



ESCOLHA DE FERRAMENTA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA
ESCOLHA DE SÍTIO PARA REJEITOS DE ALTA ATIVIDADE

Jonni Guiller Ferreira Madeira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Nuclear.

Orientador: Antonio Carlos Marques Alvim

Rio de Janeiro

Março de 2013

ESCOLHA DE FERRAMENTA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA
ESCOLHA DE SÍTIO PARA REJEITOS DE ALTA ATIVIDADE

Jonni Guiller Ferreira Madeira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Examinada por:

Prof. Antonio Carlos Marques Alvim, Ph.D.

Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, D.Sc.

Dra. Maria de Lourdes Moreira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2013

Madeira, Jonni Guiller Ferreira

Escolha de Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão para Escolha de Sítio para Rejeitos de Alta Atividade./ Jonni Guiller Ferreira Madeira. – Rio de Janeiro: UFRJ/ COPPE, 2013.

XI, 73 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Antonio Carlos Marques Alvim

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 62-73.

1. Rejeitos Radioativos. 2. Seleção de Locais. 3. Ferramentas de apoio à tomada de decisão. 4. Painel Comparativo. I. Alvim, Antonio Carlos Marques. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. Título.

*Dedico este trabalho a minha mãe,
minha namorada, e aos meus amigos
pelo apoio prestado e toda paciência que
tiveram comigo ao longo de toda esta
caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Antonio Carlos Marques Alvim, pela orientação e apoio no desenvolvimento do trabalho, e pela confiança em mim depositada.

À Prof. Vívian Borges Martins, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho, e pela confiança em mim depositada.

Ao amigo Nilton de Araújo Monteiro, pelo apoio, horas de estudos e motivação durante todo o mestrado.

À Jô, Liliane e funcionários do Programa de Engenharia Nuclear, pelo empenho em resolver rápido e da melhor maneira possível nossos problemas acadêmicos.

À todos os professores e funcionários do Programa de Engenharia Nuclear.

À minha mãe, cujo amor, carinho e dedicação foram vitais para o meu sucesso.

À minha namorada, Flávia Gama Campos, por todo apoio e motivação.

Aos meus amigos de mestrado, pela motivação e companhia nas longas e constantes viagens de Angra ao Rio de Janeiro ao longo desses anos.

*“You are young and life is long and there
is time to kill today, and then one day you
find ten years have got behind you,
no one told you when to run, you missed
the starting gun.”*

Time, Pink Floyd

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESCOLHA DE FERRAMENTA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA ESCOLHA DE SÍTIO PARA REJEITOS DE ALTA ATIVIDADE

Jonni Guiller Ferreira Madeira

Março/2013

Orientador: Antonio Carlos Marques Alvim

Programa: Engenharia Nuclear

O objetivo dessa dissertação é fazer um painel comparativo entre algumas das principais ferramentas de apoio à tomada de decisão, utilizadas em situações com as características do problema de seleção de áreas adequadas à construção de um repositório geológico para armazenamento de rejeito de alta atividade. O trabalho optou por ferramentas bem conhecidas e com facilidade de implantação.

O processo decisório em questões deste tipo é, em geral, complexo, devido à sua natureza multicritério e às opiniões conflitantes dos diversos envolvidos. Dessa forma, um vasto estudo foi feito na referente literatura, especificamente nos documentos da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), a respeito da importância dos critérios envolvidos no processo de tomada de decisão. Dessa maneira destacamos seis atributos de julgamento para seleção de uma ferramenta de apoio à decisão, própria para o problema. Para esse estudo foram selecionadas as seguintes ferramentas multicritério: AHP, Delphi, Brainstorming, Técnica Grupo Nominal e o AHP-Delphi.

Por fim, o método AHP-Delphi se mostrou mais adequado diante dos múltiplos atributos inerentes ao problema em questão.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

SELECTION TOOL TO SUPPORT DECISION MAKING FOR
SITE SELECTION FOR HIGH LEVEL WASTE

Jonni Guiller Ferreira Madeira

March/2013

Advisor: Antonio Carlos Marques Alvim

Department: Nuclear Engineering

The aim of this dissertation is to create a panel comparing some of the key decision-making support tools used in situations with the characteristics of the problem of selecting suitable areas for constructing a geologic repository for storage of high level waste. The tools addressed by this work are well-known and are easy to implement.

The decision making process in matters of this kind is, in general, complex due to its multi-criteria nature and the conflicting opinions of various stakeholders. Thus, a comprehensive study was performed in the literature in this subject, specifically in documents of the International Atomic Energy Agency (IAEA), regarding the importance of the criteria involved in the decision making process. Therefore, we highlighted six judgment attributes for selecting a decision support tool, suitable for the problem. For this study we selected the following multi-criteria tools: AHP, Delphi, Brainstorming, Nominal Group Technique and AHP-Delphi.

Finally, the AHP-Delphi method demonstrated to be more appropriate for managing the inherent multiple attributes to the problem at issue.

ÍNDICE

Lista de figuras.....	xi
Lista de tabela.....	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Processos de Seleção de Sítios no Brasil.....	6
2.2 Hospedagem geológica dos rejeitos radioativos.....	9
2.2.1 Repositório Geológico.....	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Processo de tomada de decisão	15
3.1.1 Os especialistas.....	18
3.1.2 Abordagem para problemas multicritério.....	19
3.2 Ferramenta de apoio à tomada de decisão.....	20
3.2.1 AHP.....	21
3.2.1.1 Metodologia da ferramenta AHP.....	23
3.2.2 Delphi	28
3.2.2.1 Metodologia da ferramenta Delphi	31
3.2.3 Brainstorming	34
3.2.3.1 Metodologia da ferramenta Brainstorming	36
3.2.4 Técnica de grupo nominal.....	37
3.2.4.1 Metodologia da ferramenta Técnica de grupo nominal.....	39
3.2.5 AHP-Delphi.....	40
3.2.5.1 Metodologia da ferramenta AHP-Delphi.....	41
4 METODOLOGIA.....	43
4.1 Definição do problema.....	43
4.2 Atributos da ferramenta de apoio a decisão.....	43

5	RESULTADOS.....	48
5.1	Paineis Comparativos.....	48
6	ESTUDO DE CASO.....	53
6.1	Discussão do método.....	53
6.2	Uso do método na literatura.....	56
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	58
7.1	Conclusão	58
7.2	Recomendações	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

Índice de Figuras

Figura 2.1: Piscina de elemento combustível de Angra I (a) e de Angra II (b).....	7
Figura 2.2: Vista esquemática do futuro repositório geológico finlandês	12
Figura 2.3: Diagrama de um repositório geológico em funcionamento.....	14
Figura 3.1: Organograma de implementação do método AHP.....	24
Figura 3.2: Sequência de execução do método Delphi.....	33
Figura 3.3: Quadro guia de desenvolvimento da técnica de grupo nominal.....	40
Figura 6.1: Peso relativo do atributo recurso minerais no critério Viabilidade Sócio Econômica-Ambiental.....	54
Figura 6.2: Peso relativo do atributo uso e cobertura do solo no critério Viabilidade Sócio-Econômica-Ambiental.....	55
Figura 6.3: Peso relativo do atributo hidrologia no critério Viabilidade Sócio-Econômica-Ambiental.....	55
Figura 6.4: Peso relativo da aprovação de cada um dos professores concorrente pelos membros da universidade.....	57

Índice de Tabelas

Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens em se utilizar a opinião dos especialistas em ferramentas de apoio à tomada de decisão.....	19
Tabela 3.2: Definição das prioridades relativas.....	25
Tabela 3.3: Matriz de julgamento dos critérios.....	25
Tabela 3.4: Diversidade de aplicação do Método Delphi	30
Tabela 5.1: Grau de atendimento dos atributos pelas ferramentas de apoio à tomada de decisão.....	48
Tabela 5.2: Tabela comparativa dos atributos das ferramentas de apoio à tomada de decisão baseada em um critério quantitativo.....	49
Tabela 5.3: Tabela comparativa das ferramentas de apoio à tomada de decisão, relacionando as vantagens e desvantagens de cada método.....	50

1 Introdução

Hoje em dia, com todos os problemas ambientais e a crescente demanda por energia, torna-se cada vez mais necessária a adoção e desenvolvimento de novas alternativas de geração de energia que causem o mínimo de impacto ambiental e sejam economicamente viáveis. A energia nuclear tem chamado a atenção do mundo nos últimos tempos e o fato dessa energia estar em evidência deve-se a fatores de ordem ambiental, econômica, social e política.

O fator ambiental é, talvez, o tópico mais importante quanto à adequabilidade da energia nuclear (VICHI, 2003). O aquecimento global tem sido alvo de discussão nos últimos anos e acredita-se que esse fenômeno seja gerado pelos gases do efeito estufa (GEE): o vapor d'água, o metano e o CO₂. Com relação às vantagens ambientais das usinas nucleares, podemos citar: as usinas nucleares utilizam um sítio relativamente pequeno e são praticamente limpas de qualquer emissão de gás poluente, como o CO₂ ou o metano (INDRIUNAS, 2008).

O CO₂ evitado pela geração de eletricidade a partir de combustível fóssil, equivale a 8% dos 5,5 bilhões de toneladas de CO₂ adicionadas anualmente à atmosfera, isso sem falar nas quantidades de enxofre que seriam introduzidas paralelamente (IAEA, 1999).

O Brasil utiliza, na sua grande maioria, energia elétrica provinda de hidrelétricas, e apenas uma parcela pequena, de menos de 5%, fica a cargo das usinas nucleares. No entanto, a construção de barragens para a obtenção de energia no Brasil tem provocado grandes impactos sociais e ambientais (ROSA *et al.*, 1998).

O governo brasileiro ignora as recomendações da Comissão Mundial de Barragens (CMB), alegando que impossibilitaria a construção de novos projetos.

Vale ressaltar, também o fator climático, pois em épocas de secas, temos grande queda na produção de energia, como foi o caso dos apagões de 2001 e 2002, quando o país sofreu pela falta de planejamento e investimento em geração de energias alternativas. Este ano, inclusive, há a possibilidade de problemas relacionados ao fornecimento de energia (SOUZA, 2002).

Um dos grandes problemas enfrentados pela energia nuclear está relacionado à escolha de sítios tanto para a construção de centrais nucleares quanto para o armazenamento do material nuclear usado.

Desde o início da década de 70 temos visto uma preocupação crescente com o armazenamento final, ou temporário, dos rejeitos radioativos. Essa atenção em torno dos rejeitos gerou uma avaliação da segurança e economia, procurando otimizar o custo-benefício desses repositórios. Diversos autores fazem alusão a esse problema, dentre eles: BERTOZZI *et al.* (1978); PRITZKER e GASSMAN (1980); CHANG e CHO (1984); COHEN (1984); MALBRAIN (1984); KIM *et al.*, (1988); KIM *et al.* (1988); HAN *et al.* (1991); KRISHNAMOORTHY *et al.* (1991); GARRICK (2002); LITTLE e PENFOLD (2003); ENE (2004); MARTINS (2009).

A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) tem atuado no campo do gerenciamento dos rejeitos radioativos há muitos anos. No Brasil, é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) o órgão que estabelece as normas para o destino dos materiais radioativos produzidos em território nacional.

A partir das orientações da CNEN (1989), a Eletronuclear, empresa estatal operadora das usinas Angra 1, Angra 2 e Angra 3 (em construção), lida com os rejeitos de baixa e média atividade, da seguinte forma: eles são geralmente compactados para a redução de volume ou incinerados antes do armazenamento final. As resinas iônicas, lamas químicas, revestimentos metálicos, etc. de média atividade são imobilizados e enterrados em baixa profundidade (SILVA, 2008).

Quanto ao combustível nuclear usado, material de alta atividade, o Brasil considera esse tipo de material como um material estratégico, com chances de reutilização. Dessa forma, o país não possui rejeitos radioativos de alta atividade e vida longa. De um modo geral, nenhum país tem, em funcionamento, um repositório final para esses tipos de rejeitos. Porém, alguns países, como a Finlândia, por exemplo, estão fazendo grande progresso na construção desses repositórios definitivos (MARTINS, 2009).

Mesmo que o Brasil optasse por reprocessar esses rejeitos de alta radioatividade provindos dessas usinas term nucleares, ainda haveria a necessidade de uma disposição final para os rejeitos destes processos, o que evidencia a necessidade de construção de um repositório final para essa classe de rejeitos, tendo em vista que não se conhece, até agora, outra forma de lidar com esse problema.

Quanto à questão de seleção de um sítio que pudesse abrigar, de forma segura, um repositório geológico, entramos em um problema de tomada de decisão, precisando selecionar, dentre os possíveis candidatos, aquele que atenda a diversos quesitos e que melhor se enquadre como um repositório geológico para rejeitos radioativos, com

ênfase no combustível nuclear usado.

O processo de decisão a ser tomado envolverá diversas especialidades de diferentes áreas, por se tratar de um problema multicritério. Nesse caso, precisamos de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que consiga formatar as opiniões desses diferentes especialistas dentro do contexto de seleção desse sítio

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é traçar um painel comparativo entre as ferramentas de apoio à decisão, selecionadas a partir de uma análise minuciosa da literatura que aborda o problema. Há uma grande diversidade de ferramentas que podem ser utilizadas no problema. Neste trabalho, as ferramentas de apoio à decisão foram escolhidas devido à sua eficiência e simplicidade no aspecto descritivo.

Essa comparação visa selecionar, dentre elas, a ferramenta que acomoda melhor o processo de seleção de um repositório geológico destinado ao depósito do combustível nuclear usado. Sob essa perspectiva, as ferramentas analisadas foram as seguintes: AHP, Delphi, Brainstorming, Técnica de Grupo Nominal, AHP-Delphi.

As ferramentas foram julgadas dentro de características baseadas nas diretrizes da Agência Internacional de Energia Atômica, que tratam e orientam quanto às possíveis características do problema de decisão referentes a um repositório geológico final para rejeitos radioativos (IAEA, 1977; 1983; 1989).

Uma ferramenta de apoio à tomada de decisão se faz necessária, pois, como assinalado, o processo de seleção de um sítio para abrigar material radioativo não é

trivial. A diversidade de critérios, muitas vezes conflitantes, que o problema exige e a finalidade desses sítios faz com que esse processo de escolha deva ser tratado de forma delicada e sistematizada.

Os critérios usados por essas ferramentas foram baseados em um amplo exame da literatura disponível sobre o tema. A Agência Internacional de Energia Atômica publicou diversas diretrizes tratando do assunto e orientando a elaboração de critérios, como foi o caso do documento: IAEA (1994b). Outros documentos como: (IAEA, 1977) e (IAEA, 2003a) também tratam do assunto.

Neste estudo, serão analisadas vantagens e desvantagens dessas ferramentas de apoio à decisão, juntamente com um painel comparativo baseado em uma escala de pontuação. Este trabalho poderá servir de auxílio para um futuro estudo de localização de um sítio, que servirá de repositório final para rejeitos radioativos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Processos de Seleção de Sítios no Brasil

Os maiores problemas no gerenciamento de rejeitos radioativos não são especificamente problemas técnicos. Os problemas políticos têm gerado grandes complicações nessa batalha para a disposição temporária e final dos rejeitos. No Brasil, sofremos com a falta de informação da sociedade e, diante do peso da opinião pública, precisamos de uma prova técnica de que o sistema e a metodologia de disposição escolhidos sejam seguros durante todo o tempo previsto.

Por quase duas décadas, os rejeitos radioativos provenientes de atividades nucleares foram despejados no meio ambiente, quando o nível de radiação estava dentro do permitido, ou foram estocados em institutos da CNEN.

Somente no final da década de 80, o governo federal apresentou uma proposta ao Congresso Nacional, na qual previa que os rejeitos radioativos provenientes da indústria, medicina e pesquisa deveriam ser estocados em seus próprios estados produtores. (FRANZEN *et al.*, 1989).

