uma pontuação bem baixa.

Ao observar os dados do fornecedor C, tem-se que os 2 critérios de maior peso são medianos nos valores, enquanto que nos outros 4 critérios praticamente são os maiores. Isto se deve ao fato que a LPA2v, juntamente com o algoritmo paraconsistente extrator de efeitos de contradição, aplica um refinamento em todos os dados, minimizando as contradições.

Outra característica que pode favorecer o algoritmo da lógica paraconsistente é o que foi citado no item 4 do mesmo capítulo 2.8.5 onde novas alternativas podem reverter o *ranking* das alternativas existentes. Neste caso foi realizado o teste informando novas alternativas de critérios para cada fornecedor e o resultado permaneceu o mesmo.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um método de análise e tomada de decisão com a junção de duas técnicas; o método AHP (*Analytic Hierarchical Process*), bastante utilizado e conhecido atualmente, e a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores LPA2v, uma lógica não clássica que aceita contradição em sua fundamentação. Inicialmente com a utilização do algoritmo paraconsistente aplicado à tomada de decisão por multicritérios, pode-se constatar a exiguidade de união das duas técnicas em um procedimento computacional capaz de agregar valores a tomadas de decisão. Cria-se assim uma alternativa do método multicritério de tomadas de decisão, aperfeiçoado pela Lógica Paraconsistente que denominamos de AHP/LPA2v.

Como aplicação prática deste estudo, utilizou-se um exemplo clássico onde através de uma fonte secundária de dados foram analisados procedimentos e técnicas na escolha do melhor fornecedor na área de construção civil, na implantação de uma obra em uma indústria. Todos os procedimentos utilizando o método AHP/LPA2v foram baseados em buscas centrando sempre o foco na gestão de projetos.

Destaca-se nesta conclusão que, apesar da utilização do método AHP estar bem consolidada nas tomadas de decisão por multicritérios, pode-se verificar que é possível com o uso de Lógicas não-clássicas, representadas aqui pelas lógicas paraconsistentes, apresentar outras formas inovadoras para melhorar ainda mais a eficácia nas tomadas de decisão, principalmente nos casos de informações inconsistentes onde se configura os pontos fracos da técnica AHP.

Na prática, ao se comparar os métodos de apoio à tomada de decisão é possível observar a complexidade que a situação pode apresentar-se ao decisor, ainda mais quando o mesmo busca uma ferramenta para ajudá-lo e se depara com várias alternativas, cada uma com sua limitação e vantagens diferenciadas. Por isso este trabalho pode auxiliar os tomadores de decisão, pois potencializa a utilização dos dois métodos em conjunto (AHP e Lógica Paraconsistente), além de no decorrer da análise, esclarecer algumas vantagens e desvantagens de cada um deles.

De forma geral conclui-se que os resultados obtidos mostraram que a Lógica Paraconsistente aqui utilizada é bastante eficaz para tratar as incertezas e

contradições na utilização de técnicas multicritérios, principalmente em análises que agregam certa complexidade para obtenção de uma tomada de decisão, devido a informações incompletas e ou contraditórias. Apesar de ser uma primeira versão de utilização das técnicas em uma única configuração, os resultados motivam para que novos casos sejam estudados com critérios diferentes e assim consolidar o método AHP/LPA2v em tomadas de decisão na área de gestão de projetos.

Trabalhos futuros

Esta proposta aqui apresentada através de uma estrutura funcional na forma de uma rede com dois nós de análises paraconsistentes, será importante para o desenvolvimento de novas configurações em projetos de pesquisa que possam englobar outras áreas de tomada de decisão.

Os resultados obtidos com esta configuração poderão se formar referências para futuras pesquisas que envolvam teorias relacionadas à tomada de decisão por multicritérios embasadas também em lógica não clássica, pois o passo a passo listado no trabalho não se restringe unicamente ao modelo proposto, sendo passivo aplicar a outros métodos de auxílio a tomada de decisão. Seguindo este raciocínio as próximas pesquisas serão desenvolvidas na utilização deste método em cenários pouco usuais, buscando expandir o horizonte de aplicação da mesma, como: localização de serviços, análise de investimentos, seleção de projetos, priorização de riscos etc, assim como uma análise mais apurada na comparação com outros métodos aqui citados, que tanto pode contribuir no auxílio às decisões devido suas características híbridas, obtendo as vantagens dos dois principais métodos.

