

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO (MMAD) NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Cíntia de Lima Vilas Boas¹

RESUMO --- Muitas situações de tomada de decisão relacionadas aos recursos hídricos, em um ambiente participatório, envolvem a seleção de alternativas, eventos ou cursos de ação. Porém, os agentes tomadores de decisão, geralmente, possuem pontos de vista conflitantes e diferentes juízos de valores. Os métodos multicritérios de análise de decisão aparecem como uma opção para que estas diversidades sejam integradas.

ABSTRACT --- Many situations of the decision making related to water resources involve the election of alternatives, events or courses of action. However, the decision makers have conflicting points of view and different judgment values. The multicriteria decision analysis methods appear as an option for integration of these diversities.

Palavras-chave: multicritérios, decisões, AHP.

¹ Mestranda em Gestão Econômica do Meio Ambiente pela UnB/FACH e eng^a hidróloga da CPRM, Rua 148, nº 485, St. Marista, 74170-110, Goiânia. E-mail: cintia@go.cprm.gov.br.

INTRODUÇÃO

Dentro do moderno conceito de Gestão das Águas², os assuntos que envolvem o planejamento do uso, controle e proteção dos recursos hídricos assumem grandes proporções, devido às interações entre o aproveitamento racional da água e o uso do solo. Logo, para tomada de decisões envolvendo vários agentes e múltiplos usos das águas, faz-se necessário ponderar os aspectos políticos, sociais, econômicos, financeiros, hidrológicos, ambientais e de engenharia, dentre outros, que possam conduzir às soluções que melhor compatibilizem as premissas acima mencionadas [Porto *et al.* (1999)].

Para tanto, é importante que os gestores públicos sejam munidos de instrumentos de análise econômica que facilitem o processo de tomada de decisão³ [Filho, Lanna e Machado (1999)]. Estes instrumentos devem se constituir em abordagens mais flexíveis que também permitam a agregação de variáveis intangíveis monetariamente e a consulta às populações afetadas [Gartner (2001)]. Segundo Stirling (1996) em Nogueira (1999), os métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD) permitem essa flexibilidade e consideram diversos critérios para o processo de tomada de decisão.

ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS NA ESCOLHA DE ALTERNATIVAS

A gestão do meio ambiente pode ser definida como um processo de tomada de decisões⁴ que devem considerar a variável ambiental de um sistema. Decisões relacionadas com o meio ambiente são decisões complexas⁵ que buscam alcançar objetivos tangíveis e/ou intangíveis, envolvem aspectos essencialmente quantitativos e/ou eminentemente qualitativos e os interesses em conflito que as cercam são significativos. Tudo isso dificulta o processo de escolha de caminhos e o uso de instrumentos auxiliares na escolha de alternativas de políticas, programas e projetos ambientais.

Em relação aos recursos hídricos, percebe-se que, até recentemente, as iniciativas de planejamento e gestão inerentes a estes bens ambientais se caracterizaram pelo uso de

² O conceito de Gestão das Águas fundamenta-se na concepção de Desenvolvimento Sustentável, onde desenvolvimento econômico, equidade social e sustentabilidade ambiental devem caminhar lado a lado.

³ A Análise Custo Benefício (ACB) era amplamente usada como instrumento de análise [Gonçalves (2001)]. No entanto, esta ferramenta demonstrou ser incapaz de produzir os resultados esperados devido a uma série de limitações conceituais e metodológicas [Jardim (1999) em Gonçalves (2001)].

⁴ Decisão é um processo abrangente que se inicia com a percepção da necessidade de uma mudança.

⁵ Contextos decisórios que envolvem aspectos ambientais são complexos, devido ao envolvimento de diversos atores com distintas relações de poder, cada um com diferentes valores, percepções e objetivos [Churchill (1990) em Noronha (1998)].

horizontes de análise de curto prazo, pela hegemonia técnico-institucional na tomada de decisões, pela setorização da gestão e pela relativa facilidade de financiamento de projetos públicos e privados. Neste contexto, a Análise Custo Benefício (ACB) era amplamente usada como instrumento de análise [Gonçalves (2001)].

No entanto, esta ferramenta demonstrou ser incapaz de produzir os resultados esperados, em função da crescente degradação ambiental causada e o conseqüente aumento das externalidades econômicas, dos prejuízos ao bem-estar social, da insatisfação popular, do aumento do conflito entre os diversos setores usuários da água e de uma sucessão de crises econômicas.