Tratando-se do combustível nuclear usado retirado dos reatores a cada recarga das usinas nucleares, em Angra 1, está sendo mantido em piscinas dentro de um espaço fora do prédio do reator. Em Angra 2, construída a partir do acordo nuclear Brasil-Alemanha, esse combustível é armazenado dentro do prédio do reator (Figuras 2.1 a e b). Ambas mantêm os resíduos submersos a mais de dez metros de profundidade, sendo a água a blindagem utilizada (BUYS; EVANGELISTA, 2000).



(a)



(b)

Figura 2.1: Piscina onde ficam armazenados os elementos combustíveis usados de Angra I (a) e de Angra II (b)

A CNEN publicou uma norma, “Seleção e Escolha de Locais para Depósitos de Rejeitos Radioativos”, que trata do depósito de rejeitos radioativos de baixo e médio nível de radiação, gerados em decorrência de atividades desenvolvidas no território nacional (CNEN, 1989). Essa norma não trata dos rejeitos radioativos de alta atividade e vida longa, pois como já dito, o Brasil ainda não definiu o destino final desse combustível nuclear usado, sendo assim esse combustível é ainda considerado material estratégico.

Em complemento a essa norma criada pela CNEN, foi sancionada a Lei nº. 10.308, de 20 de novembro de 2001 (BRASIL, 2001) que trata, também, de regras para a localização final e construção de depósitos para rejeitos radioativos produzidos no Brasil. De acordo com esta lei, temos:

Seleção de Locais para Depósitos de Rejeitos Radioativos

Art. 5º: A seleção de locais para depósitos iniciais obedecerá aos critérios estabelecidos pela CNEN para a localização das atividades produtoras de rejeitos radioativos.

Art. 6º: A seleção de locais para instalação de depósitos intermediários e finais obedecerá aos critérios, procedimentos e normas estabelecidos pela CNEN.

Parágrafo único: Os terrenos selecionados para depósitos finais serão declarados de utilidade pública e desapropriados pela União, quando já não forem de sua propriedade.

Art. 7º: É proibido o depósito de rejeitos de quaisquer naturezas nas ilhas oceânicas, na plataforma continental e nas águas territoriais brasileiras.

Da Construção de Depósitos de Rejeitos Radioativos

Art. 8º: O projeto, a construção e a instalação de depósitos iniciais de rejeitos radioativos são de responsabilidade do titular da autorização outorgada pela CNEN para operação da instalação onde são gerados os rejeitos.

Art. 9º: Cabe à CNEN projetar, construir e instalar depósitos intermediários e finais de rejeitos radioativos.

Ainda que se opte pelo reprocessamento ou a reutilização desse combustível nuclear usado, continuaremos a ter rejeitos de alta atividade. Devido a esse fato, a Finlândia já iniciou o processo de construção de um repositório geológico em uma de suas ilhas, Olkiluoto, no sul do país. Esta opção tem sido estudada por outros países também, tais como: a Suécia (SKB, 1992, SKB, 1994 e SKB, 1995), a Alemanha (AKEND, 2002), a Inglaterra (NIREX, 2001a, NIREX, 2001b), o Japão (JNC, 2000, NUMO, 2004, JNC, 2005), dentre outros. De acordo com a AIEA, essa é a única opção economicamente viável e eficaz para manter em segurança esses rejeitos ao longo do seu decaimento, limitando suas liberações para a biosfera (CNEN, 2003a).

2.2 Hospedagem geológica dos rejeitos radioativos.

Durante a vida útil de uma usina nuclear, precisamos trocar parte do combustível do núcleo do reator periodicamente. O combustível nuclear usado é chamado, caso não tenha outro uso programado, de rejeito nuclear, o qual, além de emitir radiação e calor, contém grandes quantidades de radionuclídeos. Um ponto delicado no manuseio desse rejeito radioativo é a emissão de radiação por um tempo muito grande, cerca de milhares a milhões de anos.

A intensidade de radiação, natural ou induzida, que um material continua a emitir para o ambiente após sua utilização, como é o caso do rejeito nuclear, permite classificá-lo como rejeito de alto, médio ou baixo nível de radioatividade. Segundo RADUAN (1994), embora cada país adote um sistema de classificação, esses termos são usados em todo o mundo e são empregados para descrever as diferentes concentrações de materiais radioativos. A descrição de cada categoria é apresentada a seguir:

- Rejeitos de nível alto: São os rejeitos do primeiro ciclo de extração, no reprocessamento de combustível irradiado, contendo elementos transurânicos e produtos de fissão de meia-vida longa. O combustível usado não reprocessado pode ser considerado como rejeito de nível alto desde que não esteja previsto o reprocessamento, num país que possui esta atividade.
- Rejeito de nível médio: Esta é uma categoria usada por alguns países para descrever rejeitos com atividade β e γ significativa e com baixa atividade, por exemplo, resinas exauridas do circuito primário de reatores tipo PWR ou BWR.

- Rejeitos de nível baixo: Estes contêm uma quantidade desprezível de radionuclídeos de meia-vida longa e é possível dispô-los no solo, próximo à superfície com ou sem barreiras de engenharia.

Dessa sumária apresentação do problema, depreende-se que os rejeitos cuja disposição definitiva merece maior atenção são os de meia-vida longa, uma vez que os demais podem ser deixados confinados até decaírem a um nível aceitável de radioatividade, nas proximidades das próprias plantas nucleares onde são originados. Existem milhares de toneladas de combustível irradiados (*spent fuel*) à espera de uma solução para o seu armazenamento definitivo, o que coloca esta questão entre os pontos mais importantes na construção de uma usina nuclear (IAEA, 1997).

Atualmente, são utilizados repositórios próximos à superfície, cerca de poucos metros de profundidade, tanto para rejeitos de baixo como de médio nível de atividade, oriundos de plantas nucleares. Porém esse método não soluciona o problema, em definitivo, do rejeito nuclear de alta atividade.

Existe, ainda, a possibilidade do reprocessamento desse material físsil, processo que recupera o urânio não consumido e o plutônio gerado no reator. Esse urânio pode ser enriquecido e novamente usado como combustível. O rejeito nuclear do reprocessamento também é resíduo de alto nível, pois dele fazem parte radionuclídeos transurânicos que foram formados durante o bombardeio de nêutrons na fissão nuclear. O ponto negativo dessa alternativa é a possibilidade do uso desses materiais para fins bélicos e o alto custo de produção (ALLISON, 2004).

Temos, então, a alternativa da criação de um repositório final de rejeitos sólidos, em uma rocha hospedeira com profundidade elevada. Esse tipo de disposição é a solução mais aceita entre os países que já apresentam gerenciamento global para rejeitos

radioativos de alto nível, inclusive na conferência de Euradwaste e a IAEA, alega-se que a deposição desses rejeitos em repositórios geológicos é, até então, a medida mais segura e viável para destino final desse material.

Um repositório geológico é uma instalação para disposição do rejeito radioativo localizada no subsolo (geralmente em torno de 350 a 500 metros abaixo da superfície), em uma formação geológica estável a fim de fornecer isolamento a longo prazo dos radionuclídeos da biosfera (IAEA, 2003b). O isolamento desses resíduos, nesse tipo de disposição, garante segurança até que os produtos de fissão decaiam e estejam com níveis de radiação aceitáveis.

Um repositório geológico deve ter características geométricas, físicas e químicas que se combinem a fim de inibir o movimento dos radionuclídeos para o meio externo do repositório, pois o objetivo de um sistema de eliminação de resíduos radioativos é garantir que o homem não sofrerá danos a partir de resíduos depositados no presente ou no futuro (IAEA, 1990).

O sistema multibarreiras utilizado para a eliminação de resíduos é uma combinação de barreiras naturais e artificiais. Um exemplo de barreira artificial são as cápsulas que abrigarão os rejeitos. Já o ambiente geológico que isola da biosfera esses resíduos radioativos, é considerado uma barreira natural.

Os resíduos de alta radioatividade serão encapsulados em contêineres de metal resistente (*overpacks*) e, uma vez colocados no repositório, serão vedados por um material feito com uma espécie de argila.

As barreiras e suas funções são complementares e funcionam em conjunto. O desempenho de um sistema de disposição geológica é, assim, dependente de diferentes barreiras e funções de segurança, que atuam em distintos períodos de tempo. As funções

oferecidas por cada uma das barreiras, ao longo de todo período de confinamento, e também as funções de segurança alternativa ou adicionais, a serem utilizadas caso uma barreira não funcione como previsto, garantem que esses radionuclídeos não migrem para a biosfera.

Todos esses detalhes são indispensáveis para garantir a segurança dos futuros repositórios geológicos de rejeito radioativo. Na Figura 2.2, podemos ver o futuro repositório geológico finlandês.

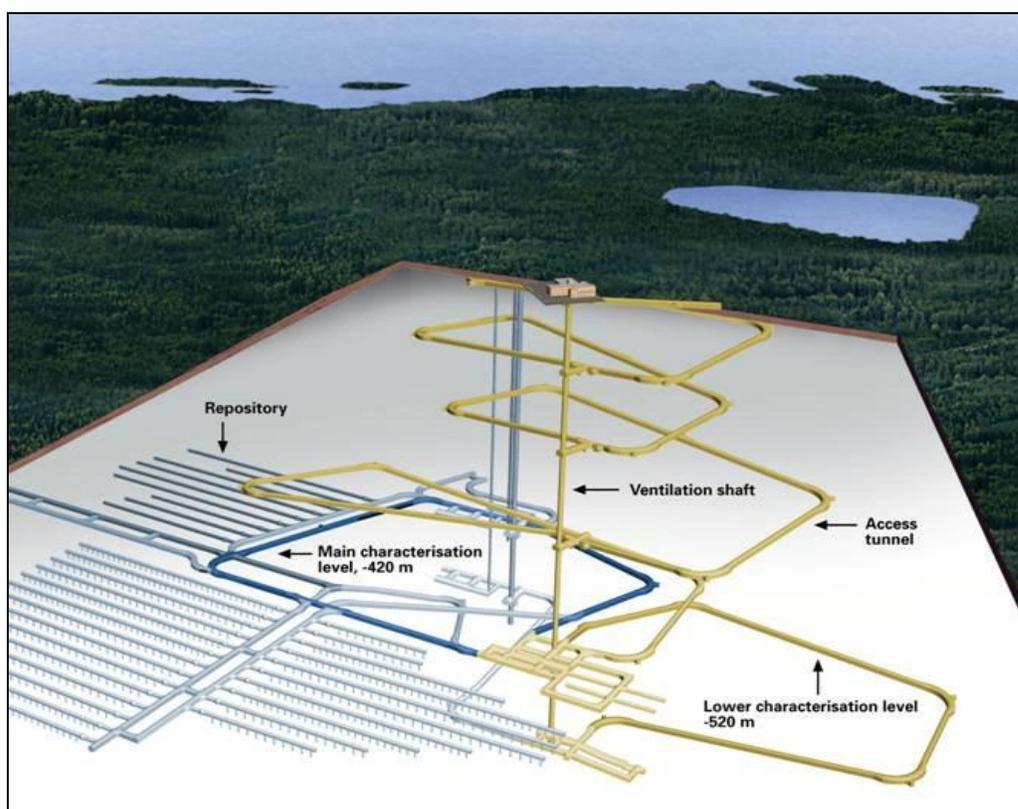


Figura 2.2: Vista esquemática do futuro repositório geológico finlandês

Cada país utiliza um tipo de abordagem diferente na escolha de um sítio para repositório geológico de rejeitos nucleares, levando em consideração suas diferentes leis e as diferentes culturas locais. No geral, a escolha do local sempre envolve uma ampla gama de pré-requisitos e possibilidades. É importante ressaltar que a disposição final desses resíduos, em qualquer país, envolve uma sequência de decisões espalhadas ao longo de décadas. Cada uma delas é, teoricamente, reversível. Na prática, algumas abordagens mostram uma reversibilidade melhor do que outras (IAEA, 2004).

2.2.1 Repositório Geológico

O desenvolvimento de uma instalação de armazenamento geológico, para rejeitos radioativos de alta atividade, envolve uma série de etapas, começando com a definição do conceito de disposição do rejeito, da seleção do local e caracterização nas fases de construção, operação e encerramento. Estas fases do programa do repositório estão descritas em diferentes publicações da AIEA. No processo de desenvolvimento e construção de um depósito geológico existem, no geral, sete etapas básicas (IAEA, 2001):

- Exploração de superfície;
- Construção de acesso e exploração subterrânea;
- Construção do depósito;
- Alocar os resíduos e as barreiras de engenharia de superfície;
- Túnel de escoamento/preenchimento da abóbada;
- Preenchimento de vagas remanescentes e vedação do repositório;
- Pós-encerramento.

Após construído, o repositório geológico ficará encarregado de receber os contêineres de rejeito radioativo, que serão alocados no interior das rochas hospedeiras,

em uma profundidade que varia de 350m a 700m. Toda essa estrutura geológica de engenharia certificará a integridade dos contêineres durante todo o tempo previsto.

Os túneis de acesso ao interior das rochas hospedeiras são perfurados e revestidos com uma liga de argila. Os contêineres são transportados por um caminhão até a entrada dos túneis e, em seguida, os elevadores são responsáveis pelo envio dos embalados às suas posições finais. Após os embalados serem depositados, os túneis são lacrados. A Figura 2.3 assinala o diagrama que dá uma noção do trânsito dos contêineres na planta do repositório geológico.



Figura 2.3: Diagrama de um repositório geológico em funcionamento. (POSIVA OY, 2000)

3 Fundamentação Teórica

3.1 Processo de tomada de decisão

O processo de decisão está presente no cotidiano da humanidade, tendo-se, às vezes, decisões simples, como assistir ou não a um filme; ou decisões difíceis ou mais complexas, como investir ou não em determinadas ações na bolsa de valores. No geral, a quantidade de atributos e sua complexidade de julgamento norteiam o grau de dificuldade de uma decisão.

Desse modo, tomar uma decisão de forma que se obtenha um melhor retorno pode ser considerado um grande problema, dependendo do contexto. Na questão primordial, o que é o termo decisão? Uma possível resposta seria considerar decisão como um processo complexo e abrangente que se inicia com a percepção da necessidade de uma mudança e tem seu término com a escolha de um curso de ação entre várias viáveis e com a sua implantação (ENSSLIN, 1996).

Uma grande dificuldade por parte do decisor de problemas complexos é determinar uma metodologia científica que oriente o processo decisório. As condições e características do problema ajudam a definir a ferramenta, ou ferramentas, de apoio à tomada de decisão que melhor se adequam à situação problema.

Durante muito tempo, o processo de tomada de decisão era visto apenas de forma quantitativa. Fatores qualitativos devido à sua aparente forma subjetiva eram deixados de lado, com isso diversos fatores importantes fatalmente costumavam ser desprezados, tais como valores sociais, políticos, pessoais, entre outros.

Muitas inconsistências geradas no processo de decisão foram devidas ao fato de não considerar fatores subjetivos. Tal procedimento é facilmente explicado, pois se os processos não estão retratando a realidade através da incorporação de todos os fatores

que venham a influenciá-lo, conseqüentemente, esta realidade não está sendo representada de maneira adequada, o que, certamente, induzirá a uma tomada de decisão inadequada (BANA e COSTA, 1995).

Além da consideração desses fatores, qualitativos e quantitativos, é importante que sejam conhecidas algumas definições no campo da tomada de decisão, pois essas irão permear todo o estudo. Apresentam-se a seguir algumas definições:

Decisor: o termo decisor pode se referir a um único indivíduo, vários indivíduos ou entidades que, para um determinado problema em análise, possua(m) os mesmos sistemas de valores, os mesmos sistemas de informações, os mesmos interesses e aspirações (HAMMOND *et al.*, 2004). O sistema de valores que eles representam e a relação entre eles influenciam o processo de tomada de decisão. No problema do repositório geológico de rejeitos radioativos, os especialistas terão o papel de apoiar o processo de tomada de decisão, com opiniões e recomendações, e no fim o poder de decisão, o decisor, é a CNEN.