REFERÊNCIAS

- AI-HARBI, KAMAL M. AI-SUBHI, ***Application of the AHP in project management: International Journal of Project Management*** 19 (2001) 19-27
- ALMASRI, M. N.; KALUARACHCHI, J. J. ***Multi-criteria decision analysis for the optimal management of nitrate contamination of aquifers. Journal of Environmental Management***, v. 74, n. 4, p. 365–381, mar. 2005. Disponível em:<www.elsevier.com/locate/jenvman>. Acesso em: 14 jan. 2015.
- BANA E COSTA, C. A. ***The LSE Decision Analysis School of Thought' in practice: creating a vision for Puerto Rico 2025***. Londres: *London School of Economics and Political Science*, 2005. Disponível em: <<http://www.deg.ist.utl.pt/ensino/modelos.decisao/docs/CreatingVisionforPuertoRico2025.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2015.
- BANA E COSTA, C. A.; ENSSLIN, L.; CORRÊA, E. C., VANSNICK, Jean-Claude. ***Decision support systems in action: integrated application in a multicriteria decision aid process. European Journal of Operational Research***, n. 113, p. 315-335, 1999.
- BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. ***Thoughts a theoretical framework for measuring attractiveness by categorical based evaluation technique (MACBETH)***. In: Clímaco, j. (ed), *Multicriteria Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, 1997.
- BECKER B.; BRAUNSCHWEIG T. ***Choosing research priorities by using the analytic hierarchy process: an application to international agriculture. Swiss Centre for International Agriculture (ZIL), Swiss Federal Institute of Technology, ETHZentrum, SEC C7, CH-8092 Zürich, Switzerland.***
- BEINAT, E; NIJKAMP, P. ***Multicriteria analysis for land-use management***. Amsterdam: *Kluwer Academic Publishers*, 1998. Disponível em: <www.inescc.pt/~ewgmcda/BeinatNijkampBook.html>. Acesso em: 07 nov. 2014.
- BRITES, C. R. C. ***Abordagem multiobjetivo na seleção de sistemas de reuso de água em irrigação paisagística no Distrito Federal***. 2008. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Publicação PTARH.DM- 112/08, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade de Brasília, DF, 2008
- CASSARRO, A. C. ***Sistema de informações para tomada de decisões***. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- CHAN, A. H.S., KWOK W.Y., D. V. G. ***Using AHP for determining priority in a safety management system. Industrial Management & Data Systems***, Volume 104, Number 5 , pg 430–445, 2004.
- CHOO, C. W. ***A organização do conhecimento***. Tradução de Eliana Rocha. São Paulo: Senac, 2003.

CLEMEN, R. T.; REILLY, T. ***Making hard decisions with decisions tools***. California: Duxbury, 2. ed., 2001.

COSTA, C. A., ABE, J. M., DA SILVA FILHO, J. I., MUROLO, A. C. **Lógica Paraconsistente Aplicada**, 2ª. Ed., 1999, Editora Atlas, 214 p.

COSTA, C. A.; CHAGAS, M. P. ***A career choice problem: an example of how to use Macbeth to build a quantitative value model based on qualitative value judgments***. *European journal of operational research*, v. 153, n. 2, p. 323-331, 2004.

COSTA, C. A.; FERREIRA, J. A. A.; CORREA, E. C. **Metodologia multicritério de apoio à avaliação de propostas em concursos públicos**. In: ANTUNES, C. H.; TAVARES, L.V. (Ed.). *Casos de aplicação da Lausanne: Press Polytechniques et Universitaires Romande*, p. 173, 1996.

DA SILVA FILHO, J. I., **Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v**, Artigo técnico, Revista Seleção Documental, Santos, 2006, pp. 18-25.

DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M. **Introdução à lógica paraconsistente anotada com ilustrações**. Editora Emmy, 1ª. Ed., Santos, 2000, pp. 25, 54, 147-150.

DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M.; TORRES, G. L., **Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes** Editora LTC, 1ª. Ed., Rio de Janeiro, 2008, pp.4-5, pp.40-84, pp.101-185.