Assim, após análise das deficiências do modelo de gestão tradicional, surgiram propostas de reestruturação. Foram criados o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e alguns sistemas estaduais, na tentativa de superar os problemas de gestão, através de uma ótica sistêmica e participativa.

Algumas das demandas da gestão dos recursos hídricos nesta nova estrutura institucional são [Gonçalves (2001)]: planejamento estratégico de longo prazo, que inclua a questão da sustentabilidade; participação pública no processo de tomada de decisão; e definição de instrumentos legais e financeiros que viabilizem as decisões tomadas. Ao enfrentar estas questões, a Análise Custo Benefício passa a apresentar uma série de limitações conceituais e metodológicas, tais como [Jardim (1999) em Gonçalves (2001)]:

- Dificuldade de incorporação de um critério de equidade adequado aos impactos incidentes sobre indivíduos;
- Questões complexas relativas à distribuição de renda estão sempre presentes, explícita ou implicitamente;
- Inadequada consideração de impactos ambientais, ou considerações incidentes em fatores não inclusos nos mercados convencionais;
- Nem todos os custos e benefícios podem ser tratados em uma base comum de valoração;
- Nos projetos e políticas públicas, a realização da análise e o julgamento de seu resultado têm, não raramente, a mesma origem (poder público), comprometendo a abrangência e a imparcialidade;
- O planejamento em macro escala é, geralmente, influenciado por critérios políticos, não contemplados na ACB;
- Existe tendência para monetizar os benefícios extramercado (tratamento objetivo), mas não os custos (tratamento subjetivo);

- Deficiência na adoção de um tratamento sistemático para ponderação dos impactos.

As limitações da aplicação da ACB aumentam de acordo com a complexidade do problema enfocado, pois a questão ambiental: é de natureza multidisciplinar; envolve julgamentos de valores sócio-econômicos, ambientais e políticos⁶; envolve um maior número de atores cujas responsabilidades não são claras e apresenta muitos grupos de interesses com objetivos conflitantes. Por estes motivos, dentre outros, a ACB recebe um volume incomensurável de críticas.

Torna-se necessária, portanto, a aplicação de abordagens mais flexíveis que também permitam a agregação de variáveis intangíveis monetariamente e a consulta às populações afetadas [Gartner (2001)]. Conseqüentemente, estudiosos como Stirling (1996) em Nogueira (1999) sugerem instrumentos alternativos que permitam essa flexibilidade e considerem diversos critérios para o processo de escolha, como é o caso dos métodos multicritérios de apoio à decisão ou métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD)⁷.

PROCESSO DE DECISÃO

O processo de decisão em um ambiente complexo normalmente envolve dados imprecisos e/ou incompletos, múltiplos critérios e vários agentes de decisão [Gomes e Moreira (1998)]. Além disso, os problemas de decisão, de modo geral, envolvem múltiplos objetivos, e estes, por sua vez, são conflitantes entre si. Desse modo, a contribuição para um deles implica em prejuízo do outro.

A tomada de decisão, por conseguinte, deve buscar a opção que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou ainda, o melhor acordo entre as expectativas do “decisor” e as suas disponibilidades em adotá-la, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos⁸ [Soares (2003)]. Segundo Bana e Costa (1995) em Fernandes (1996), este é um sistema aberto composto pelos atores⁹ (*stakeholders*), seus valores e seus objetivos.

⁶ Estes julgamentos são complexos ou de pouco provável mensuração econômica, muitas vezes sendo expressos somente na forma qualitativa.

⁷ Em princípio, tanto uma abordagem monocritério quanto uma metodologia apoio de decisão multicritérios podem ser adotadas para executar uma análise multidimensional quantitativa, embora suas metas e utilidades dependam do contexto da decisão [Bana e Costa, Silva e Correia (2003)].

⁸ Embora a objetividade seja uma preocupação importante, deve-se lembrar que a tomada de decisão é, antes de tudo, uma atividade humana, fundamentada na noção de valor. Logo, a subjetividade é o motor da decisão.

⁹ Atores são pessoas que tem uma posição no contexto decisional, tem interesses comuns nos resultados das decisões e influenciam na decisão através de seus valores individuais.