Facilitador ou mediador: segundo BANA e COSTA (1995), o facilitador ou mediador é um líder experiente com várias atribuições. Esse papel de mediador está presente em diversas ferramentas de apoio à tomada de decisão. O mediador tem as seguintes atribuições:

- focalizar sua atenção na resolução do problema, deixando que os decisores estabeleçam, independentemente, sua estrutura, hierarquização e objetivos;
- impedir que decisores com mais capacidade de persuasão imponham seus pontos de vista;
- incentivar a participação de todos, em forma paritária, considerando cada um como único;

- desestimular fatores, critérios, objetivos, entre outros, que tendam a dispersar a discussão;
- abster-se de conclusões prematuras;
- deve evitar envolver-se emocionalmente;
- manter os decisores motivados para a solução do problema;
- periodicamente resumir os avanços alcançados;
- destacar o aprendizado que o processo de estruturação propicia;

Critérios: funcionam como condições de contorno, são os parâmetros que permitem a comparação das ações em relação aos diferentes pontos de vista. Na prática, visualizam-se as alternativas de um processo de escolha, de forma qualitativa ou quantitativa, graças aos critérios.

ROY e BOUYSSOU (1993) apresentam as seguintes regras para uma correta definição dos critérios:

- (1) descrição completa do problema: os critérios devem ser abrangentes;
- (2) coerência: se uma alternativa é melhor, individualmente, em todos os critérios, no total geral, ela também deve ser melhor;
- (3) não-redundância: devemos eliminar os critérios semelhantes.

Problemas de Apoio à Decisão: fazem referência às questões que construirão o contorno, os passos, da tomada de decisão. ROY e BOUYSSOU (1993) apresentam três problemáticas de apoio à decisão. São elas:

- Problemática de seleção - objetiva recomendar a escolha de uma alternativa. Usada em decisões como: qual carro comprar? Onde passar as próximas férias? Qual filme assistir?
- Problemática de ordenação - objetiva criar uma ordem entre as alternativas. Por

exemplo, os campeonatos de Fórmula 1, oferecer o *ranking* das melhores escolas para se estudar.

- Problemática de alocação em classes - objetiva recomendar a triagem das alternativas em categorias preestabelecidas, podendo ser ordenadas ou não. Usadas, por exemplo, para distribuir os candidatos que fizeram vestibular nos grupos de aprovados para o 1º semestre, aprovados para o 2º semestre, aprovados, mas aguardando classificação e reprovados.

Estrutura de preferências: essa estrutura é referente ao grupo de relações par a par, ou binário.

Matriz de Decisão: é uma opção importante para a implantação de ferramentas de apoio à tomada de decisão, como o método AHP, e representa a relação entre os critérios e as alternativas. Deve focalizar sua atenção na resolução do problema, deixando que os decisores estabeleçam, independentemente, sua estrutura, hierarquização e objetivos.

3.1.1 Os especialistas

Para a aplicação de algumas ferramentas de apoio à tomada de decisão, é importante o apoio de especialistas.

O especialista é detentor de credibilidade e opinião. A relevância da tomada de decisão estará diretamente relacionada a esses profissionais. AYYUB (2006) relata que o especialista é uma pessoa que possui experiência única sobre determinado item de um processo ou questão de interesse. Diversos estudos ressaltam a importância na seleção dos especialistas, pois a qualidade e credibilidade dos resultados estarão diretamente ligadas à qualidade dos especialistas (MARTINO, 1983; PREBLE, 1984; TAYLOR, 1988).

De acordo com COELHO (2003), existem vantagens e desvantagens em se utilizar a opinião dos especialistas, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens em se utilizar a opinião dos especialistas em ferramentas de apoio à tomada de decisão.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Incorpora aqueles que realmente entendem da área que está sendo pesquisada. - Permite que a intuição encontre espaço na pesquisa. - Permite a identificação de muitos modelos e percepções internalizados pelos especialistas que os tornam explícitos. 	<ul style="list-style-type: none"> - As opiniões, às vezes, são ambíguas e divergentes entre especialistas da mesma área. - Muitas vezes, é difícil identificar os especialistas. - Muitas vezes, as projeções que os especialistas fazem são erradas ou preconceituosas.

3.1.2 Abordagem para Problemas Multicritério

As Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão (*Multicriteria Decision Aid – MCDA*) objetivam auxiliar analistas e decisores em situações nas quais há a necessidade de identificação de prioridades sob a ótica de múltiplos critérios, o que ocorre normalmente quando coexistem interesses em conflito (GOMES, 1999).

Os primeiros estudos, com princípios científicos, sobre problemas multicritério datam da Revolução Francesa, com as publicações de Jean Charles de Borda (1733-1799) e Jean-Marie Antoine Nicolas de Caritat, Marquês de Condorcet (1743-1794). Esses autores queriam resolver problemas em que várias pessoas opinavam, em especial, na situação da atribuição de penas a réus em um tribunal (BARBA-ROMERO; POMEROL, 1997).

Esse primitivo método utilizado em situações multicritérios, desenvolvido por

Borda, foi adaptado e, até hoje, é utilizado no meio esportivo. Alguns campeonatos de futebol, por exemplo, utilizam uma pontuação conhecida por votação de Borda. Somente então, a partir de 1970, deu-se uma formalização mais generalizada da abordagem multicritérios para otimização no processo de decisão. Dessa maneira, o apoio multicritério à decisão foi consolidado como área de pesquisa operacional.

Hoje em dia, os problemas de decisão multicritério envolvem seis componentes (KEENEY *et al*, 1993; PITZ; McKILLIP, 1984):

- Uma meta ou um conjunto de metas que o decisor pretende alcançar;
- O decisor ou um grupo de decisores envolvidos no processo de tomada de decisão, com suas preferências em relação aos critérios de avaliação;
- Um conjunto de critérios de avaliação (objetivos e/ou atributos físicos);
- O conjunto de alternativas de decisão;
- O conjunto de variáveis não-controláveis (independentes) ou “estados da natureza” (ambiente de decisão);
- O conjunto de resultados ou consequências associadas a cada par de alternativas e atributos.

A análise multicritério tem como propósito, então, auxiliar pessoas e/ou organizações em situações nas quais é necessário identificar prioridades, considerando, ao mesmo tempo, diversos aspectos (LINS, 2002).

3.2 Ferramentas de apoio à tomada de decisão

Uma das tarefas mais importantes enfrentadas pelos tomadores de decisão no âmbito da seleção de um local para a construção do repositório final para rejeitos radioativos, no caso os repositórios geológicos, é a escolha de um local que atenda aos diversos critérios considerados.

O problema de seleção de um local para uma construção desse tipo necessita de uma análise multicritério com uma solução analítica. A escolha desse sítio lida, ainda, com critérios conflitantes, podemos citar, por exemplo, o problema da localização: se pensarmos em construir esse repositório, para rejeitos de alta atividade, em uma área com alta densidade demográfica, haveria vantagens na ótica do atributo transporte, pois dessa maneira teríamos facilidade para mão de obra, não seria preciso a construção de vias de acesso, entre outros pontos positivos. Essa mesma localidade, em contrapartida, prejudicaria o atributo demografia, pois dessa maneira aumentaríamos o risco à população.

A análise multicritério é feita considerando fatores reconhecidos internacionalmente como fundamentais para a adequabilidade de um sítio para a construção de um repositório geológico, tais como: litologia, relevo, transporte, entre outros.

De uma forma geral, inúmeros requisitos técnicos devem ser satisfeitos adequadamente para a seleção desse local. As ferramentas apresentadas a seguir norteiam a dinâmica desse processo de escolha.

3.2.1 AHP

A tomada de decisão com múltiplos critérios (MCDM, do inglês *Multiple-Criteria Decision Making*) ocorre em casos onde precisamos analisar situações de decisão que incorporam critérios quantitativos e qualitativos, conflitantes ou não. O AHP é um dos mais conhecidos e utilizados métodos de MCDM (COSTA, 2006).

O AHP, Analytic Hierarchy Process, é uma ferramenta que direciona os decisores a encontrar a melhor solução aos seus problemas, levando-os a uma reflexão

estruturada sobre a resolução dos mesmos, num processo constante de aquisição de conhecimento. O método de análise hierárquica busca reproduzir o que parece ser um método natural de funcionamento da mente humana (LOZANO, 2006). Este método foi desenvolvido por SAATY (1980) no contexto do Processo de Análise Hierárquica de Decisão (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) e envolve a comparação dos critérios aos pares de modo a criar uma matriz de relação (proporção).

Essa ferramenta de apoio à tomada de decisão é caracterizada por sua eficiência e simplicidade, permitindo que sua implantação se estenda a várias áreas, entre as quais: Planejamento Estratégico (EMSHOFF e SAATY, 1982), Marketing (ARMACOST e HOSSEINI, 1994) e Avaliação do Nível de Consenso do Grupo (BRYSON, 1996), Escolha de Financiamento no Transporte Aéreo (GRANEMANN e GARTNER, 1998), Programas de Qualidade e Produtividade (FIGUEIREDO e GARTNER, 1999) e Análise de Projetos (GARTNER et al., 1998).

O AHP tem a habilidade de incorporar fatores qualitativos e quantitativos no processo de tomada de decisões (CRUZ JUNIOR e CARVALHO, 2003), dessa forma conseguimos lidar com a subjetividade inerente a esse processo de seleção. Com essa ferramenta temos, ainda, a capacidade de tornar este processo de seleção ordenado e com julgamento transparente (CARVALHO e SPOSTO, 2007). MOTA *et al.* (2009) ainda destacam que o AHP é capaz de realizar uma análise mais completa do problema, e considera vários critérios simultaneamente de forma ordenada e sistematizada.

Ainda que seja uma ferramenta muito eficiente, BISCHOFF (2008) ressalta algumas desvantagens do método AHP:

- Uma vez que a escala é subjetiva, é sujeita ao erro humano;
- É vulnerável à psicologia humana;

- O número de tabelas comparativas pode ser muito grande se forem utilizados muitos atributos de comparação, por conseguinte, havendo tendência de excluí-los;
- Existe um limite do número de níveis de hierarquia que podem ser utilizados;
- Muitas comparações dois a dois precisam ser feitas para problemas muito extensos;
- Ambiguidade, julgamentos inconsistentes pelo tomador de decisão.

3.2.1.1 Metodologia da ferramenta AHP

Caracterizada por ser um instrumento de apoio, a aplicação do AHP em problemas de decisão é feita em duas fases: na de construção da hierarquia e na de avaliação (VARGAS, 1990). Na primeira fase, o AHP promove a organização do problema em níveis, possibilitando aos decisores a criação de um modelo para os problemas em uma estrutura hierárquica. Essa estrutura de organização forma uma árvore invertida, que mostra como se relacionam as metas, os critérios e as alternativas que envolvem a decisão. A figura 3.1 apresenta o organograma do método AHP.

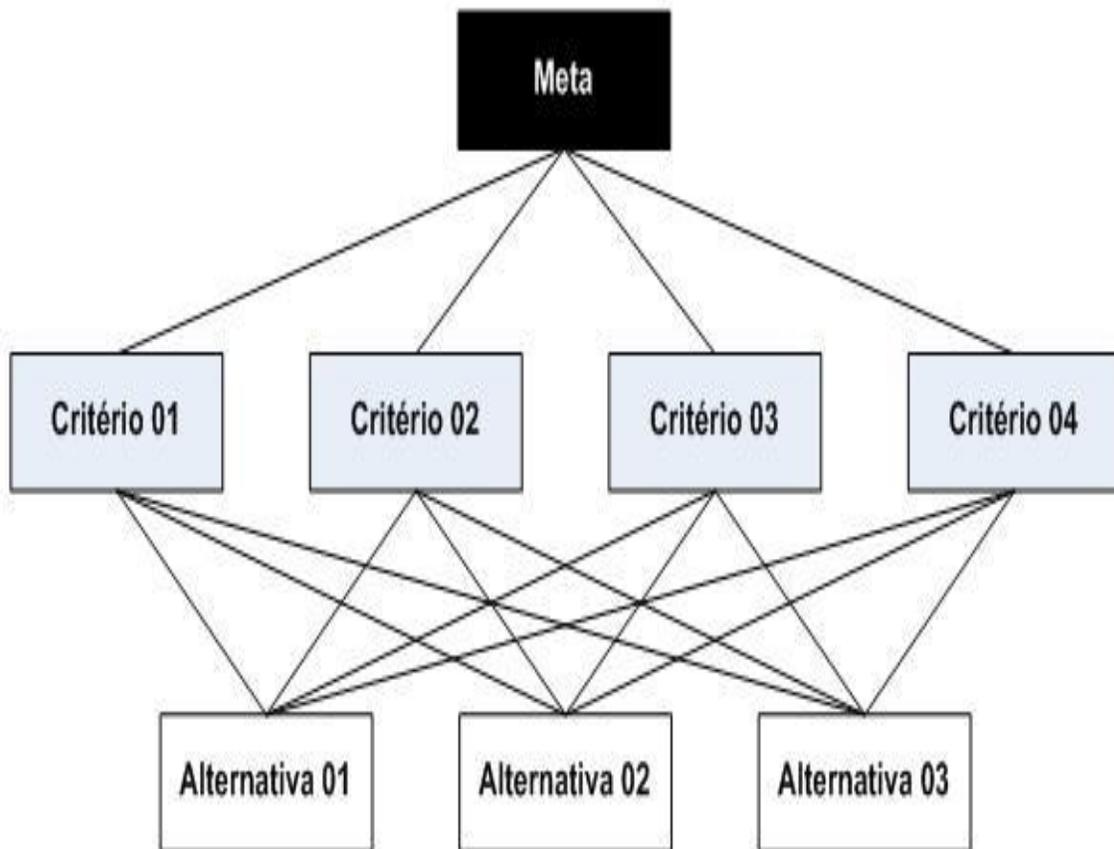


Figura 3.1: Organograma de implantação do método AHP. (SAATY, 1990).

A fase de avaliação é iniciada com a comparação par a par dos critérios. Na comparação entre pares é definida a importância entre os elementos da decisão como mostra a Tabela 3.2, adaptada de SAATY (1980).

TABELA 3.2: Definição das prioridades relativas.

Importância Comparativa	Definição	Descrição
1	Igual importância	Dois elementos de decisão igualmente influenciam o par de elementos de decisão
3	Moderadamente mais importante	Um elemento de decisão moderadamente influencia mais do que o outro
5	Fortemente mais importante	Um elemento influencia mais fortemente do que o outro
7	Muito fortemente mais importante	Um elemento de decisão influencia mais significativamente do que o outro
9	Extremamente mais importante	Valores intermediários dos elementos anteriores
2, 4, 6, 8	Valores intermediários de julgamento	
Reciprocidade	Se o critério "i" tem um dos números acima selecionados quando comparado com o critério "j", então "j" tem o mesmo valor quando comparado com "i".	
Qual o objetivo Mais importante	Se $a_{ij} = \alpha$, então $a_{ji} = 1/\alpha$	
X1	X2	1 2 3 4 5 6 7 8 9
X1	X3	
X1	X4	DEFINIDO PELO ENTREVISTADO
X2	X3	
X3	X4	

Essa comparação revelará a importância de cada critério, gerando, então, os pesos desses elementos. O julgamento das comparações pode ser visualizado na Tabela 3.3:

Tabela 3.3: Matriz de julgamento dos critérios. (GRANEMANN e GARTNER, 1998)

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} \dots a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 \dots a_{2n} \\ \vdots & \vdots \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} \dots 1 \end{bmatrix}$$

Devendo atender às seguintes condições:

- a) $a_{i<j} = \alpha$;
- b) $a_{i>j} = 1/\alpha$;
- c) $a_{i=j} = 1$;

Onde:

a_{ij} - Comparação paritária entre os critérios.

α - Valor de intensidade de importância.

Temos, então, iniciada a fase do cálculo dos pesos dos critérios. Esta etapa envolve os seguintes passos, MARTINS (2009):

- Soma dos valores em cada coluna da matriz de comparação;
- Divisão de cada elemento na coluna da matriz pelo total da sua coluna (a matriz resultante é denominada de matriz de comparação normalizada);
- Calcular a média dos elementos em cada linha da matriz normalizada, ou seja, dividir a soma dos valores normalizados de cada linha pelo número de critérios.