DA SILVA FILHO, J. I.; OLIVEIRA, D. B.; DE AGUIAR, A. L. L.; FERRARA, L. F. P.; GARCIA, D. V.; MARIO, M. C., **Algoritmos fundamentados em Lógica Paraconsistente anotada aplicados em análises de variáveis físicas de um processo industrial**, Artigo técnico, Revista Seleção Documental, Santos, 2012, pp. 18-23.

DIAKOULAKI, D.; MAVROTAS, G.. ***Stakeholder Workshops & Multicriteria Analysis***. Grécia: *National Technical University Athens*, 2004.

Disponível em:

<<http://www.arirabl.com/papers/WP6%20MCA%20Stakeholders%20FinalReport+Q.pdf>>. Acesso em: 10 junho 2014.

DODGSON, J.; SPACKMAN, M.; PEARMAN, A.; PHILLIPS, L. ***DTLR multi-criteria analysis manual***. Reino Unido: DTLR – *Department for Transport, Local Government and the Regions*, 2001. Disponível em:

<http://www.odpm.gov.uk/pub/252/MulticriteriaanalysismanualPDF1380Kb_id1142252.pdf>. Acesso em: 11 maio 2014.

EHRlich, P. J. **Modelos quantitativos de apoio às decisões – II**. ERA – *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v.36, n.2, p.44-52, Abr./Maio/Jun. 1996.

FENG, Y.J., LU H., BI K. ***An AHP/DEA Method for Measurement of the Efficiency of R&D Management Activities in Universities***. *International Federation of*

Operational Research Societies, International Transactions in Operational Research, Res. 11, pg 181–191, *Published by Blackwell Publishing Ltd*, 2004.

FERNANDES, C. H. **Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social – um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “MACBETH”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1996. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta97/fernandes>. Acesso em: 03 set. 2014.

FISHBURN, P. C. ***Utility theory for decision making***. Nova York: Wiley, 1970.

FLAMENT, M. **Glosario multicriterio. España: Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio**, 1999. Disponível em: www.unesco.org/uy/red-m/glosariom.htm>. Acesso em: 19 out. 2014.

FRANCISCHINI, P. G., CABEL G.M.B. **Proposição de um indicador geral utilizando AHP**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23, Ouro Preto, 2003. Anais. Ouro Preto: Abrepo, 2003.

FÜLÖP, J. ***Introduction to decision making methods. Laboratory of Operations Research and Decision Systems, Computer and Automation Institute. Hungarian: Academy of Sciences***, 2005.

GARTNER, I. R. **Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas**. Brasília: Editora Universa, 2001.

GERSHON, M.; DUCKSTEIN, L. ***Multiobjective approaches to river basin planning. Journal of Water Planning and Management***, v.109, n.1, p.13-28, jan. 1983.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C., **Tomada de decisões em cenários complexos**, Tradução técnica: Marcela Cecília González Araya, São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, L. F. M.; MOREIRA, A. M. M. **Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério**. In: RECITEC, Recife, v. 2, n. 2, p. 117-139, 1998. Disponível em: <www.fundaj.gov.br/rtec/res/res-001.html>. Acesso em: 06 set. 2014.

GOODWIN, Paul.; WRIGHT, Geoge. ***Decision Analysis For Management Judgment***. 2a. edição. Nova Iorque, John Miley & Sons, 2000.

GONÇALVES, R. W. **Métodos multicritérios como apoio à decisão em comitês de bacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: UNIFOR, 2001.

GRANDZOL, J. R. ***Improving the faculty selection process in higher education: a case for the analytic hierarchy process***. *IR Application*, S.I., v.6, p.1-13, 2005.

GUGLIELMETTI, F. R.; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A. Pamplona. **Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios**. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Ouro Preto, 2003. Anais... Disponível em: <<http://www.fsa.br/producao/arquivos/exemplo-artigo.doc>>. Acesso em: 07 abr. 2014.

HENING, Mordecai I.; BUCHANAN, John T. **Decision making by multiple criteria: a concept of solution**. Portugal: 1994. Disponível em: <<http://www.mngt.waikato.ac.nz/jtb/procon.htm>>. Acesso em: 06 ago 2014.