Os atores são identificados como “facilitadores” e “decisores”¹⁰. O papel do “facilitador” é esclarecer o processo de avaliação e/ou negociação inerente à tomada de decisões e construir um modelo que considere os pontos de vistas dos atores e seus juízos de valores [Bana e Costa (1993) em Martins (1996)]. Os “decisores” são aqueles a quem foi formalmente ou moralmente delegado o poder de decisão, podendo intervir na construção e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação [Fernandes (1996)]. Ou ainda, *“decisor é a pessoa que assume a culpa se a decisão gera um resultado desastroso”* [Bana e Costa (1992) em Souza (1999)].

Assim, pode-se definir a tomada de decisão como um esforço para resolver o dilema dos objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da 'solução ótima' e conduz para a procura da 'solução de melhor acordo' [Schmidt (1995)]. Nota-se, portanto, que a complexidade da tomada de decisão requer um tratamento qualificado e justifica a utilização de métodos de apoio à decisão. Dentre outros, destacam-se os Métodos Multicritérios de Análise de Decisão, ou Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão – MMAD, que são o objeto de análise deste trabalho.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE ANÁLISE DE DECISÃO (MMAD)

As abordagens multicritérios se constituem em formas de modelar os processos de decisão, onde entram em jogo: uma decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados. Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos decisores.

Dessa forma, as abordagens multicritérios funcionam como uma base para discussão, principalmente nos casos onde há conflitos entre os decisores, ou ainda, quando a percepção do problema pelos vários atores envolvidos ainda não está totalmente consolidada [Bouyssou (1989) em Noronha (1998)]. Seu objetivo, portanto, é ajudar o “decisor” a analisar os dados que são intensamente complexos no campo ambiental e buscar a melhor estratégia de gestão do meio ambiente.

Estas abordagens foram desenvolvidas para problemas que incluem aspectos qualitativos e/ou quantitativos, tendo como base o princípio de que a experiência e o conhecimento das pessoas é pelo menos tão valioso quanto os dados utilizados para a tomada

¹⁰ Bana e Costa (1992) em Souza (1999) distingue ainda outro tipo de atores: os *demandeurs*. O *demandeur* é aquele ator incumbido pelo decisor para representá-lo no processo de apoio à decisão. Todavia, não deve ser considerado como decisor.

de decisão [Schmidt (1995)]. Nota-se, por conseguinte, que a análise multicritérios leva em conta a subjetividade dos atores¹¹ [Roy e Vanderpooten (1996); Roy (1993) em Noronha (1998)]. Por isso, a convicção da interconexão e inseparabilidade dos elementos objetivos e subjetivos do contexto decisório, e a convicção da aprendizagem e do construtivismo¹² são consideradas por Banna e Costa (1993) em Souza (1999) como características mais importantes dos MMAD.

Os Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão permitem avaliar critérios que não podem ser transformados em valores financeiros. Sua aplicação é apropriada para comparar alternativas de projetos, políticas e cursos de ação e também para analisar projetos específicos, identificando seu grau de impacto global, as ações mais eficazes e as que devem ser modificadas [Fernandes (1996)]. Desta forma, a metodologia multicritérios dá ao grupo envolvido no processo de tomada de decisão, subsídios necessários para se obter uma solução que melhor se ajuste às suas necessidades.

Através dos modelos multicritérios, o “decisor” poderá estimar as possíveis implicações de cada curso de ação, de modo a obter uma melhor compreensão das vinculações entre suas ações e seus objetivos [Flament (1999)]. O desafio é identificar, entre critérios conhecidos ou implícitos, quais são relevantes para o problema de decisão [Hening e Buchanan (2004)].

As variáveis de decisão são as ações detalhadas, que devem ser escolhidas e comunicadas. A decisão do grupo será a combinação das preferências individuais, resultando, portanto, em um intercâmbio de decisões entre seus membros, através da negociação das propostas aceitáveis. Logo, se o acordo é obtido, elas são automaticamente pactuadas [Gomes e Moreira (1998)].