Estas médias fornecem uma estimativa dos pesos relativos dos critérios que foram comparados. Usando este método, os pesos são interpretados como a média de todas as possíveis formas de comparação dos critérios.

Em seguida, será avaliada a qualidade desse julgamento, estimada por um grau de inconsistência. Caso o índice de inconsistência seja maior que 0,10 (SAATY, 1991), o decisor ou grupo de decisores é encorajado a rever seus julgamentos, buscando torná-los consistentes; esta consistência é atingida com um índice menor ou igual a 0,10.

Esse processo sugere uma ordenação e mensuração da importância relativa dos critérios. Havendo a ocorrência de subcritérios, repetir-se-á o processo de avaliação descrito.

A avaliação continua com a comparação par a par das alternativas em cada um dos critérios, assim como na obtenção da importância relativa dos critérios, para a determinação do nível de preferência das alternativas. É dado início, então, ao método da soma ponderada para calcular a valoração global de cada uma das alternativas, como mostra a Equação 3.1 e 3.2:

$$V(\mathbf{a}) = \sum_{j=1}^n P_j V_j(\mathbf{a}) \quad (3.1)$$

Onde: $\sum_{j=1}^n P_j = 1$ e $0 < P_j < 1$, ($j = 1, \dots, n$), de forma que: (3.2)

$V(\mathbf{a})$. Valor global de alternativa analisada.

P_j . Importância relativa do critério j .

V_j . Nível de preferência da alternativa analisada no critério j .

Pode-se concluir, segundo ALVES (2010), que, de forma resumida, o AHP se apresenta da seguinte forma:

1. Identificação das alternativas e critérios a serem levados em conta na tomada de decisão. Os responsáveis pela decisão indicam a importância relativa entre os critérios. Por exemplo, se as alternativas são jóias, os investidores podem preferir a beleza sobre o preço e o preço sobre as condições de pagamento.
2. Similarmente, para cada critério e para cada par de alternativas os responsáveis pela decisão especificam suas preferências (por exemplo, se a beleza da alternativa A é maior do que a da B).
3. As comparações entre os critérios e as alternativas são registradas em matrizes, com

seus elementos na forma de frações entre 1/9 e 9. Cada matriz é avaliada pelo seu vetor de coerência gerado pela divisão do vetor soma ponderado pelos pesos dos critérios. Esse vetor soma ponderado foi criado através da multiplicação do peso do primeiro critério pelos valores da primeira coluna da matriz original.

Este procedimento gera uma "razão de coerência" que será igual a 0,1 se todos os julgamentos forem coerentes entre si e será maior do que 0,1 (ou 10%) quando houver incoerência, e os julgamentos deverão ser revistos. Este passo é uma das principais razões para que muitos usuários do AHP acreditem que se trata de um método com bom embasamento teórico.

4. Calculam-se valores gerais de preferência para cada alternativa.

3.2.2 Delphi

O método Delphi, cujo nome é uma referência ao oráculo da cidade de Delfos na antiga Grécia, começou a ser desenvolvido no início dos anos 60 por Dalkey e Helmer (KAYO e SECURATO, 1997). O Delphi foi aplicado, também, por Olaf Helmer e N. Rescher, na instituição sem fins lucrativos Research and Development (RAND).

Esse método começou a ser disseminado pelos pesquisadores da RAND Corporation. O objetivo original era desenvolver um método para aprimorar o uso da opinião de especialistas na previsão tecnológica.

LINSTONE e TUROFF (1975) afirmam que o Delphi foi, originalmente, aplicado como um método para delinear um processo de comunicação de um grupo, visando obter um consenso em um grupo de especialistas. Todavia, atualmente, esse método busca um consenso identificando os contrastes de ideias, caso existam, tornando-se, então, mais do que um método de previsão, mas uma ferramenta de apoio à decisão que busca ideias e estruturação no processo de decisão.

A sua utilização é recomendada, tanto, quando se dispõe de dados não mensuráveis

quanto mensuráveis a respeito de um problema que se investiga. Sua aplicação é mais indicada quando não há dados históricos a respeito do problema que se investiga ou, em outros termos, quando faltam dados quantitativos referentes à questão em análise (DALKEY et al., 1969; WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

CUHLS E GRUPP (2001) ressaltam que o método Delphi não proporciona uma visão imutável do futuro, mas permite uma previsão para a tomada de decisão sobre o que precisa ser feito. O Delphi permite, ainda, atualizações no processo decisório, caso seja necessário, com novas rodadas expondo os novos fatos e as novas previsões.

Esse método revela bom desempenho em previsões de médio e longo prazo (GEORGOFF; MURDICK, 1986) e seu uso dispõe de outros benefícios, segundo PREBLE (1983): ausência de contaminação de resultados; uso eficiente da intuição dos especialistas; resultados facilmente entendidos por leigos; comunicação não ambígua entre participantes; e documentação do procedimento.

O Delphi apresenta uma grande demanda de utilização em tarefas de previsão tecnológica ou mercadológica e, em geral, tem indicado resultados bastante significativos, como no trabalho de WRIGHT (1985). Podemos aplicar, ainda, essa ferramenta na obtenção de um consenso entre especialistas de diferentes áreas, em relação a um determinado assunto ou, de forma adaptada, usar em pesquisas visando à construção de cenários econômicos, em áreas como avaliação de projetos, análise de investimentos e planejamento financeiro (GUPTA; CLARKE, 1996).

A Tabela 3.4 descreve a diversidade de aplicações do método Delphi relacionando com os números de rodadas e tamanho da amostra.

Tabela 3.4: Diversidade de aplicações do Método Delphi (SKULMOSKI et al, 2007)

Estudo	Foco Delphi	Rodadas	Tamanho da amostra
GUSTAFSON, SHUKLA, DELBECQ, & WALSTER (1973)	Estimar eventos para investigar a precisão do método Delphi.	2	4
HARTMAN & BALDWIN (1995)	Validar resultados de pesquisas.	1	62
CZINKOTA & RONKAINEN (1997)	Análise de impacto das mudanças no ambiente de negócios internacionais.	3	34
KUO & YU (1999)	Identificar critérios de seleção para parque nacional.	1	28
NAMBISAN et al.(1999)	Desenvolver sistemática de mecanismos organizacionais.	3	6
LAM, PETRI, & SMITH (2000)	Desenvolver regras para um processo de fundição cerâmico.	3	3

Ainda que o Delphi seja uma ferramenta de pesquisa muito boa e bastante disseminada, não há um consenso sobre sua validade metodológica, existindo diversas críticas a respeito. WHEELWRIGHT e MAKRIDAKIS (1985) descrevem algumas, e são relacionadas à confiabilidade insuficiente: possibilidade de apuração de resultados diferentes ao não usar os mesmos especialistas, à impossibilidade de prever o inesperado, à dificuldade de avaliar o grau de especialização (*expertise*), etc.

SACKMAN (1975), o maior crítico do Delphi, critica até o anonimato. Apesar das vantagens do anonimato entre os especialistas, fatalmente o processo estará fadado à perda de parte da transparência em virtude desse processo sigiloso inerente da ferramenta.

Alguns fatores que levam o método Delphi à falha, segundo LINSTONE e TUROFF (1975), são: o ponto de vista tendencioso do monitor da pesquisa, a utilização de técnicas pobres de sumarização dos resultados, ignorar e não explorar pontos de discordâncias gerando um consenso artificial, etc.

3.2.2.1 Metodologia da ferramenta Delphi

A técnica promove o aprendizado entre membros do grupo, através do compartilhamento de conhecimento (GUPTA e CLARKE, 1996; LEMOS e PORTO, 1998). A técnica baseia-se em um processo estruturado de construção de ideia, realizado por um grupo de especialistas, a partir de uma sequência de questionários, preservando o anonimato dos participantes.

O anonimato é um artifício para reduzir o efeito de indivíduos socialmente dominantes (DALKEY, 1972). Os especialistas, no caso decisores, não se comunicam durante o processo de previsão ou não conhecem os outros participantes, podendo expressar livremente suas opiniões e evitando conflitos de grupo (pessoais e políticos) e domínio da discussão por um dos participantes ou por um grupo majoritário (GUPTA e CLARKE, 1996; LEMOS e PORTO, 1998; ROWE e WRIGHT, 1999).

A seleção dos especialistas que participarão do processo de previsão é uma das questões críticas no método Delphi (DIETZ, 1987), nesse processo, deve-se buscar um equilíbrio entre indivíduos de dentro e de fora da organização, contatando especialistas em universidades, institutos de pesquisa, indústrias, entre outros. A qualidade e acurácia das previsões dependem principalmente dos respondentes (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

Um ou mais mediadores são responsáveis pela formulação dos questionários e *feedback* dos resultados aos especialistas (DAVIS *et al.*, 2001). Na elaboração do questionário, cada questão apresenta uma síntese das principais informações conhecidas sobre o assunto, as quais devem ser obtidas na literatura e/ou através de entrevistas com especialistas. O número de questões é variável, dependendo dos tipos de questões e do perfil dos respondentes, sendo que um valor limite seria 25 questões (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000). KAYO e SECURATO (1997) são mais precisos, eles aconselham que o questionário fique restrito a 15 questões e que possa ser respondido em 2 ou 3 minutos.

Uma opção vantajosa de envio dos questionários seria via internet, e-mail. Dessa forma, a ferramenta se torna mais abrangente e rápida. De acordo com GIOVINAZZO e FISCHMANN (2001), o uso da Internet permite um retorno mais rápido aos respondentes, esta facilidade e flexibilidade ajudam a evitar a perda de interesse.

Em cada turno em que é aplicado um questionário, é oferecido um retorno aos participantes com o intuito de otimizar a solução do problema. Através desse retorno, os especialistas são informados das opiniões dos seus colegas anônimos e solicitados a fazer uma revisão das estimativas anteriores (DALKEY,1972). Assim, é dada, aos participantes, a oportunidade de alterar suas estimativas iniciais com base no retorno dos resultados fornecidos, de explorar novos temas que surgem e de discutir possíveis incompatibilidades entre tendências previstas (ROWE e WRIGHT, 1999; WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000). A sequência de execução do método Delphi é apresentada na Figura 3.2.

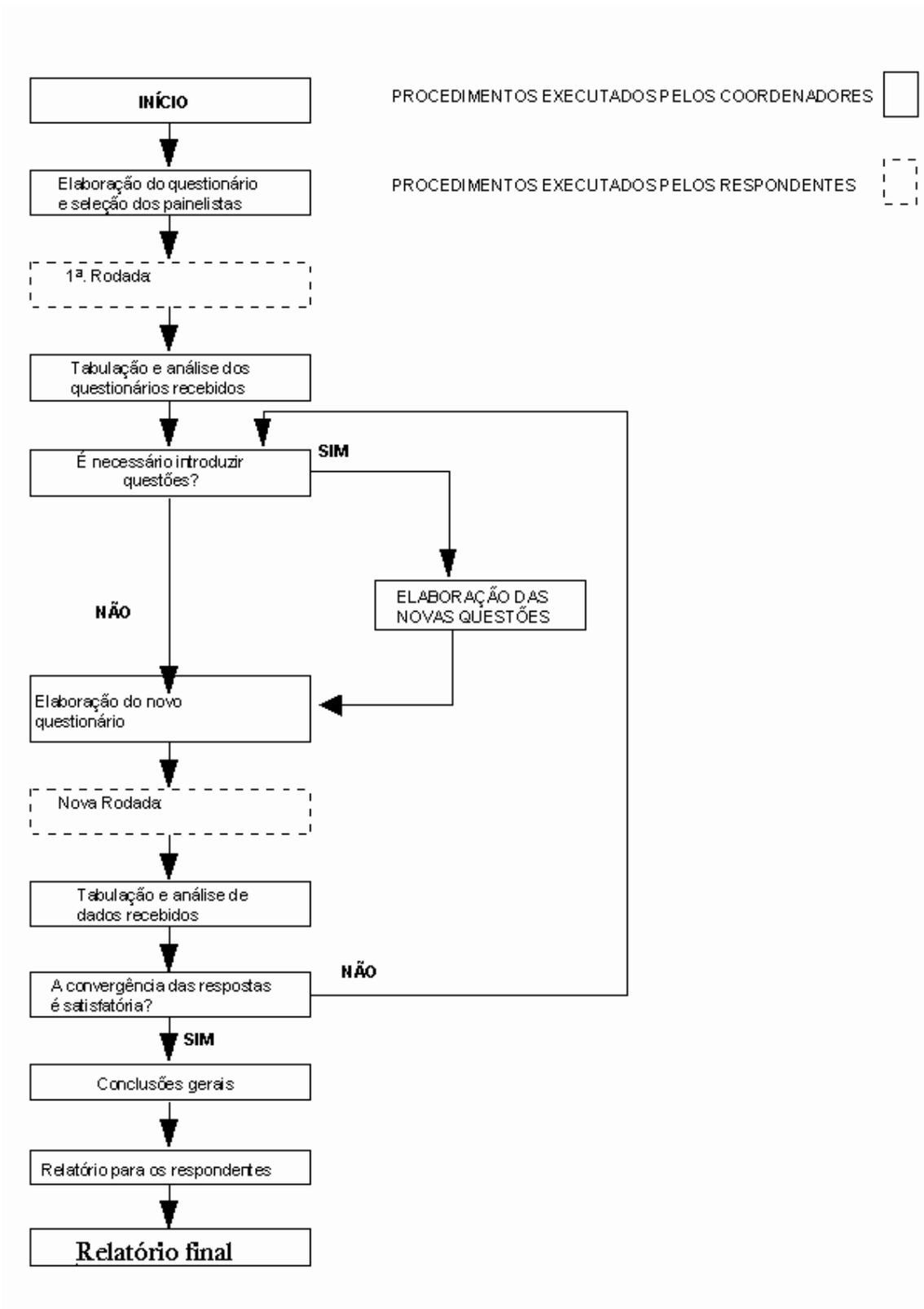


Figura 3.2: Sequência de execução do método Delphi. (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000)

Frequentemente, esse retorno é composto pelo resumo estatístico das respostas quantitativas individuais dos eventos analisados, o qual representa a previsão do grupo e também elenca informações qualitativas: comentários e justificativas dos respondentes (ROWE e WRIGHT, 1999; DIETZ, 1987; WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000). São apresentadas medidas estatísticas, para tanto, usando-se geralmente uma média ou mediana e intervalos interquartis das estimativas individuais (DIETZ, 1987; DALKEY, 1972; ROWE e WRIGHT, 1999). Também são usadas medidas de dispersão e distribuição de frequência (KAYO e SECURATO, 1997).

O principal objetivo da técnica Delphi é obter um consenso diante das diferentes ideias dos diversos participantes. O consenso pode ser determinado pela mensuração da variância das estimativas dos participantes nas iterações; com a redução na variância, sendo o indicador de que um maior consenso foi alcançado (ROWE e WRIGHT, 1999). Estima-se que a iteração e o retorno dos resultados façam com que os membros do painel se aproximem, em cada rodada, da melhor solução. Quando as respostas começam a estabilizar no processo iterativo, os resultados da iteração final são usados como estimativas para a previsão dos eventos estudados (DIETZ, 1987). Apesar de variável, a literatura costuma reportar estudos com não mais de três iterações (DIETZ, 1987; ROWE e WRIGHT, 1999; WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

3.2.3 Brainstorming

O *Brainstorming* é uma técnica de dinâmica em grupo, sua utilização incentiva a liberação das ideias de seus participantes e tem como referência a falta de restrições ou inibições.

Mesmo existindo muitas variações de *Brainstorming*, todas seguem as mesmas etapas gerais (AIKEN, 1994):

- Selecionar um tópico.

- Obter ideias dos membros do grupo, sem julgamentos ou comentários, e desenvolvimento das ideias a partir dos demais.
- Esclarecer e priorizar as ideias.