HUANG, Shi-Ming; CHANG I-Chu; LI Shing-Han; LIN Ming-Tong. **Assessing risk in ERP projects: identify and prioritize the factors**. *Industrial Management & Data Systems*, Volume 104, Number 8, 2004, pp. 681–688.

HUMMEL, M.; ROSSUM, V. v ; VERKERKE, G. J.; RAKHORST, G.. **Product Design Planning with the Analytic Hierarchy Process in Inter-Organizational Networks**. University of Twente, Netherlands. *R&D Management* 32, 5, Blackwell Publishers Ltd, USA, 2002.

JACQUET, L. E (1995). **An application of the UTA discriminant model for the evaluation for the R&D projects im PM Pardalos, Y Siskos and C. Zopounidis, Advances in Multicriteria Analisis**, Kluwer AcademicsPublishers, Dordrecht, 203-211

JANIC, M.; REGGIANI, A. **An application of the multiple criteria decision making (MCDM) analysis to the selection of a new hub airport**. *EJTIR/European Journal of Transport and Infrastructure Research*, v.2, n.2, p.113-141, 2002.

JIANYUAN, Y. **Using Analytic Hierarchy Process as the auxiliary decision of computer integrated system for library management (CISLM)**. China: Nankai University, 1992. Disponível em: <<http://web.simmons.edu/~chen/nit/NIT'92/387-yan.htm>>. Acesso em: 07 abr. 2014.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives, Preferences and Value Trade-offs**, New York: John Wiley & Sons, 1976.

LAMBERT TORRES G., Costa C I A, BARROS NETO M C, MARTINS H G, e ANDRADE G C C (2008)- **Tomada De Decisão Multicritério Usando Pahp - Processo De Análise Hierárquica Paraconsistente**, INDUSCOM - VIII Conferencia Internacional de aplicações Industriais – Poços de Caldas MG-Brazil,

MELLO, João C. C. B. S. de; GOMES, Eliane Gonçalves; GOMES, Luiz F. A. M; BIONDI NETO, Luiz; LETA, Fabiana R. **Seleção de rota aérea com o uso do apoio multicritério à decisão**. *ENGEVISTA*, v. 5, n. 10, p. 71-84, dez. 2003. Disponível em: <www.uff.br/decisao/10Engevista6.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2014.

MENDOZA, G. A.; MACOUN, P.; PRABHU, R. SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANTO, H. **Guidelines for applying multi-criteria analysis to de assessment of criteria and indicators**. Jakarta: Center for International Forestry Research,

1999. Disponível em: <www.cifor.cgiar.org/acm/methods/toolbox9.html>. Acesso em: 18 set. 2014.

MENEZES, P.C.F; MILLEN, J.R.; TRAVASSOS S.; FILHO, M.P.C; CALAIS, R.; **Gestão de Projetos para a Indústria de Petróleo e Gás - Pesquisa de Campo - Seleção Documental - GLPA N.39 Ano 10 (3-13) p.p.** Ed. Paralogue - Santos - SP Brasil - ATC1- 09/, 2015.

MEYER, M. W. ***Rethinking performance measurement: beyond the balanced scorecard.*** Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.

MEYER, M. W; EBRARY, INC. ***Rethinking performance measurement: beyond the balanced scorecard.*** Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press, p.202, 2002.

MILLER, G. A.; ***The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information.*** *The Psychological Review*, vol. 63, p. 81-97, 1956.

MINTZBERG, H.; RAISINGHANI, D.; THÉORÊT, A. ***The structure of unstructured decision processes.*** *Administrative Science Quarterly*. v. 21, p. 246-275, 1976.

MYCHELLA, M. **A Importância da Tomada de Decisão**, 2011 <<http://www.administradores.com.br/informe-se/artigos/a-importancia-da-tomada-de-decisao/57388/>> acesso em 15 ago 2015.

MURAKAMI, M. ; ALMEIDA, M.; **Decisão Estratégica em TI: Um estudo de caso.** 2003. 154 p.– Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.

NETTO, D. A. C. , MOLARINO, I., MÁRIO, M. C., ROCCO A. e DA SILVA FILHO, J. I. **Ensaio em Sistemas Microcontrolados com Algoritmos da Lógica Paraconsistente Anotada** - Revista Seleção Documental n 30 ISSN 1809-0648, pp 21-24 - Junho, 20013 Santos SP-Brasil.