A forma de tratamento analítico da informação é, inquestionavelmente, tão importante quanto a própria qualidade da informação disponível ao longo do processo de resolução de um problema complexo. Fundamentalmente, ela deve agregar valor à qualidade da informação, havendo, por conseguinte, uma relação estreita entre a qualidade da informação e a qualidade do apoio à tomada de decisão [Gomes e Moreira (1998)]. Conseqüentemente, os resultados obtidos pela análise multicritérios dependem do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, da escolha e estruturação dos critérios, dos valores de ponderação

¹¹ É importante salientar, que os “decisores” devem ser objetivos sempre que possível. O fato de a introdução de critérios múltiplos proverem certa subjetividade não quer dizer que as análises devem ser avaliadas casualmente ou subjetivamente [Hening e Buchanan (2004)].

¹² Durante o desenvolvimento do modelo se adota uma postura construtivista, o que proporciona, seguindo o paradigma da aprendizagem, uma crescente agregação de conhecimento sobre o problema em foco [Souza (1999)].

atribuídos aos critérios, do método de agregação utilizado e da participação dos diferentes atores [Soares (2003)].

É possível notar, portanto, o esforço dos MMAD em representar o mais fielmente possível as preferências do “decisor” ou do grupo de “decisores”, mesmo que essas preferências não sejam totalmente consistentes. Estes métodos, contudo, não visam apresentar uma solução ao problema, elegendo uma única verdade representada pela ação selecionada. Na realidade, eles buscam apoiar o processo decisório através da recomendação de ações ou cursos de ações a quem vai tomar decisão.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE ANÁLISE DE DECISÃO (MMAD)

Para Soares (2003), os MMAD apresentam duas vantagens decisivas: definir e evidenciar a responsabilidade do “decisor” e melhorar a transparência do processo de decisão. Outra vantagem, apontada por Mendoza *et al.* (1999), está relacionada com o consenso geral em um grupo multidisciplinar na tomada de decisão: com o uso da análise multicritérios, não é necessário que todos concordem com a importância relativa dos critérios ou o *ranking* das alternativas.

Assim, cada um apresenta seus próprios julgamentos e contribui distintamente para que uma conclusão seja alcançada em conjunto [Mendoza *et al.* (1999)]. Segundo Bouyssou (1989) em Noronha (1998), isto ocorre porque as abordagens multicritérios assumem que, na maioria dos contextos decisórios, é possível identificar um pequeno número de pontos de vista, normalmente entre três e dez, para construir uma família de critérios exaustiva e simples o suficiente para ser aceita como base de discussão por todos os atores envolvidos no processo decisório.

As abordagens multicritérios apresentam ainda como vantagens a construção de uma base para o diálogo entre analistas e decisores que fazem uso de diversos pontos de vista comuns; a facilidade em incorporar incertezas aos dados sobre cada ponto de vista; interpretar cada alternativa como um acordo entre objetivos em conflito¹³ e a divisão do processo de construção do modelo em duas fases distintas – construção dos critérios de avaliação que

¹³ Esse argumento destaca o fato de que raramente será encontrada uma situação em que exista uma alternativa superior às restantes sobre todos os pontos de vista.

serão usados no modelo e definição dos parâmetros que serão utilizados para agregação destes critérios para auxiliar a decisão¹⁴ [Bouyssou (1993) e Bouyssou (1989) em Noronha (1998)].

Não obstante as vantagens apresentadas, Stirling (1996) em Nogueira (1999) ressalta que nas abordagens multicritérios, são estabelecidas metas para cada objetivo, para então, minimizar a soma dos desvios nos níveis realizados por cada variável para a qual há uma meta. Conseqüentemente, é gerada uma imensa matriz com diferentes objetivos, metas e pesos, que evidenciam as diferentes perspectivas dos agentes envolvidos na escolha.

Assim, os responsáveis pela decisão final farão as suas escolhas considerando vários aspectos distintos. O problema é que a minimização ocorre sujeita a uma série de restrições, que refletem principalmente a demanda por recursos e, portanto, surgindo conflitos entre a simultânea maximização e minimização de todos os objetivos. Além disso, o nível de informações requeridas é muito grande e o estabelecimento das metas pode ser outro problema [Stirling (1996) em Nogueira (1999)].

EXECUÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIOS

A análise multicritérios é desenvolvida em etapas que, de modo geral, podem ser representadas da seguinte maneira [Soares (2003)]:

a) **Formulação do problema.** De um modo bastante simplista, corresponde a saber sobre o que se quer decidir.

b) **Determinação de um conjunto de ações potenciais.** Os atores envolvidos na tomada de decisão devem constituir um conjunto de ações¹⁵ (alternativas) que atendam ao problema colocado.

c) **Elaboração da uma família coerente de critérios.** Definição de um conjunto de critérios¹⁶ que permita avaliar os efeitos causados pela ação ao meio ambiente. Segundo Maystre e Bollinger (1999) em Soares (2003), esta é uma tarefa longa, com sucessivas aproximações entre os objetivos desejados e a possibilidade de atendimento com os recursos financeiros, tempo e conhecimentos disponíveis.

¹⁴ Assim, informações como os pesos dos critérios e as funções de valor associadas a cada um deles só são calculadas na segunda fase, ao contrário do que ocorre numa abordagem monocritério, onde a construção do critério único envolve também a incorporação destes parâmetros.

¹⁵ Ações são as opções de escolha na tomada de decisão, ou ainda, os objetos sobre os quais serão procedidas as avaliações e comparações [Soares (2003)].

¹⁶ Os valores dos critérios podem ser expressos em escalas ordinais e cardinais. A escala ordinal é caracterizada por permitir apenas a aplicação das relações: maior que (>), menor que (<) ou igual a (=) sobre seus valores. A escala cardinal é caracterizada por permitir a aplicação das quatro operações aritméticas básicas (+, -, ×, ÷) sobre seus valores [Soares (2003)].

Para a construção de critérios, normalmente são utilizados elementos estruturais denominados parâmetros e indicadores. Hierarquicamente, os parâmetros, que são dados mais diretos e simples (geralmente dados cardinais), estariam na base da estrutura de construção. Em nível intermediário, se encontrariam os indicadores, representando conjuntos de dados de natureza diferente agregados em uma característica mais sintética (geralmente informações ordinais), seguidos em um nível superior pelos critérios.

d) **Avaliação dos critérios.** Esta etapa é, geralmente, formalizada através de uma matriz de avaliações ou tabela de performances, na qual as linhas correspondem às ações a avaliar e as colunas representam os respectivos critérios de avaliação previamente estabelecidos¹⁷.

e) **Determinação de pesos dos critérios e limites de discriminação.** Os pesos traduzem numericamente a importância relativa de cada critério. A ponderação de critérios pode ser realizada através de várias técnicas como: hierarquização de critérios, notação, distribuição de pesos, taxa de substituição, regressão múltipla, jogos de cartas, etc.

f) **Agregação dos critérios.** Consiste em associar, após o preenchimento da matriz de avaliação e segundo um modelo matemático definido, as avaliações dos diferentes critérios para cada ação. As ações serão em seguida comparadas entre si por um julgamento relativo do valor de cada ação.

A figura 1 apresenta, de forma esquemática, as etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão. A execução destas etapas apresenta algumas dificuldades, como destaca Keeney (1982) em Fernandes (1996):

- existência de múltiplos critérios;
- dificuldade em identificar boas opções;
- presença de fatores intangíveis;
- multiplicidade de grupos afetados pelas decisões;
- natureza seqüencial das decisões;
- horizonte de longo prazo;
- risco e incerteza;
- risco à vida;
- natureza interdisciplinar dos impactos;
- presença de vários “decisores”;

¹⁷ Um aspecto importante a ser considerado nesta etapa da análise multicritérios refere-se ao desempenho de uma determinada ação com relação aos critérios de avaliação.

- interdependência entre critérios;
- consideração da atitude diante do risco por parte dos “decisores”, em situações de incerteza.