Devido ao grande fluxo de ideias, os participantes podem criar e retomar novas possibilidades que não haviam sido levadas em consideração. Essa técnica, na verdade, funciona como um direcionador de ideias, permitindo que o grupo consiga melhorias em um espaço de tempo relativamente pequeno.

Alguns benefícios que a ferramenta proporciona à tomada de decisão em grupo (USNRC; NAS, 1957):

- Fornece rapidamente um grande volume de ideias.
- Estimula a criatividade e a inovação.
- Incentiva o envolvimento dos participantes.
- Gera abertura para o uso de outras ferramentas.

O *Brainstorming* é utilizado em diversas áreas em razão da sua facilidade de implantação. Essa ferramenta é utilizada no setor publicitário para a criação de ideias, na otimização de *softwares*, criação de prontuário eletrônico como sistema de informação, em situações com múltiplos critérios e em qualquer outra área que precise desenvolver ideias para uma determinada finalidade.

O *Brainstorming*, assim como muitas outras ferramentas de apoio à tomada de decisão, tem um enfoque colaborativo, pois incentiva a tomada de decisão em grupo.

As ferramentas colaborativas, entretanto, podem apresentar problemas. Alguns problemas encontrados em ambientes colaborativos são (BACELO e BECKER, 1997):

- Dificuldade de encontrar um horário e local comuns e adequados a todos os membros do grupo.

- Dificuldade de participação ativa e igualitária de todos os membros do grupo.
- Dificuldade para conduzir a reunião de modo que esta seja objetiva e que não tome, inutilmente, o tempo das pessoas.
- Dificuldade de convergir para uma solução satisfatória.

3.2.3.1 Metodologia da ferramenta *Brainstorming*

Para o início da sessão de *Brainstorming* é necessária uma ideia central e uma estrutura de direcionamento que conduza a sessão. Dessa maneira, possibilita-se uma dinâmica de grupo bem organizada, de forma que os participantes exponham suas ideias de forma coesa e ordenada e, então, a partir do choque e divergência de ideias, chega-se a um consenso (BACELO e BECKER, 1997).

Essa estrutura segue, na maioria dos casos, três fases de implantação:

1. Descreva, em um quadro ou *flip-chart*, o tema da discussão.
2. Deve-se ter um mediador para organizar o debate e registrar as ideias.
3. Cada ideia é registrada com o mínimo de palavras possível.

É importante estimular a ocorrência de sugestões criativas e incomuns. Os participantes do grupo de *Brainstorming* e o moderador nunca devem criticar ou julgar ideias e sugestões. Uma determinada ideia, ainda que não pareça relevante, pode desencadear, devido à interação com os outros participantes, uma série de novas idéias.

As respostas devem ser examinadas para eliminar redundâncias, questões sem importância e propostas claramente impossíveis. É importante tentar obter o consenso sobre quaisquer questões que possam parecer redundantes ou sem importância, isso contribui para que as sessões de *Brainstorming* se tornem dinâmicas e objetivas.

3.2.4 Técnica de Grupo Nominal

A Técnica de Grupo Nominal é uma forma alternativa de conduzir um *Brainstorming*, todavia de modo estruturado. Baseia-se na concepção de que é possível agregar procedimentos ao *Brainstorming*, otimizando determinados resultados (CHAUVET, 1995).

Essa técnica foi criada por Andre Delbecq e Andrew Van de Ven, em 1971. O termo nominal sugere que é um processo de interação em um grupo de indivíduos, porém não permite comunicação verbal entre os participantes.

A Técnica de Grupo Nominal é adotada em situações nas quais faz-se necessário formalizar e controlar as sessões de *Brainstormings*, o denominado *Brainstorming* estruturado. Isto pode ocorrer, basicamente, em dois casos, quando existe a necessidade de documentar detalhadamente as ideias dos participantes; ou para evitar que um excesso de participação de pessoas muito extrovertidas iniba a atuação dos demais participantes.

Esse método tem ampla utilização em diversas áreas do conhecimento, tais como na engenharia (GOICOECHEA *et al.*, 1982; AL-KLOUB *et al.*, 1997) e enfermagem (CASSIANI; RODRIGUES, 1996).

Na Técnica de Grupo Nominal, cada pessoa anota suas opiniões durante toda a reunião. Primeiramente, os participantes têm uma rodada de apresentação, momento em que cada um expõe suas opiniões quanto ao problema em análise, seguida de uma rodada de esclarecimentos, quando cada participante discute e tira dúvidas sobre as colocações dos outros. Da mesma forma que no *Brainstorming* convencional, as ideias apresentadas são transcritas para um quadro-negro ou *flip-chart* (BRASSARD, 1988).

Na sequência, é iniciado um agrupamento das observações apresentadas, então, obtendo-se um quadro geral de ideias. Os participantes devem visualizar o quadro geral

de ideias e atribuir uma nota a cada tópico de acordo com o seu grau de relevância. As notas serão, dessa forma, transcritas no quadro e somadas.

Esse processo tem como objetivo gerar uma hierarquização, a partir do grau de relevância, de cada um dos tópicos analisados. Se a relação for considerada muito extensa, pode ser reduzida pela técnica da "metade mais um", que consiste em considerar apenas a metade mais um dos itens, ou em consolidá-los até reduzir o seu número à metade mais um (BRASSARD, 1988).

Da mesma maneira do que no *Brainstorming*, esta técnica é usada em conjunto com outras ferramentas. Há diversas aplicações para esta técnica, dentre as quais, destacam-se a utilização para a definição de prioridades de ação em grupo, para a identificação de causas de problemas ou para o trabalho em grupo sobre soluções alternativas.

Na Técnica de Grupo Nominal, não há necessidade de tempo tão curto, este tempo pode ser negociado entre os participantes ou determinado por um coordenador. Nesta técnica, observa-se que, na etapa de apresentação de ideias, existe uma política predefinida de como as ideias devem ser apresentadas. Para tanto, utiliza-se o *round-robin*, a partir do qual cada um tem a sua vez de falar o que pensou e a sequência de apresentações faz com que todos os participantes possam dar a sua opinião (FARIAS, 2003).

Segundo CASSIANI (1993), as desvantagens relacionam-se ao fato de que a técnica lida somente com uma questão de cada vez, permite a presença de, no máximo, nove participantes por grupo (é necessário realizar diversos grupos se houver grande número de participantes) e não é apropriada para problemas simples que podem ser resolvidos em grupos menos estruturados.

3.2.4.1 Metodologia da ferramenta Técnica de Grupo Nominal

Essa técnica pode ser dividida em cinco etapas de implantação:

- O método tem início quando o mediador introduz a questão nominal a ser debatida pelo grupo, que será composto de, no máximo, nove participantes. É importante ressaltar que o grupo lida com uma questão de cada vez para não perder o foco. Em seguida, os participantes respondem à pergunta em um papel resposta. O número de respostas deve ser previamente estipulado, pois, dessa forma, a aplicação da técnica pode se tornar demorada. O mediador pode ser um dos participantes da sessão de técnica de grupo nominal, por conseguinte, sendo possível que ele responda à pergunta (CASSIANI e RODRIGUES, 1996).
- Neste segundo momento, o dirigente do grupo requer que cada participante informe uma solução dada ao problema. As soluções do problema são dispostas em uma lousa ou *flip-chart* para que todos os membros da sessão tenham acesso às respostas dos outros participantes.
- Cada uma das respostas do grupo é numerada, e os participantes têm a oportunidade de discutir sobre as respostas dadas. Uma vez transcritas na lousa, as respostas passam a ser do grupo. A ideia da discussão é fazer com que cada membro do debate entenda e possa fazer comentários atinentes às respostas dadas. Ainda que seja um momento de interação do grupo, o autor da resposta não tem obrigatoriedade de explicar sua resposta.
- O dirigente distribui a cada participante uma quantidade de fichas de papel referente à quantidade de respostas. Nessas folhas, os membros da técnica de grupo nominal irão hierarquizar as respostas dadas de acordo com o seu grau de relevância à questão inicial.
- A fase final da técnica compreende o processo de quantificação das respostas. Cada participante distribui 100 pontos entre as respostas dadas, sendo que nenhuma resposta

pode receber 0 ponto, essa pontuação deve ser colocada nas fichas dadas na etapa anterior. Na continuidade, o mediador dispõe as respostas do grupo em um quadro, como no modelo da figura 3.3:

N° da resposta	Ordem	Média das ordens	Nota	Média das notas	Total ordem X Nota

Figura 3.3: Quadro guia de desenvolvimento da Técnica de Grupo Nominal. (CASSIANI e RODRIGUES, 1996).

Após a construção desse quadro espera-se a obtenção de consenso no grupo, através da discussão dos resultados. Algumas sessões da Técnica de Grupo Nominal são encerradas logo após a confecção do quadro, porém é muito importante que exista essa discussão final para averiguar se houve alguma inconsistência nos julgamentos dos participantes.

3.2.5 AHP-Delphi

O AHP-Delphi é aplicável a uma ampla gama de decisões complexas, multicritérios que requerem julgamentos sobre características qualitativas de um grupo de avaliadores que, no caso do nosso problema, são os especialistas.

Segundo JESSUP e TANSIK (1991), a integração do método AHP em um quadro Delphi aumenta o poder do AHP, usando-o em uma sequência iterativa de questionamento individual e comentários anônimos. Essa ferramenta combinada promove o julgamento dos participantes sobre questões que não necessariamente são sua especialidade, devido a

característica multicritério do problema.

WILKINSON (1991) observa que a avaliação da viabilidade de projetos alternativos de sistema de informação exige que os avaliadores façam uma série de julgamentos subjetivos e conclui que há necessidade de um meio estruturado, como o método AHP-Delphi, para incorporar fatores intangíveis. KAPLAN e ATKINSON (1989), também, reconhecem a necessidade de utilizar o AHP-Delphi para integrar critérios qualitativos, em sistemas de contabilidade de gestão, para apoiar os esforços em aumentar qualidade e produtividade e ajudar a justificar o investimento em novas tecnologias de produção.

3.2.5.1 Metodologia da ferramenta AHP-Delphi

O método é iniciado com uma fase de entrevista. Cada um dos especialistas envolvidos no processo de seleção deve ser entrevistado pelos investigadores após cada uma das rodadas AHP-Delphi. Como sugerido por DALKEY e HELMER (1963), estas entrevistas são conduzidas para fornecer aos investigadores uma compreensão das respostas dos participantes e para ajudar os investigadores a não distorcerem a intenção dos participantes.

- Primeira rodada

Na primeira rodada, cada avaliador é convidado a usar o programa AHP para analisar o problema, identificando os critérios e fazendo uma série de comparações entre os pares de critérios e de candidatos. Essa rodada é destinada a familiarizar cada participante com o problema e com a ideia de comparações par a par.

O objetivo da primeira rodada é o desenvolvimento de um conjunto diversificado de critérios de decisão. Os critérios e pesos indicam tanto a diversidade de pontos de vista entre os participantes quanto algum acordo atinente aos critérios. A classificação geral dos candidatos é tão diferente como os critérios e pesos identificados pelos participantes. Caso ocorra uma falta de consenso (o que é de se esperar), dar-se-á início à segunda rodada.

- Segunda rodada

Para começar a segunda rodada, cada participante receberá comentários anônimos da primeira rodada. Sem revelar as fontes, cada participante terá acesso a uma lista de critérios identificados por cada participante. Poderão ser dados ainda, gráficos e tabelas mostrando os resultados, de todos os participantes, do processo de comparações par a par da primeira rodada. O objetivo desse retorno do resultado detalhado é proporcionar uma interação discreta, permitindo aos participantes a possibilidade de reconsiderarem suas decisões.

Depois de analisar esse retorno anônimo dos resultados dessa rodada, cada avaliador será convidado a repetir o processo AHP. Os participantes poderão redefinir os seus critérios e rever os pesos atribuídos, em resposta ao retorno recebido da rodada anterior. Após duas rodadas, caso exista falta de consenso na hierarquização dos critérios, segundo a opinião dos candidatos, deverá ser iniciada a terceira fase. Ao término da terceira fase, caso ainda existam fortes divergências, será necessário dar início a uma quarta fase e, assim, sucessivamente até chegar a uma inconsistência aceitável, no geral menor ou igual a 0,10. Como DALKEY e HELMER (1963) notaram que não se pode esperar que as respostas finais coincidam, algum desacordo terminal é de se esperar.

- Rodada final

A rodada final do método AHP-Delphi é conduzida para avaliar a estabilidade das decisões e do consenso. É esperado que, neste estágio, chegue-se a uma divergência mínima dos pesos e critérios envolvidos no problema. Com isso a parte do processo que faz referência à técnica Delphi é finalizada, dando início às etapas finais da ferramenta AHP, descrita na seção 3.1.1.

4 Metodologia

4.1 Definição do Problema

A metodologia aplica-se à seleção de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que seja capaz de direcionar um sítio, destinado ao repositório final para rejeitos radioativos de alta atividade. A ferramenta selecionada deve ter características que atendam às necessidades desse problema multicritério, possibilitando um resultado sólido e consistente.

4.2 Atributos da ferramenta de apoio à decisão

De acordo com a IAEA (1990), ainda que para a seleção de um local para armazenamento de rejeitos radioativos cada país tenha suas especificidades, políticas, culturais, entre outras, de regras para tomadas de decisão, no geral, os tomadores de decisão sempre precisarão de métodos de avaliação e definição de critérios. Dessa forma, é necessário que fique claro quais são os critérios utilizados. Essa análise meticulosa tem o intuito de maximizar a segurança e garantir a transparência para as partes interessadas (*stakeholders*).

Neste trabalho, as características que tornam um processo de seleção de sítios para construção de um repositório possível, foram baseadas em um amplo exame da literatura disponível sobre o tema. A Agência Internacional de Energia Atômica publicou diversas diretrizes tratando do assunto e orientando quanto às possíveis características do problema de decisão atinentes a um repositório geológico final para rejeitos radioativos (IAEA, 1977; 1983; 1989).

Qualquer processo de tomada de decisão inicia-se com o reconhecimento e a definição do problema de decisão. O problema de decisão é a diferença percebida entre

o estado existente e o desejado de um sistema (MALCZEWSKI, 1999). Para definir e reconhecer o problema, precisaremos conhecer suas características e entender o que se procura.

Esse problema apresenta um conjunto de critérios de avaliação, dessa maneira, a seleção e escolha de locais devem se processar com a participação de profissionais das diferentes especialidades que o problema envolve, tais como geologia, hidrologia, ecologia, biologia, química, física de radiação, meteorologia e engenharia, além de assessoria jurídica, como prevê a Norma 6.06 (CNEN, 1989).

Devido a essa diversidade de critérios, a ferramenta de apoio à tomada de decisão deverá conter características cruciais, capazes de garantir a segurança e credibilidade diante das partes interessadas. A questão é que esse é um problema no qual a humanidade não tem um histórico no qual possa ser feito um estudo. A resolução dessa questão é baseada, entre outros, no comportamento geológico passado e na modelagem estocástica do problema.

Ainda em relação a esses múltiplos critérios, surge o problema no julgamento dos diversos especialistas das diferentes áreas e deparamo-nos com o problema da abrangência do conhecimento. Dessa maneira, existe um problema relacionado à subjetividade dos julgamentos dos participantes desse processo de decisão. Essa falta de objetividade pode gerar inconsistência nos julgamentos, baseada nas comparações de determinados fatores em relação a outros.

Em adição ao problema dos variados critérios de julgamento, e do uso dos especialistas de diferentes áreas, existe, ainda, o problema das diferentes visões sob a ótica de cada um dos grupos de interesse envolvidos nesse processo de escolha. Na

concepção política, por exemplo, temos o grande desafio da aceitação da comunidade, pois do ponto de vista social, esse é um assunto muito delicado e complicado devido à imagem, ainda negativa da energia nuclear. Um exemplo recente do poder público ocorreu no repositório de Yucca Mountain, EUA. O projeto sofreu diversas retaliações da comunidade e, por conseguinte, houve o bloqueio político interrompendo, ao menos temporariamente, a construção do repositório.