NEWMAN, J. W. ***Management applications of decision theory***, USA: Harper & Row, 1971

NORONHA, S. M. D. **Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1998. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta98/noronha>. Acesso em: 07 jan. 2014.

O'BRIEN, J. A. **Sistemas de informação e as decisões estratégicas gerenciais na era da internet.** 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

PRATO, T. ***Multiple-attribute evaluation of ecosystem management for the Missouri River system.*** *Ecological Economics*, n. 45, 2003. pp. 297-309.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M. **Determinação do valor de referência do aluguel de imóveis residenciais empregando o método TODIM.** Pesquisa Operacional, v.27, n. 2, Rio de Janeiro, 2007.

ROSSONI, C. F. **Decisão Multicritério** -Uma pesquisa experimental para avaliação da percepção dos gestores de MPE acerca do modelo de tomada de decisão multicritério t-oda quanto a sua aplicabilidade. Dissertação Faculdade de Campo limpo Paulista –Faccamp, 2011

SAATY, T. L., **Método de Análise Hierárquica**, Tradução e revisão técnica Wainer da Silveira e Silva, São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.

SAATY, T. L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures.** *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, n.3, p.234-281, 1977.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica.** São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991

SALOMON, V. A. P. **Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento e controle da produção.** 2004. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SALOMON, V. A. P.; MONTEVECHI, J. A. B. **A compilation of comparisons on the Analytic Hierarchy Process and others multiple criteria decision making methods: some cases developed in Brazil.** ISAHP, Switzerland, aug. 2001. Disponível em: <http://www.feg.unesp.br/~salomon/pesquisa/vapsjabm.pdf> . Acesso em: 07abr.2014.

SANTANA, W. C.; PIZZOLATO, N. D.; **Proposta de modelo de desenvolvimento de sistemas de medição de desempenho logístico.** 2004. 151 f. – PUC RIO, Departamento de Engenharia Industrial.

SAUNDERS, J. H. **Comparison of Decision Accuracy in the Analytic Hierarchy Process and Point Allocation.** Washington: 1994. Disponível em: <<http://www.johnsaunders.com/papers/ahpvpa/ahpvpa.htm>>. Acesso em: 07 jun.2014.

SCHMIDT, G. **Les outils de La decision stratégique.** Paris: Decouvert, 1995.

SCHMIDT, Â. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1995. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta/angela/indice/index.html>>. Acesso em: 15 out.2014.

SCHMOLDT, D. L.; PETERSON, D. L.; SMITH, R. L. **The Analytic Hierarchy Process and participatory decision-making.** Virgínia: USDA Forest Service, 1995. Disponível em: <<http://www.srs4702.forprod.vt.edu/pubsubbj/pdf/9501.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2015.

SHIMIZU, T. **Decisões nas organizações**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2006.

SILVA, R. M., BELDERRAIN M. C. N., “**Considerações Sobre Métodos de Decisão Multicritério**”, Instituto Tecnológico Aeronáutico, ITA, 2005.

SILVA, D. M. R. ; **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais** – PUC Rio – Cert. Digital No. 0511098/CA, 2007.

SIMON, H. A. ***The new science of management decision***. Prentice Hall College Div; Revised edition: June 1977.

SIMON, H. A. **Comportamento administrativo**. Rio de Janeiro: USAID, 1965.

SOARES, S. R.. **Análise multicritério como instrumento de gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: <www.ens.ufsc.br/~soares>. Acesso em: 13 ago 2014.

STIRLING, A. ***Multicriteria Mapping: mitigating the problems of environmental valuation?*** In: Foster, J. *Valuing Nature: economics, ethics and environment*, London: Routledge, 1997.

STEIGUER, J. E.; DUBERSTEIN, Jennifer; LOPES, Vicente. ***The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management***. Disponível em: <<http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Steiguer.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2014.

TOPCU, I. ***Analysing the problem***. (Aula em PowerPoint). Disponível em: <www.ilkertopcu.net>. Acesso em: 06 set. 2014.

ZELNY, M. ***Multiple criteria decision making***. New York: McGraw-Hill Book Company. 1982, p.563.