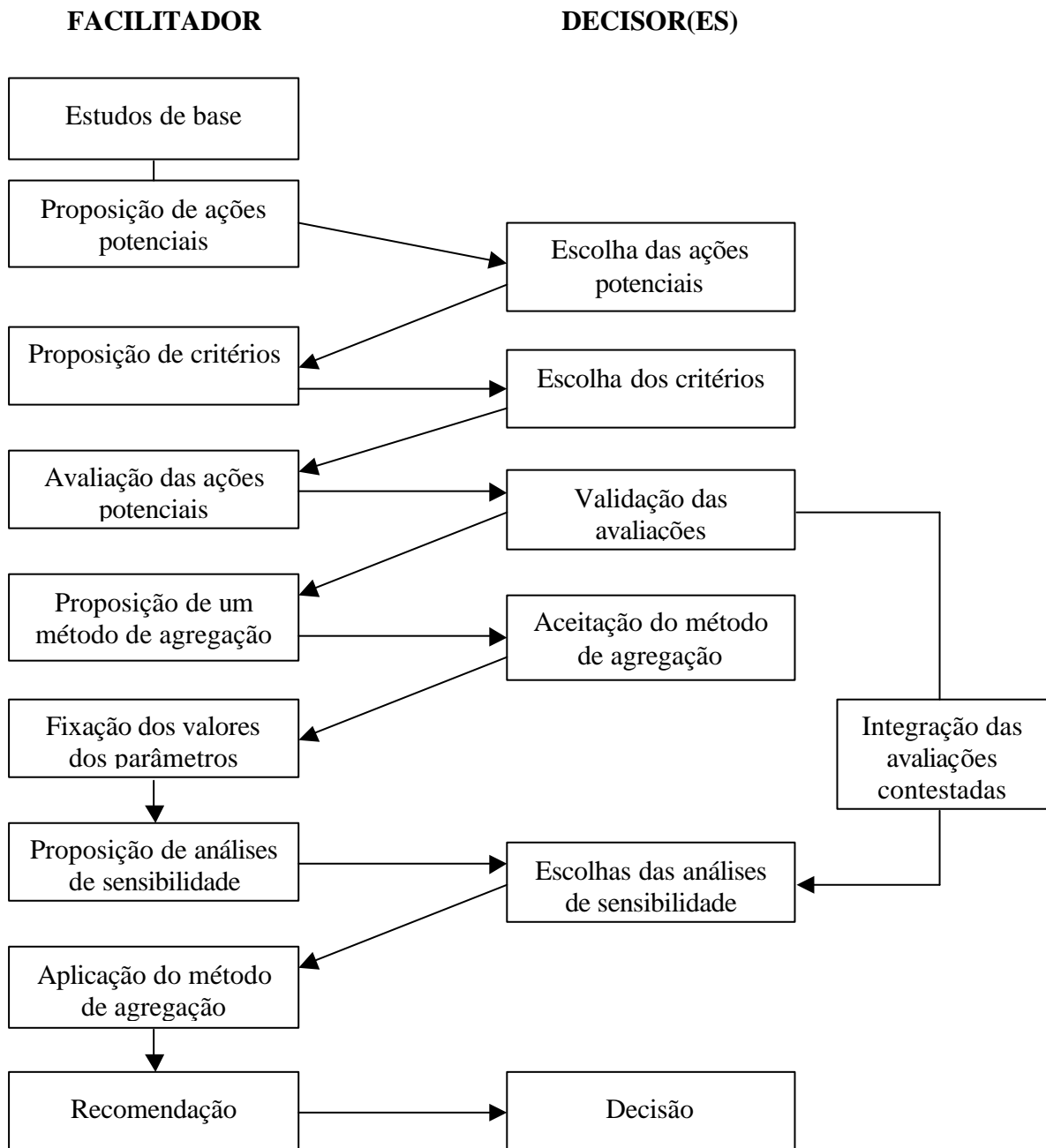


Figura 1 - Etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão¹⁸.

As etapas do processo de análise multicritérios de apoio à decisão, acima descritas, caracterizam duas fases distintas da aplicação dos MMAD: a estruturação e avaliação. Na

¹⁸ Fonte: Baseado em Lupatini (2002) citado por Soares (2003).

estruturção o modelo é efetivamente construído, definindo-se que aspectos serão considerados. Na avaliação são criadas as formas para mensurar os aspectos considerados importantes. Ao final desse processo, são propostas as recomendações aos decisores, como se observa na figura 2 [Bana e Costa (1995) em Mendoza (1999)].