Para podermos otimizar os resultados, precisamos que a ferramenta selecionada seja capaz de lidar com cada uma dessas particularidade inerentes do problema de seleção desse local. Portanto, as ferramentas de apoio à tomada de decisão serão comparadas dentre os seguintes critérios:

1. Transparência e confiabilidade - Deve-se ter em mente o desenvolvimento de um método que seja transparente e rastreável, considerando-se as opiniões dos diversos grupos interessados (*stakeholders*) e permitindo que estes possam acompanhar e entender todas as decisões tomadas ao longo do processo (MARTINS, 2009).

2. Subjetividade - O alto grau de subjetividade alimenta a discordância entre os especialistas, podendo criar uma disputa na comparação dos fatores de julgamento, devido ao fato de existir especialistas de diferentes áreas do conhecimento. Essa situação dificulta a análise e a obtenção de um resultado final. Uma ferramenta com baixa subjetividade em um problema multicritério é importante, pois cria uma facilidade de comunicação e concordância entre os especialistas.

3. Atualização e adaptação - Segundo os documentos publicados pela IAEA, durante a década de 80, o processo de escolha de um sítio para servir de repositório final de rejeito radioativo é realizado em etapas “adaptativas”, reconhecidamente com

duração de vários anos, que evoluirá à medida que os decisores levarem em consideração os comentários de todos os interessados. Com isso, a ferramenta implantada deve ter a capacidade de atualizar seus resultados, possibilitando, então, a revisão e escolha, se for o caso, de novos sítios candidatos, caso haja necessidade, de forma a diminuir a inconsistência entre opiniões dos diferentes grupos de interesse ou lidar com novas informações obtidas ao longo do processo.

4. Análise Multicritério - O processo de escolha em questão apresenta problemas relacionados à diversidade de variáveis. Os diferentes critérios utilizados no problema devem ser contextualizados na mesma interface, para possibilitar um julgamento final único e teoricamente consistente.

De um modo geral, problemas de tomada de decisão multicritério envolvem um conjunto de alternativas que são avaliadas com base em critérios conflitantes e incomensuráveis (YOON; HWANG, 1995; MALCZEWSKI, 1999). Dessa forma, precisamos de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que possa analisar um problema multicritério de forma justa e ponderada, conforme o peso relativo de cada critério.

O problema de escolha de um repositório definitivo para rejeitos radioativos, assim como boa parte dos problemas de decisão multicritério, envolve seis componentes (KEENEY *et al.*, 1993; PITZ; McKILLIP, 1984):

- Uma meta ou um conjunto de metas que o decisor pretende alcançar;
- O decisor ou um grupo de decisores envolvidos no processo de tomada de decisão com suas preferências em relação aos critérios de avaliação;
- Um conjunto de critérios de avaliação (objetivos e/ou atributos físicos);

- O conjunto de alternativas de decisão;
- O conjunto de variáveis não controláveis (independentes) ou “estados da natureza” (ambiente de decisão);
- O conjunto de resultados ou consequências associadas a cada par de alternativas e atributos.

5. Facilidade de implantação – Qualquer ferramenta de apoio à tomada de decisão possui certa dificuldade de implantação, seja técnica ou não. A dificuldade na tomada de decisão é baseada em especificidades típicas do problema em questão, tais como grande número de especialistas, problemas envolvendo diversas áreas da ciência e subjetividade dos atributos. Fica evidente, então, que para diminuirmos os custos do processo de escolha, precisamos de facilidade na implantação da ferramenta de apoio a tomada de decisão.

A facilidade de implantação também está ligada aos critérios atualização e adaptação, pois caso seja preciso fazer uma nova avaliação, novos resultados podem ser obtidos de forma mais rápida e algumas vezes com poucos custos adicionais.

6. Tempo de aplicação – Devido ao grande número de especialistas que o problema exige, um processo demasiadamente longo pode gerar uma perda de qualidade de julgamento motivada pelo cansaço. Dessa forma o ideal é que se tenha uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que tenha uma duração de aplicação que não se estenda por muito tempo.

5 Resultados

5.1 Painéis comparativos

As informações descritas nas páginas anteriores dão subsídio para a criação de uma tabela comparativa das ferramentas descritas no Capítulo 3. A Tabela 5.2 mostra uma comparação entre os diferentes atributos, descritos neste Capítulo, das ferramentas de apoio à tomada de decisão, baseado em uma escala de pontuação, como descrito na Tabela 5.1. A Tabela 5.3 mostra uma comparação entre as ferramentas de apoio à tomada de decisão, relacionando as vantagens e desvantagens de cada método.

Tabela 5.1: Grau de atendimento dos atributos pelas ferramentas de apoio à tomada de decisão

Muito ruim	☹
Ruim	☹☹
Regular	☹☹☹
Bom	☹☹☹☹
Muito bom	☹☹☹☹☹

Tabela 5.2: Tabela comparativa dos atributos das ferramentas de apoio à tomada de decisão, baseado em um critério quantitativo.

Método Atributo	AHP	Delphi	Brainstorming	Técnica de Grupo Nominal	AHP-Delphi
Processo de escolha transparente e confiável	 <p>Essa ferramenta sistemática é consistente. O AHP tem a capacidade de tornar o processo decisório ordenado e com julgamento transparente.</p>	 <p>Processo que pode gerar controvérsias, segundo GOODMAN (1987), devido ao anonimato. A falta de exatidão pode criar uma desconfiança por parte das partes interessadas.</p>	 <p>A ferramenta é transparente, porém devido à dificuldade de objetividade pode gerar críticas à confiabilidade.</p>	 <p>A ferramenta é transparente, porém devido à dificuldade de objetividade pode gerar críticas à confiabilidade.</p>	 <p>Essa ferramenta é sistemática e consistente. O AHP tem a capacidade de tornar o processo decisório ordenado e com julgamento transparente. O método Delphi diminui as inconsistências do AHP.</p>
Baixo grau de subjetividade	 <p>A ferramenta transforma dados qualitativos em quantitativos, de forma a diminuir a subjetividade do problema.</p>	 <p>Ferramenta que trata de dados qualitativos e quantitativos. O método é capaz de diminuir a subjetividade inerente em alguns problemas.</p>	 <p>Ferramenta com alto grau de subjetividade.</p>	 <p>Ferramenta com alto grau de subjetividade.</p>	 <p>A ferramenta transforma dados qualitativos em quantitativos, de forma a diminuir a subjetividade do problema.</p>
Apoio à tomada de decisão passível de atualização	 <p>Caso não exista mudança nos pesos dos critérios, pode-se reaplicar o método para obtenção de outra opção.</p>	 <p>Seria necessária outra rodada do método Delphi a partir das atualizações provindas dos grupos de interesse.</p>	 <p>Seria necessária nova sessão de Brainstorming para atualizações das informações.</p>	 <p>Seria necessária nova sessão de Técnica de Grupo Nominal para atualizações das informações.</p>	 <p>Caso não exista mudança nos pesos dos critérios, pode-se reaplicar o método para obtenção de outra opção.</p>

<p>Análise de Decisão</p> <p>Multicritério</p>	<p>★★★★★</p> <p>É um dos métodos MCDM mais conhecidos e eficientes.</p>	<p>★★★★</p> <p>O método pode ser usado para tomada de decisões multicritério, sejam eles quantitativos ou qualitativos.</p>	<p>★★★</p> <p>Ainda que o método possa tratar de múltiplos critérios ao mesmo tempo, existe uma dificuldade de lidar com os critérios ao mesmo tempo devido à sua subjetividade típica.</p>	<p>★★★</p> <p>Ainda que o método possa tratar de múltiplos critérios ao mesmo tempo, existe uma dificuldade de lidar com os critérios ao mesmo tempo devido à sua subjetividade típica.</p>	<p>★★★★★</p> <p>Sua análise multicritério é baseada no método AHP.</p>
<p>Facilidade de implementação</p>	<p>★★★★★</p> <p>O método pode ser aplicado com a opinião de um especialista por vez. Fácil recolhimento dos dados e obtenção de resultados.</p>	<p>★★★★</p> <p>O método pode ser aplicado com a opinião de um especialista por vez. Fácil recolhimento dos dados, mas pode existir um pouco de dificuldade na obtenção dos dados caso a complexidade do problema necessite de um número de rodadas elevado.</p>	<p>★★★★</p> <p>O método é de fácil implantação. O único problema é reunir todos os participantes, no caso os especialistas, ao mesmo tempo.</p>	<p>★★★★</p> <p>O método é de fácil implantação. O único problema é reunir todos os participantes, no caso os especialistas, ao mesmo tempo.</p>	<p>★★★★★</p> <p>O método pode ser aplicado com a opinião de um especialista por vez. Fácil recolhimento dos dados e obtenção de resultados.</p>
<p>Tempo de implantação</p>	<p>★★★★★</p> <p>Processo rápido. É baseado na construção de uma matriz, podendo se estender um pouco mais caso haja dificuldade de se encontrar uma consistência aceitável.</p>	<p>★★★</p> <p>Processo demorado, tempo de implantação varia com a complexidade do problema e números de rodadas.</p>	<p>★★★</p> <p>Processo demorado. O tempo de implantação varia com o número de participantes e a quantidade de idéias requeridas.</p>	<p>★★</p> <p>Processo demorado. Requer mais tempo, no geral, que o Brainstorming, pois lida somente com uma questão por vez.</p>	<p>★★</p> <p>Processo demorado. Segue no geral as mesmas etapas do método Delphi.</p>

Tabela 5.3: Tabela comparativa das ferramentas de apoio à tomada de decisão, relacionando as vantagens e desvantagens de cada método.

<i>Técnica</i>	<i>AHP</i>	<i>Delphi</i>	<i>Brainstorming</i>	<i>Técnica de grupo nominal</i>	<i>AHP-Delphi</i>
<i>Vantagens</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Possui uma forma de estimar sua coerência, o chamado índice de inconsistência; - A hierarquia ajuda a formular a decisão de uma forma lógica; - Chama a atenção de classificações inconsistentes; 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilidade de implantação utilizando dados não mensuráveis; - Bom desempenho em previsões de médio e longo prazo; - Baixo custo de implantação; - O anonimato nas respostas elimina resultados tendenciosos; - Funciona bem com um grande número de participantes; 	<ul style="list-style-type: none"> - Fornece rapidamente um grande volume de ideias; - Estimula a criatividade e a inovação; - Incentiva o envolvimento dos participantes; - Gera abertura para outras ferramentas; 	<ul style="list-style-type: none"> - É considerada uma técnica democrática; - A técnica força a participação de todos os membros; - Apresenta, também, as mesmas vantagens do Brainstorming citado acima; 	<ul style="list-style-type: none"> - É aplicável a uma ampla gama de decisões complexas e multicritérios; - Baixo grau de inconsistência; - Trata com dados qualitativos e quantitativos; - Intensifica o poder do AHP e ainda mantém muitas vantagens dos métodos Delphi e AHP;

<p>Desvantagens</p>	<ul style="list-style-type: none"> - O número de tabelas comparativas pode ser muito grande se forem utilizados muitos atributos de comparação. - Muitas comparações dois a dois precisam ser feitas para problemas muito extensos; - O uso da escala de 1 a 9; 	<ul style="list-style-type: none"> - Excessiva dependência dos resultados na escolha dos especialistas; - Possibilidade de forçar o consenso indevidamente; - Dificuldade de se redigir um questionário sem ambiguidades 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade de encontrar um horário e local comuns e adequados a todos os membros do grupo; - Dificuldade de participação ativa e igualitária de todos os membros do grupo; - Dificuldade para conduzir a reunião de modo que esta seja objetiva e que não tome, inutilmente, o tempo das pessoas; - Dificuldade de convergir para uma solução satisfatória; 	<ul style="list-style-type: none"> - A técnica lida somente com uma questão de cada vez; - Permite a presença de, no máximo, nove participantes por grupo; - Não é apropriada a problemas simples que podem ser resolvidos em grupos de interação menos estruturados; 	<ul style="list-style-type: none"> - O método pode ser cansativo e desgastante; - A ferramenta exige mais tempo comparada ao Delphi ou o AHP; - O uso da escala de 1 a 9; - Muitas comparações dois a dois precisam ser feitas para problemas muito extensos;
----------------------------	--	---	---	--	---

6 Estudo de caso

6.1 Discussão do método

Será feito uma análise do método utilizado por MARTINS (2009), para analisar e selecionar locais adequados para hospedar um depósito geológico para os rejeitos radioativos de alto nível.

O método utilizado foi o AHP. O método utilizado foi eficiente e a coerência dos resultados pôde ser atestada pelo índice de inconsistência inerente do método AHP. Mesmo tendo utilizado desse índice, não houve a garantia do consenso entre os especialistas que julgaram os critérios no trabalho. MARTINS (2009) percebeu esse problema e pontuou essa inconsistência devido a três motivos:

1. Falta de conhecimento prévio do problema em questão, ou seja, os especialistas consultados são especialistas em aspectos relacionados à disposição geológica e não tinham conhecimento prévio do problema como um todo. Esta falta de conhecimento anterior é positiva por um lado, pois evita que os especialistas tendenciem seus julgamentos e negativa por outro, pois a ausência ou a pouca informação podem dificultar os julgamentos e levar a uma percepção errada da importância de determinados critérios.

2. A subjetividade dos julgamentos, aliada ao pouco conhecimento do problema e a delicadeza do assunto em questão também podem ser fonte de inconsistência.

3. Um ponto importante é que os especialistas não opinavam apenas acerca dos critérios de sua especialidade, mas sim acerca de todos os outros critérios. Isto foi feito buscando-se alcançar um equilíbrio entre a opinião do especialista e a opinião de quem não especialista naquela área, de modo a não tendenciar os pesos dos critérios. Este tratamento também pode ter sido fonte de inconsistência nas análises.

O índice de inconsistência não indica, diretamente, onde está ocorrendo a inconsistência ou o que deve ser feito, sugere, apenas, se deve ser feito uma nova

hierarquização ou não. Isso se deve porque o método AHP pode ser considerado como um método de agregação aditivo, o que levanta o problema de compensação de más por boas pontuações, podendo influenciar a cadência das pontuações de outro critério, podendo levar à perda de informação detalhada e importante (NUNES, 2012).

A falta de consistência gerada pela falta de concordância de alguns especialistas pode ser observada nos próximos gráficos, esses foram criados a partir dos resultados do trabalho de MARTINS (2009). As figuras 6.1, 6.2 e 6.3 retratam a opinião, em forma de peso relativo, de oito especialistas em torno do critério Viabilidade Sócio-Econômica-Ambiental. Nesse critério foram associados os atributos: recursos minerais, uso e cobertura do solo e hidrologia.

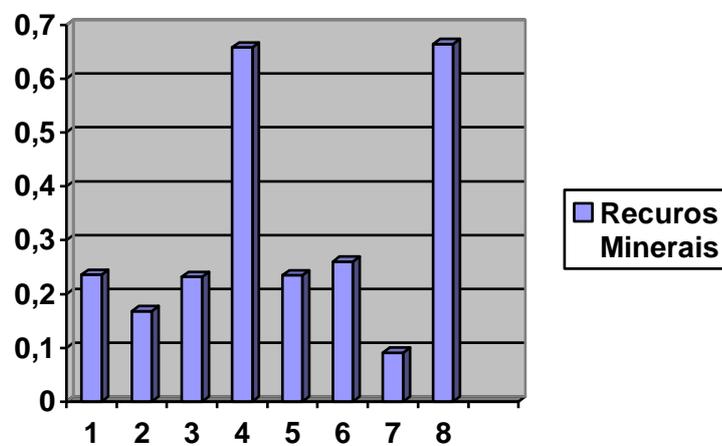


Figura 6.1: Peso relativo do atributo recursos minerais no critério Viabilidade Sócio-Econômica-Ambiental.