ANEXO 1. Resultados da pesquisa – Fonte secundária (Menezes et al., 2015).

- 100% das empresas apontaram a engenharia como o maior gargalo;
- A pesquisa identificou 43 principais incertezas do setor. Este resultado deixou bastante claro a preocupação de riscos com Clientes, Mercado, Fornecedores, Escopo, Equipe e Planejamento;
- Observou-se que, a grande maioria dos riscos apresentados pelas empresas é inerente a atrasos e ao cumprimento de prazo, referente ao gerenciamento de tempo. Os riscos estão focados principalmente na área do Engenharia e Aquisições (*Procurement*);

	Categorias	Principais Incertezas
E	Clientes	Cumprimento de suas obrigações
X		Pendências de informação pelo cliente
T	Mercados	Aquecimento
E		Alterações (para baixo) muito acentuadas e por um período
R		prolongado de tempo no valor das commodities como petróleo, gás e
N		minérios.
O	Fornecedores	Capacidade tecnológica e fabril, qualidade
		Aquecimento
		Necessidade de major integração com fornecedores em contratos EPC
	Clima	Chuva
		Variações atípicas
	Regulamento	Mudança na especificação de produtos, exigências ambientais
		Alterações de Leis/Normas Técnicas
		Em geral estão relacionadas a qualidade e prazo de fornecedores e a
		questões climáticas nas áreas de construção.
T	Escopo	Aumento ou alterações tardias de escopo
É		Variações durante a execução
C		Frequentes mudanças no escopo
N	Tecnologia	Pioneirismo
I		Necessidade de aprender novas tecnologias para a produção de.
C		equipamentos mecânicos
O	Performance	Cumprimento dos prazos de contratos de aquisição de bens e serviços
	Qualidade	Qualificação de MO
		Em geral está relacionadas a baixa performance desde o projeto a construção,
		comprometendo a qualidade.
	Apoio	Multitarefa
I		Políticas Internas decorrentes de "Parceria"
N		Falta de espaço físico e de apoio logístico
T	Infraestrutura	Infra-estrutura tomada com projetos, necessidade de investimentos
E		para expandir e aumentar a produção
R	Equipe	Falta de recursos e rotatividade de MO
N		Escassez de recursos
O		Mercado aquecido, equipe com Alta rotatividade de mão de obra
		Em geral estão relacionados a gesto deficiente das interações entre os
		diversos departamentos.
	Estimativas	Qualidade das estimativas sistematicamente subestimadas
G	Planejamento	Qualidade das estimativas sistematicamente subestimadas
E		Planejamento muitas vezes no e seguido pelo pessoal da Produção
R	Controle Fabril	
E		Planejamento pobre, controle pobre, falta de recursos
N	Comunicação	Gerenciamento de "stakeholders"
C		Falta de Plano de Comunicação
I		Problemas de Integração com as áreas Comercial Suprimentos e
A		produção Fabril
		Em geral estão relacionados a estimativas deficientes provenientes da
		pré-venda e a falta de retroalimentação do sistema para vendas futuras

Guia Prático dos Riscos e Respostas a estes Riscos

Riscos Identificados

Estratégia Desenvolvida para Reação ao Risco

Atrasos de fornecimento de material e projeto
Atrasos de obras civis

Gerenciamento eficaz, com ênfase no controle de mudanças.

Gerenciamento eficaz, com ênfase no controle de Mudanças.

Aumento de preços de fornecimento de materiais
Aumento de preços de fornecedores de serviços

Estudo e conhecimento do mercado, com verba de contingência para casos específicos.

Estudo e conhecimento do mercado, com verba de contingência para casos específicos ou pré-acordos com fornecedores conhecidos na época de composição dos preços

Risco de greves

Conhecimento das condições locais de prestação dos serviços e verba de contingência.

Inspeção e Diligenciamento fortes.

Coordenação própria junto a Engenharia.

Antecipação de Compras e Contingência.

Atrasos de Fornecedores
Atraso de Engenharia
Aumento de Preço de Equipamentos e Materiais sem cobertura na formula de reajuste
Contratação de Instalações sem Projeto

Elaborar Básico Avançado antes da concorrência

Empresa contratada não atender prazo para implantação das Unidades

Acompanhar os trabalhos através dos Relatórios de desempenho da Contratada

Descontinuidade de Projeto (parada Estratégia não desenvolvida de fábrica e a empresa não é paga por isso)

Não consegue colocar em contrato a perda.