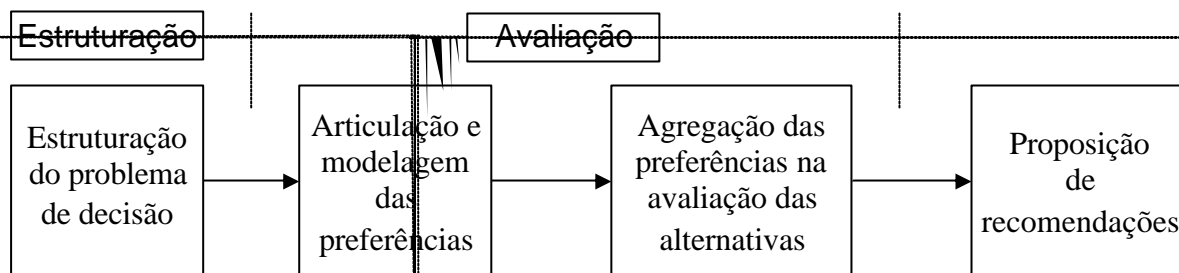


Figura 2 – Fases de aplicação dos Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão¹⁹

A estruturação, para Bana e Costa (1995) em Fernandes (1996), é uma fase de análise do sistema em estudo. Ela conduz à identificação, caracterização e hierarquização dos principais atores intervenientes e à explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si, em termos dos méritos e desvantagens relativas, face a um conjunto de critérios de avaliação que são definidos de acordo com os pontos de vista dos atores.

Já a avaliação, é considerada uma fase de síntese, onde através de análise de sensibilidade e robustez se esclarece a escolha. Realiza-se a valoração das alternativas ou ações potenciais, através da articulação e modelagem das preferências.

Na aplicação dos MMAD é feito o levantamento do conjunto de alternativas \underline{A} ($A = \{a_1 \dots a_j \dots a_n\}$) e do conjunto de critérios \underline{F} ($F = \{g_1 \dots g_j \dots g_m\}$) [Bana e Costa (1995) em Gartner (2001)]. As alternativas do conjunto \underline{A} serão confrontadas entre si por seus desempenhos nos critérios do conjunto \underline{F} , cuja valoração de cada alternativa, em cada critério, tem a notação $g(a_i)$. Os resultados são tabulados na matriz de avaliação:

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

¹⁹ Fonte: Adaptado de Gartner (2001).

Depois de obtidas as preferências do “decisor”, parte-se para sua agregação, que é o que define o tipo de método multicritério de apoio à decisão a ser aplicado. Roy (1985), Bana e Costa (1995), Jacquet-Lagrange (1995) e Vincke (1995) em Gartner (2001), com base no procedimento de agregação das preferências, classificam os MMAD em três tipos:

a) Métodos de agregação a um critério único de síntese

Os métodos de critério único de síntese assumem que as preferências dos “decisores” podem ser representadas por uma função de utilidade ou de valor. Estas devem ser avaliadas pelo analista através do uso de modelos aditivos, multiplicativos, entre outros [Gartner (2001)].

Esses métodos adotam o princípio da transitividade²⁰ e não admitem a incompatibilidade das ações potenciais. Consideram, em geral, somente as situações de preferência e indiferença, o que resulta em ordenamentos totais das alternativas [Gartner (2001)]. Alguns exemplos destes métodos são: UTA, PREFCALC, UTASTAR, MINORA, AHP, MACBETH, MAVT, SMART, EVAMIX e TOPSIS [Gonçalves (2001)]. A figura 3 apresenta o fluxo de processamento desses modelos.

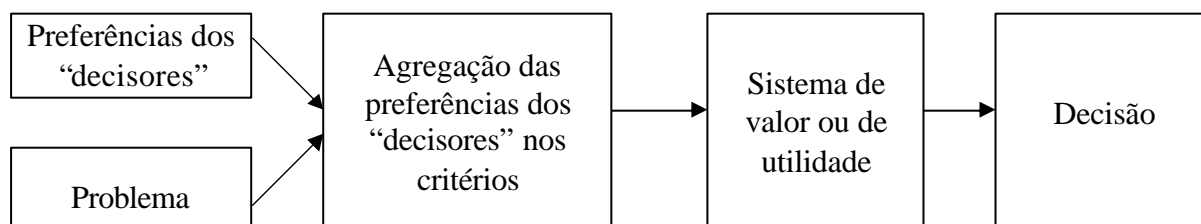


Figura 3 – Fluxo de processamento dos modelos de critério único de síntese²¹

b) Métodos de subordinação ou outranking

Os métodos *outranking* também são conhecidos como Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD). A relação *outranking* é definida por Roy (1991) em Gartner (2001) como sendo binária. Ela compara os argumentos prós e contras à hipótese de que a ação “a” é no mínimo tão boa quanto a ação “b”. Isso equivale dizer que a é "não pior que" b, através da notação: $a S b$ (a *outranks* b) [Gartner (2001)].