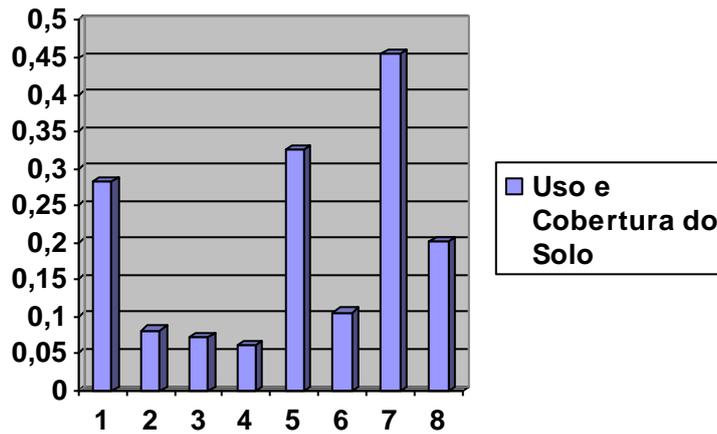


Figura 6.2: Peso relativo do atributo uso e cobertura do solo no critério Viabilidade Sócio-Econômica-Ambiental.

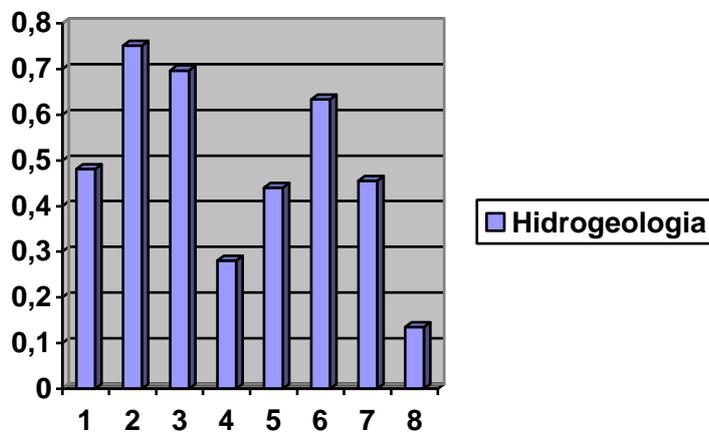


Figura 6.3: Peso relativo do atributo hidrologia no critério Viabilidade Sócio-Econômica-Ambiental.

Ainda que o índice de inconsistência tenha considerado os resultados consistentes, segundo retratado no trabalho, podemos notar grandes discordâncias entre alguns especialistas nos atributos relacionados ao critério Viabilidade Sócio-Econômica-Ambiental.

O método AHP-Delphi preserva grande parte das qualidades do método AHP combinado com as qualidades do método Delphi. Ainda que existam algumas discrepâncias nas opiniões dos especialistas os comentários de cada um dos especialistas após cada rodada

do método AHP-Delphi permitem convergir a opinião dos especialistas para um consenso. Se o método AHP-Delphi substituísse o método AHP no trabalho de MARTINS (2009), possivelmente o desvio padrão das respostas dos especialistas seria menor após cada rodada do método AHP-Delphi. Dessa maneira, ainda haveria um índice de inconsistência favorável, porém com uma maior coerência entre os respondentes.

6.2 Uso do método na literatura

O trabalho de TAVANA *et al.* (1993) mostra a eficiência do método AHP-Delphi. Nesse trabalho ele utilizou o método AHP-Delphi para resolver um problema de Contratação de professores de contabilidade para assumir determinados cargos em uma universidade. No cargo de diretor de pós-graduação diversos critérios que foram considerados: comunicabilidade, entusiasmo, Contabilidade internacional, Contabilidade Administrativa, compromisso na área de atuação. Funcionários de diferentes setores da universidade opinaram sobre essa contratação. Os respondentes opinaram em critérios que não estão, necessariamente, ligados a sua área de atuação na universidade.

Após cada rodada do método AHP-Delphi melhoramos o entendimento dos respondentes acerca do problema e conseqüentemente aumentamos a coerência das respostas. A figura 6.4 mostra o aumento da coerência das respostas dos respondentes após três rodadas do método AHP-Delphi

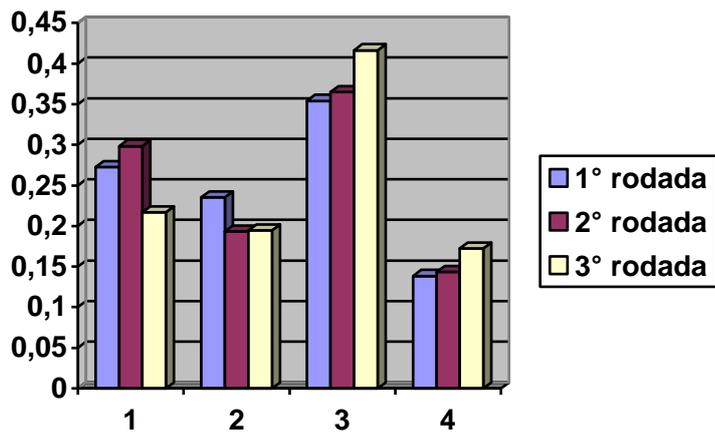


Figura 6.4: Peso relativo da aprovação de cada um dos professores concorrente pelos membros da universidade.

Após três rodadas do método AHP-Dephi, percebemos uma crescente aceitação do terceiro candidato para o cargo de diretor de pós-graduação. O número de rodadas pode ser aumentado de acordo com objetivo da sessão AHP-Delphi. Após X rodadas o mediador pode usar o índice de inconsistência para aferir a consistência para se certificar que deve ser encerrada a sessão AHP-Dephi e que, de fato, foi obtido um resultado consistente. Nesse trabalho o índice de inconsistência aplicado para o julgamento de escolha do diretor de pós-graduação foi 0,02.

7 Conclusões e Recomendações

7.1 Conclusão

Segundo SAATY e PENIWATI (2008), na tomada de decisão individual, as pessoas têm somente de concordar com elas mesmas; já em grupo, existe o grande problema do consenso. Sendo assim, tem de existir uma ferramenta que auxilie o grupo nesse processo decisório.

O Delphi apresenta uma grande vantagem na parte informativa do problema de decisão do repositório, pois ele é muito eficiente quando o objetivo é melhorar o entendimento do problema, e, como o problema é multicritério e envolve especialistas de diferentes áreas, a ferramenta apresenta vantagens, nesse aspecto, sobre o *Brainstorming* e a Técnica de Grupo Nominal. O *Brainstorming*, assim como a Técnica de Grupo Nominal, devido à grande vazão de ideias, acaba não tendo caráter informativo, ele é mais indicado em início de projeto, onde não há ou precisa-se de ideias.

Como no problema em questão temos diversos especialistas com formações acadêmicas distintas e personalidades diferentes, seria interessante que se pudesse evitar o confronto entre os mesmos. WRIGHT (1986) concorda que o anonimato nas respostas elimina a influência de fatores como o “*status*” acadêmico ou profissional do respondente, ou sua capacidade de oratória na consideração da validade de seus argumentos. Dessa maneira, a característica do anonimato do método Delphi é um tópico importante a ser considerado. O *Brainstorming* pode ofuscar a opinião de alguns participantes e, ainda que tenha um *Brainstorming* organizado, no caso, a técnica de grupo nominal, teríamos uma certa influência em razão da presença dos outros participantes.

Uma característica importante do AHP é a capacidade de estruturar o problema em níveis hierárquicos. A ferramenta pontua o peso de cada um dos atributos do problema multicritério e, dessa forma conseguimos segregar em grau de importância cada critério. Ao

fim da hierarquização e construção da matriz de julgamento dos critérios, temos, ainda, um grau de coerência para aferir qualidade dos julgamentos feitos pelos especialistas.

Em diversas outras ferramentas de apoio à tomada de decisão, o Delphi, por exemplo, não temos um critério bem-definido de quando parar. Uma sessão de Delphi é encerrada quando se chega a um aparente consenso entre os participantes. Desse jeito, o Delphi cria a possibilidade de ocorrência de alguma inconsistência que não tenha sido percebida pelos especialistas, no processo de julgamento.

Ainda que se tenha subjetividade em alguns atributos, segundo COSTA (2006), uma das principais vantagens dos métodos MCDM é que estes reconhecem a subjetividade como inerente aos problemas de decisão e utilizam julgamento de valor como forma de tratá-la cientificamente. No problema de seleção do repositório, esbarramos em critérios subjetivos, e por isso é fundamental que a ferramenta escolhida também abranja esse tipo de situação.

Devido à importância e algumas controvérsias relacionadas à energia nuclear, a escolha desse sítio deve ser confiável e transparente para que possa convencer a sociedade e os órgãos públicos quanto à sua segurança e custos. No método Delphi, segundo WRIGHT e GIOVINAZZO (2000) e AYYUB (2001), temos algumas desvantagens apontadas relacionadas à transparência e credibilidade do método, tais como possibilidade de forçar o consenso indevidamente, dificuldade de se redigir um questionário sem ambiguidades e não enviesado e excessiva dependência dos resultados em relação à escolha dos especialistas. Por esse aspecto, o AHP soa como uma boa opção, pois apresenta um método transparente e confiável que engloba tanto fatores qualitativos como quantitativos, em um processo estruturado e consistente.

A ferramenta de apoio à decisão combinada AHP-Delphi proporciona uma opção de método que contém diversas qualidades dos dois processos, dessa maneira, otimizando a tomada de decisão. As duas trabalham de forma integrada, o Delphi aumenta o poder do AHP

e continua mantendo as suas vantagens. Enquanto o AHP permite que o participante conheça as prioridades de cada atributo, pesos relativos nas comparações e o grau de consistência das suas decisões, o Delphi possibilita um retorno das decisões dos outros membros.

O AHP-Delphi mantém as qualidades do método AHP e, devido a esse retorno de informações característico do Delphi, permite a diminuição das inconsistências geradas no método AHP, e consegue, em muitos casos, melhorar os resultados, pois essa ferramenta, AHP, tem como suposição fundamental que os decisores e especialistas são inconsistentes em seus julgamentos de valor com relação aos critérios de decisão e alternativas (MARTINS, 2009). O Retorno das informações, nesse caso tem a função, também, de melhorar o conhecimento do problema por parte dos especialistas, tendo em vista que nenhum especialista conhece todas as áreas que abordam o problema em sua plenitude, assim, é possível que tenhamos opiniões mais embasadas devido a essas constantes atualizações, de informações, durante uma sessão do método AHP-Delphi.

Dessa maneira, optamos pela utilização da ferramenta combinada AHP-Delphi para a tomada de decisão na seleção de áreas adequadas à construção de um repositório geológico para armazenamento de rejeito de alta atividade.

7.2 Recomendações

Para a melhora do trabalho apresentado recomenda-se que seja feito um estudo mais abrangente que permita o estudo de outras ferramentas, as quais possam atender ao problema de seleção de repositório para combustível nuclear usado. Esse estudo mais amplo não foi feito devido à dificuldade de trabalhar, comparando, toda essa grande gama de ferramentas de apoio à tomada de decisão existente.

Segue algumas ferramentas que, também, poderiam ser acrescentadas em trabalhos futuros:

- MAUT (*Multi-attribute utility theory*)
- SMART (*Simple multi-attribute rating technique*)
- *Geometric Mean Technique*

Uma outra recomendação seria fazer uma aplicação, prática, para aferir o potencial da ferramenta selecionada. Um teste empírico permite sugestões de adaptações, se for o caso, que poderiam propor melhorias na aplicação do método.

Referências Bibliográficas

AIKEN, M.; KROSP J.; SHIRANI, A.; MARTIN J. Electronic Brainstorming in small and large group. **Information & Management**. v. 27, p. 141-149. 1994.

AKEND. “Site Selection Procedure for Repository Sites. Recommendations of the AkEnd (Committee on a Site Selection Procedure for Repository Sites). Final Report for the Federal Ministry for the Environment”, **Nature Conservation and Nuclear Safety**. Cologne, Deutschland, 2002.

AL-KLOUB, B.; AL-SHEMMERI, T.; PEARMAN, A. “The role of weights in multi-criteria decision aid, and the ranking of water projects in Jordan”, **European Journal of Operational Research**, Vol. 99, n. 2, pp. 278-288, 1997.

ALLISON, G. Nuclear terrorism. **The ultimate preventable catastrophe**. Owl Books, 2004.

ALVES, C. H. F, 2010. **Um Método para a Construção de Modelos de Risco Quantitativos para *offshoring* de Tecnologia da Informação baseado na Opinião de Especialistas**. Tese de M.Sc., IM/UFRJ. Pós-Graduação em Informática, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ARMACOST, R., HOSSEINI, J. “Identification of determinant attributes using the analytic hierarchy process”. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v.22, s/n, pp. 383-393, 1994.

AYYUB, B. M. “Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering and the Sciences”. **Chapman & Hall/CRC**, 2006.

AYYUB. “Elicitation of Expert Opinions for Uncertainty and Risks”. **CRC Press LLC**, s/n, 2001.

BACELO, A. e BECKER, K. “Uma Ferramenta de Apoio à Discussão e Deliberação em Grupo”. In: **Anais do III Workshop em Sistemas Multimídia e Hiperemídia (Womh'97)**. pp. 119-130, São Carlos, 1997.

BANA e COSTA, C.A. **Processo de apoio à decisão: Problemáticas, Atores e Ações**. Curso de Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão. Florianópolis: ENE, 1995.

BARBA-ROMERO, S., POMEROL, J.C.. **Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica**. Espanha: Colección de Economía, Universidad de Alcalá, 1997.

BERTOZZI, G., D’ALESSANDO, M., GIRARDI, F. *et al.* **Safety assessment of radioactive disposal into geological formation**. Luxemburgo: Commission of the European Community, 1978.

BISCHOFF, E., 2008. **Estudo da utilização de algoritmos genéticos para seleção de redes de acesso**. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília, Brasília, DF, p.142.

BRASIL. **Lei nº 10.308, de 20 de novembro de 2001**. Dispõe sobre a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação, a fiscalização, os custos, a indenização, a responsabilidade civil e as garantias referentes aos depósitos de rejeitos radioativos, e dá outras providências. Brasília, DF, 21 de Novembro de 2001. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10308.htm Acesso em jan. 2012.

BRASSARD, M. **The Memory Jogger: a Pocket Guide of Tools for Continuous Improvement**. Methuen, MA, EUA: GOAL/QPC, 1988.

BRYSON, N. “Group decision-making and the analytic hierarchy process: Exploring the consensus-relevant information content”. **Computer Operations Research**, v.23, n. 1, pp.27-35, 1996.

BUYS, B.; EVANGELISTA, R., “Energia nuclear: custos de uma alternativa.” **ComCiência**, n. 12, ago. 2000. Disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/nuclear/nuclear10.htm>> Acesso em jan. 2012.

CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. Aplicação da ferramenta processo de análise hierárquica – AHP para determinação de critérios essenciais para projetos sustentáveis de habitações de interesse social – HIS na cidade de Goiânia – GO. In: **Anais do Encontro Nacional e ELECS**, Vol. 4, Campo Grande, 2007.

CASSIANI, S.H.B., RODRIGUES, L.P. “A técnica de Delphi e a Técnica de grupo nominal como estratégias de coleta de dados das pesquisas em enfermagem”. **Acta Paul. Enf.**, v.9, n.3, pp.81, 1996.

CHANG, S.H. and CHO, W. J. “Risk analysis of radioactive waste repository based on the time dependent hazard rate”. **Radioactive Waste Management and the Nuclear Fuel Cycle**. Vol. 5 n. 63, 1984.

CHAUVET, A. **Métodos de Gestão**: o Guia, Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

CNEN, 1989. **Seleção e escolha de locais para depósitos de rejeitos radioativos**, CNEN-NE-6.06, Comissão Nacional de Energia Nuclear, RJ-Brasil.

COELHO, G., **Prospecção Tecnológica**: metodologias e experiências nacionais e internacionais. São Paulo: Instituto Nacional de Tecnologia, 2003.