Prazos otimistas para o Empreendimento

Elaborar o planejamento da fase 2 após a fase 1

Falta de alocação de Recursos Humanos

Priorizar o compartilhamento de recursos internos

Não cumprimento de prazos na obtenção de licenças
Dificuldades de a engenharia
Atender a demanda de projetos básicos

Antecipar a preparação da documentação para o licenciamento do empreendimento.

Negociar priorização para os projetos conceitual e básico do empreendimento.

Falta de integração de equipes: interfaces técnicas

Promover a conscientização na necessidade de integração das equipes do projeto.

Falta de empresas fornecedoras de projeto de detalhamento

Buscar fornecedores de maior qualificação, com impacto secundário de aumento de custos.

Atraso no processo de aquisição de equipamentos críticos

Priorizar a emissão de RFI.

Requisitar apoio de especialista para elaboração da especificação de compra.

Atraso na preparação de terreno para instalação de equipamentos
Ajustar cronograma de manutenção

Negociar a liberação de equipamentos antes da fabricação dos novos.

a estratégia da obra.

Contratos de transporte e destinação de solo incompatíveis com o volume apurado

Realizar sondagens com malha fechada.

Utilizar estimativas conservadoras

Atraso na remoção e destinação de resíduos

Adotar contrato com cláusula de renovação
Negociar a remoção e destinação antecipada através dos contratos em vigor.

Efetuar contrato específico para a destinação do resíduo, junto a empresa de gestão de resíduos

Deficiência no apoio da unidade

Antecipar formação de estrutura e equipe na unidade dedicada ao projeto

Incorporar recursos da unidade a equipe na fase inicial, para acelerar a integração de pessoas e processos

Retrabalho na execução dos projetos básicos e executivos

Realizar treinamentos dos usuários

Promover intercâmbio com outras unidades

Guia Prático dos Riscos e Respostas a estes Riscos (continuação).

Atraso na entrega do projeto básico	Monitorar
	Antecipar contratação da consolidação e complementação do básico e do FEED
Baixo desempenho de engenheiros núcleo do projeto	Realizar contratações específicas para atividades de projeto e projetistas da equipe especializadas.
Deficiência no planejamento e controle de prazos e custos	Realizar treinamento no local de trabalho. Negociar o estabelecimento de padrão, com metodologia corporativa para planejamento e controle de prazos e custos do empreendimento. Adotar programa Primavera, que possui melhores recursos para integração de cronogramas
Alta incidência de chuva	Viabilizar no planejamento e construção das fundações nos meses de estiagem
Major agilidade nos processos de compra	Negociar compras antecipadamente
Drenagem pluvial inadequada durante a obra	Canalizar drenagem Rebaixar lençol freático
MO insuficiente para manutenção e operação das novas unidades	Antecipar necessidades de operadores e de solicitações a área de RH
Mudanças tardias no projeto básico de naturezas diversas	Complementação do projeto básico elaborado
Recuperação tributária	Conduzir trabalho junto a área competente
Insuficiência de água clarificada	Prever possível ampliação do sistema provisório
Indisponibilidade de fornecedor qualificado para execução do projeto executivo	Adequar e antecipar contratações
Perda de estabilidade do solo em torno da escavação	Realizar estudos aprofundados e adotar tecnologias adequadas
Atraso no processo decisório de aprovação de fase	Antecipar negociação
Falta e/ou qualidade de recursos humanos para execução da C&M	Solicitar apoio
Dificuldades de transportes de grandes equipamentos	Promover a capacitação de MO local
Identificar item de valor histórico no on-site	Executar projeto e oferecer realocação da entrada
Consumo, de água exceder a outorga	Verificar no EIA_RIMA
Atraso ou dificuldade de aprovação do empreendimento na audiência pública	Definir a vazão a ser adotada
	Orientar o diagnóstico e execução de comunicação social de acordo com riscos identificados
	Realizar audiência pública após estabelecimento da nova gestão municipal.
Atraso nas intervenções nos	Compatibilizar e compartilhar serviços de manutenção