COHEN, B. L. “A generic probabilistic risk assessment for low level waste burial grounds”. **Nuclear and Chemical Wasted Management**. Vol. 5 n. 39, 1984.

COOKE, R.M., **Experts in Uncertainty**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1991.

COSTA, H. G. **Auxílio multicritério à decisão**: método AHP. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006.

CRUZ JUNIOR, A. T.; CARVALHO, M. M. “Obtenção da voz do consumidor: estudo de caso em um Hotel Ecológico”. **Produção**, v. 13, n. 3, pp. 88-100, 2003.

CULHS, K; GRUPP, H. “Alemanha: Abordagens Prospectivas Nacionais”. In: **Anais do Seminário Internacional sobre estudos prospectivos em Ciência e Tecnologia**. Brasília, 2001.

DALKEY, N. C. “Delphi”. In: MARTINO, J. P. **An Introduction to Technological Forecasting**. New York: Gordon & Breach Publishers, 1972.

DALKEY, N. C.; HELMER, O. “An experimental application of the Delphi method to use of experts”. **Management Science**, n. 9, pp. 458-467, 1963.

DALKEY, N. C.; BROWN, B.; COCHRAN, S., **The Delphi Method, III: Use of Self Rating to Improve Group Estimates**. Santa Monica: The Rand Corporation, 1969, Disponível em <http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2006/RM6115.pdf> Acesso em jul. 2012.

DIETZ, T. “Methods for Analyzing Data from Delphi Panels: Some Evidence from Forecasting Study”. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 31, n. 1, pp. 79-85, 1987.

EMSHOFF, J.R.; SAATY, T.L. “Applications of the analytic hierarchy process to long range planning processes”. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.10, pp.131-143, 1982.

ENE, Daniela. “Test Case of the Long Term Preliminary Performance Assessment for the L&IL Radioactive Waste Repository Baita Bihor”, Romania, **ICRS**, Madeira, 2004.

ENSSLIN, S.R., 1996. **A estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos**. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil.

FARIAS, S. S., 2003. **Uma Ferramenta Colaborativa de Auxílio ao Diagnóstico Médico para Ambientes Distribuídos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Eletricidade. Universidade Federal do Maranhão, São Luis do Maranhão, Brasil.

FIGUEIREDO, A.; GARTNER, I.R. “Planejamento de ações de gestão pela qualidade e produtividade em transporte urbano” In **Transporte em Transformação II**. São Paulo: Makron, 1999.

FORTE, M. G.; BODMER M, “As diferenças de percepção dos diferentes agentes sobre os atributos de qualidade de serviço de transporte urbano de passageiros na travessia da baía de Guanabara”, In: **Anais da ANPET**, Florianópolis, SC, v.1, n°. 3, pp. 700, 2004.

FRANZEN, H. R.; EIDELMAN, F.; PONTEDERO, E.. “Waste management in Brazil”. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. “Management of low and intermediate level radioactive wastes” **Anais do Simpósio Internacional**. Stockholm, 16-20 May, 1988; Vienna, 1989.

GARRICK, John B., “The use of risk assessment to evaluate waste disposal facilities in the United States of America”. **Safety Science**. Vol. 40, pp. 135-151, 2002.

GARTNER, I.R.; CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B.H. Um sistema multicriterial de apoio à análise de projetos em bancos de desenvolvimento. **Revista Produto & Produção**, CEREPBR, v.2, n.3, p.75-86, 1998.

GELLER, H.S. **Revolução Energética: Políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003.

GEORGOFF, D. M.; MURDICK, R. G. “Manager's Guide to Forecasting”. **Harvard Business Review**. v. 64, n. 1, pp. 110-120, 1986.

GOICOECHEA, A.; HANSEN, D. R.; DUCKSTEIN, L. “The Nominal Group Technique”. In: **Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications**. New York: John Wiley & Sons, 1982. pp. 361-363.

GOMES, E.G., 1999. **Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Decisão Espacial**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

GOODMAN, C. M. Delphi technique: a critique. **J. Adv. Nurs.**, Vol. 12, pp.729-734, 1987.

GRANEMANN, S.R.; GARTNER, I.R. Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: Uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP). **Revista Transportes**, Rio de Janeiro, vol. 6, pp. 18-40, 1998.

GRAY, P. Review of The Analytic Hierarchy Process, and Decision Making for Leaders. **Interfaces**, pp. 97-99, 1994.

GUPTA, U.; CLARKE, R. Theory and Application of Delphi Technique: A Bibliography (1975 -1994). **Technological Forecasting and Social Change**. vol. 53, n. 2, pp. 185-211, 1996.

HAMMOND, J. S., Keeney, R. L., Raiffa, H. **Decisões inteligentes**. São Paulo: Elsevier, 2004.

HAN, K. W. J.; KANG, C. H.; KIM, C. H. “Genetic safety assessment for LLW repository”. In: **Anais do Joint International Waste Management Conference**, 1991.

IAEA, “Monitoring of Geological Repositories for High Level Radioactive Waste”, IAEA-TECDOC-1208, **International Atomic Energy Agency**, Vienna, 2001.

IAEA. “Arms Control & Verification: safeguards in a changing World”, **International Atomic Energy Agency**, Vol. 39, n. 5, pp.4-11, Vienna, 1997.

IAEA. “Concepts and Examples of Safety Analyses for Radioactive Waste Repositories”. **International Atomic Energy Agency**, Continental Geological Formations. Safety Series, n. 58, Vienna, 1983.

IAEA. “Developing Multinational Radioactive Waste Repositories: Infrastructural Framework and Scenarios of Cooperation.” IAEA-TECDOC-1413, **International Atomic Energy Agency**, Vienna, 2004.

IAEA. “International Newsbriefs Energy and Sustainable Development”. In: IAEA Bulletin, **International Atomic Energy Agency**, Vol. 41, n.4, December, 1999. pp. 43.

IAEA. “Qualitative Acceptance Criteria for Radioactive Wastes to be Disposed of in Deep Geological Formations”, **International Atomic Energy Agency**. Vienna, 1990.

IAEA. “Radioactive Waste Management Glossary”, **International Atomic Energy Agency**, Vienna, 2003b.

IAEA. “Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High Level Radioactive Wastes”. **International Atomic Energy Agency**”, Safety Series, n. 99, Vienna, 1989.

IAEA. “Scientific and Technical Basis for Geological Disposal of Radioactive Wastes”, **Technical Reports Series**, nº 413, Vienna, 2003a.

IAEA. “Selection Factors for Repositories of Solid High-Level and Alpha-Bearing Wastes” **International Atomic Energy Agency**, Geological Formations, Technical Report Series, N. 177, Vienna, 1977.

INDRIUNAS, L. **HowStuffWorks**: Como funciona a polêmica sobre as usinas nucleares. Publicado em 4 de setembro de 2008. Disponível em <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/polemica-sobreusinas-nucleares.htm>>. Acesso em nov. 2011.

JAPAN NUCLEAR CYCLE DEVELOPMENT INSTITUTE. **Development and management of the technical knowledge base for the geological disposal of HLW (H17 Report)**, 2005. Disponível em: http://www.jaea.go.jp/04/tisou/english/report/H17_report.html. Acesso em fev. 2012.

JAPAN NUCLEAR CYCLE DEVELOPMENT INSTITUTE. **Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan. Second Progress Report on Research and Development for the Geological Disposal of HLW in Japan (Second Progress Report H12)**, 2000. Disponível em http://www.jaea.go.jp/04/tisou/english/report/H12_report.html Acesso em fev. 2012.

JESSUP, L. M.; TANSIK, D. A. "Decision making in an automated environment: The effect of anonymity and proximity with a Group Decision Support System". **Decision Sciences**, pp. 266-279, 1991.

KAPLAN, R. S; ATKINSON, A. A. **Advanced management accounting**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989. , pp. 473-496 e pp 719-740.

KAYO, E., SECURATO, J. "Método Delphi: Fundamentos, Críticas e Vieses". **Caderno de Pesquisas em Administração**. São Paulo, Vol. 1, n. 4, pp. 51-61, 1997.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H.; MEYER, R.F. "Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs". **Cambridge University Press**. Cambridge, UK, 1993.

KIM, P. O.; CHO, W. J.; CHANG, S.H. "Probabilistic safety assessment of low level wasted disposal system". **Radioactive Waste Management and the Nuclear Fuel Cycle**. Vol. 10, pp. 253, 1988.

KIM, T. W.; CHANG, S. H.; LEE, B. H. "Uncertainty and sensitivity analyses in evaluating risk of high level waste repository". **Radioactive Waste Management and the Nuclear Fuel Cycle**. Vol. 10, pp. 321, 1988.

KRISHNAMOORTHY, T. W.; NAIR, R.N.; SARMA, T. P, *et al.* "Models for shallow land disposal of low and intermediate level radwastes". In: **Anais do Joint International Waste Management Conference**. Vol. 1, pp. 127, 1991.

LACOSTE, A.C. "Safety issues in the near surface disposal of radioactive waste". In: **Anais da international conference on the safety of radioactive waste management**. Espanha, 2000.

LEMONS, D. L.; PORTO, A.C. "Technological Forecasting Techniques and Competitive Intelligence: Tools for Improving the Innovation Process". **Industrial Management & Data Systems**. Vol. 98, n. 7, pp. 330-337, 1998.

LINSTONE, M. A.; TUROFF, M. **The Delphi Method Techniques and Application**. **Addison**. Nova Iorque: Wesley Publishing Company Inc, 1975.

LITTLE, R. H.; PENFOLD, J. S. S. “Preliminary Safety Assessment of Concepts for a Permanent Waste Repository at the Western Waste Management Facility”. **Summary Report**, March 2003.

LOZANO, F.A.E., 2006 **Seleção de Locais para Barragens de Rejeitos Usando o Método de Análise Hierárquica**. Dissertação de M.Sc. da Escola Politécnica/USP, São Paulo, SP, Brasil.

MALBRAIN, C. M. **Risk assessment and the regulation of high level waste repository**. D.Sc. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1984.

MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1999.

MARTINO, J. P. **Technological Forecasting for Decision Making**. New York: Elsevier, 1983.

MARTINS, V. B., 2009. **Metodologia Baseada em Sistemas de Informação Geográfica e Análise Multicritério para a Seleção de Áreas para a Construção de um Repositório para o Combustível Nuclear Usado**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

McEWEN, Tim; ÄIKÄS, Timo. “The site selection process for a spent fuel repository in Finland”. **Posiva**, n. 15, 2000.

MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A. T.; ALENCAR, L. H. “A multiple criteria decision model for assigning priorities to activities in Project management”. **International Journal of Project Management**, Vol. 27, pp. 175-181, 2009.

NIREX. “The Proposed Nirex Forward Programme”. **Nirex Report N/015**, United Kingdom Nirex Limited, 2001b.

NIREX. “The Scientific Foundations of Deep Geological Disposal”. **Nirex Report No: N/016**, United Kingdom Nirex Limited, 2001a.

NUMO. “Evaluating Site Suitability for a HLW Repository”. **Scientific Background and Practical Application of NUMO’s Siting Factors**. NUMO-TR-04-04. Nuclear Waste Management Organization of Japan, 2004.

NUNES, B. G. N, 2012. **Apoio ao diagnóstico e planeamento de PME's : o método AHP**. Dissertação de M.Sc., FEUC, Coimbra, Portugal.

OLIVEIRA, D.P.R. **Estratégia empresarial e vantagem competitiva: como estabelecer, implementar e avaliar**. São Paulo: Atlas, 2001.

PITZ, G.F.; McKILLIP, J. **Decision analysis for program evaluators**. Oaks, CA: Sage, 1984.

PREBLE, J. “Public Sector Use of the Delphi Technique”. **Technological Forecasting and Social Change**. Vol. 23, n. 1, pp. 75-88, 1983.

PREBLE, J. F. “The selection of Delphi panels for strategic planning purposes”. **Strategic Management Journal**, Vol. 5, pp. 157-170, 1984.

PRITZKER, A.; GASSMANN, J. “Application of simplified reliability methods for risk assessment of nuclear waste repository”. **Nuclear Technology**. Vol. 48, pp. 289, 1980.

RADUAN, R. N. **Requisitos ambientais para disposição final de rejeitos radioativos em repositórios de superfície**. Dissertação de Mestrado, IPEN/USP, 1994.

ROSA, L.P. TOLMASQUIM, M.T. PIRES, J.C.L. A reforma do setor elétrico no Brasil e no mundo : uma visão crítica. Rio de Janeiro, 1998.

ROWE, G., WRIGHT, G. “The Delphi Technique as a Forecasting Tool: Issues and Analysis”. **International Journal of Forecasting**. Vol. 15, n. 4, pp. 353-375, 1999.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. “Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas”. **Economica**, Paris, 1993.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L.; PENIWATI, K. **Group decision making: drawing out and reconciling differences.** Pittsburgh: RWS, 2008.

SAATY, T.L. “How to make a decision: The analytic hierarchy process”. **European Journal of Operational Research.** Amsterdam, Vol. 48, pp. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica.** São Paulo: Makron Books, 1991, p.367.

SACKMAN, Harold. **Delphi critique: expert opinion, forecasting, and group process.** Lexington, Massachusetts: Lexington Book, 1975.

SILVA, A. T. “O Futuro da Energia Nuclear”. **Revista USP,** São Paulo, n.76, p. 34-43, dezembro/fevereiro, 2008.

SKB. “General Siting Study 95 – Siting of a deep repository for spent nuclear fuel”, Technical Report 95-34. **Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.,** 1995.

SKB. “Programme 92 Supplement. Treatment and final disposal of nuclear waste”. Supplement to the 1992 programme in response to the government decision of December 16, 1993. **Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.,** 1994.

SKB. “Treatment and final disposal of nuclear waste – Programme for research, development, demonstration and other measures”, RD&D-Programme 92, **Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.,** 1992.

SKULMOSKI, G. J.; HARTMAN, F. T.; KRAHN, J. “The Delphi Method for Graduate Research”. **Journal of Information Technology Education,** Vol. 6, 2007.

SOUZA, P.A.P.; FELICIDADE, N.; MAUAD, F.F. **A crise energética brasileira: Algumas dimensões do contexto político institucional e das alternativas em curso.** Programa de pós-graduação em ciências da engenharia ambiental. São Carlos: Rima, 2002

TAVANA, M.; KENNEDY, D. T.; RAPPAPORT, J.; UGRAS, Y. J. An AHP-Delphi group decision support system applied to conflict resolution in hiring decisions. **Journal of Management Systems**, Vol. 5, n.1, pp. 49-74, 1993.

TAYLOR, J. “Delphi method applied to turismo”. In: M. L. Wittis (Eds.). **Tourism Marketing and Management Handbook** (pp.95-99). New York: Prentice Hall, 1988.

US NATIONAL RESEARCH COUNCIL/NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1957, **The Disposal of Radioactive Waste on Land**, Publication 519, National Research Council, Washington, DC. Disponível em http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=10294#toc. Acesso em fev. 2012.

VARGAS, L.G. “An overview of the analytic hierarchy process and its applications”. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, Vol. 48, pp.2-8, 1990.

VICHI, F. M.; Mello, L. F. Em Energia: Seu Uso e o Meio Ambiente; 3ª ed., cap. 19, Thomson Learning: São Paulo, 2003.

WHEELWRIGHT, Steven C.; MAKRIDAKIS, Spyros. **Forecasting methods for management**. 4. ed. New York: John Wiley, 1985.

WILKINSON, J. W. **Accounting and Information Systems**. New York: John Wiley e Sons, 1991.

WRIGHT, J. T. C. “A técnica Delphi: Uma ferramenta útil para o planejamento do Brasil”. In: **Anais do Encontro Brasileiro de Planejamento Empresarial – “Como Planejar 86”**, Vol. III, pp. 28-29, nov. 1985, São Paulo: SPE – Sociedade Brasileira de Planejamento Empresarial, 1986.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. “Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo”. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, Vol. 1, n. 12, pp. 54-65, 2000.

YOON, K.P.; HWANG, C.-L. **Multi Attribute Decision Making: An Introduction**, CA: Thousand Oaks, 1995.