Uma relação *outranking* (S) permite o tratamento da incompatibilidade entre as ações. As situações de incompatibilidade podem ocorrer na prática, devido à incerteza e imprecisão dos dados utilizados e pelas características próprias do “decisor”.

²⁰ Se A é preferível a B e B é preferível a C, então, A é preferível a C.

²¹ Fonte: Gartner (2001).

É importante destacar que uma relação *outranking* não precisa atender ao princípio da transitividade. Esta abordagem define condicionantes num sistema de preferência, no qual devem ser enquadrados os desempenhos fornecidos pelo “decisor” para cada uma das ações. A figura 4 representa o fluxo de processamento desses modelos [Gartner (2001)].

Figura 4 – Fluxo de processamento dos modelos *outranking*²²

Bana e Costa *et al.* (1999) em Gonçalves (2001) citam alguns métodos *outranking*: QUALIFLEX, ORESTE, MELCHIOR, PROMETHEE, TACTIC, MAPPAC, PRAGMA, N-TOMIC, ELECCALC, ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III e ELECTRE IV. Gartner (2001) menciona ainda: MERCHIOR, REGIMA e NAIADE.

c) Métodos interativos

Os métodos interativos, também são conhecidos como *Multi-Objective Decision Making* (MODM), têm como base as técnicas de programação matemática envolvendo conjuntos contínuos de alternativas com espaços contínuos de soluções [Gartner (2001)]. Eles alternam passos computacionais e diálogo com os tomadores de decisão: o primeiro passo computacional provê uma primeira solução que é apresentada aos tomadores de decisão, que reagem dando informações extras sobre suas preferências, permitindo a construção de uma nova solução [Topcu (1999)].

PRINCIPAIS MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE ANÁLISE DE DECISÃO

AHP – Analytic Hierarchy Process

O método AHP foi desenvolvido pelo Professor Thomas L. Saaty em meados da década

recursos hídricos, Gartner (2001) destaca: planejamento de bacias hidrográficas, ponderação dos critérios de avaliação de desempenho de um sistema de irrigação, avaliação de impactos ambientais de projetos hídricos e planejamento de estratégias energéticas.

O AHP é uma ferramenta muito útil por ser uma boa medida da hierarquia dos princípios, critérios, indicadores e verificadores [Mendoza *et al.* (1999)]. Ele aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema dentro de uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica, como mostra a figura 5 [Gomes e Moreira (1998)]. A figura 6 apresenta um fluxograma do funcionamento geral do método AHP.

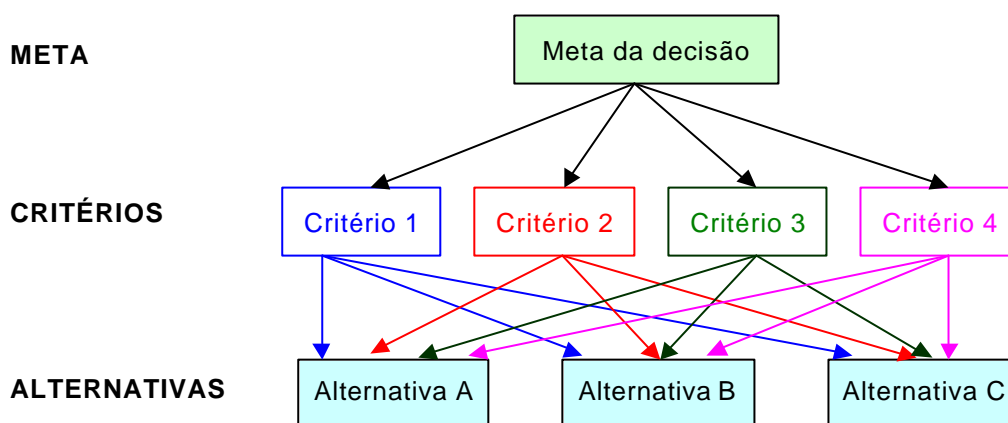


Figura 5 – Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão²³

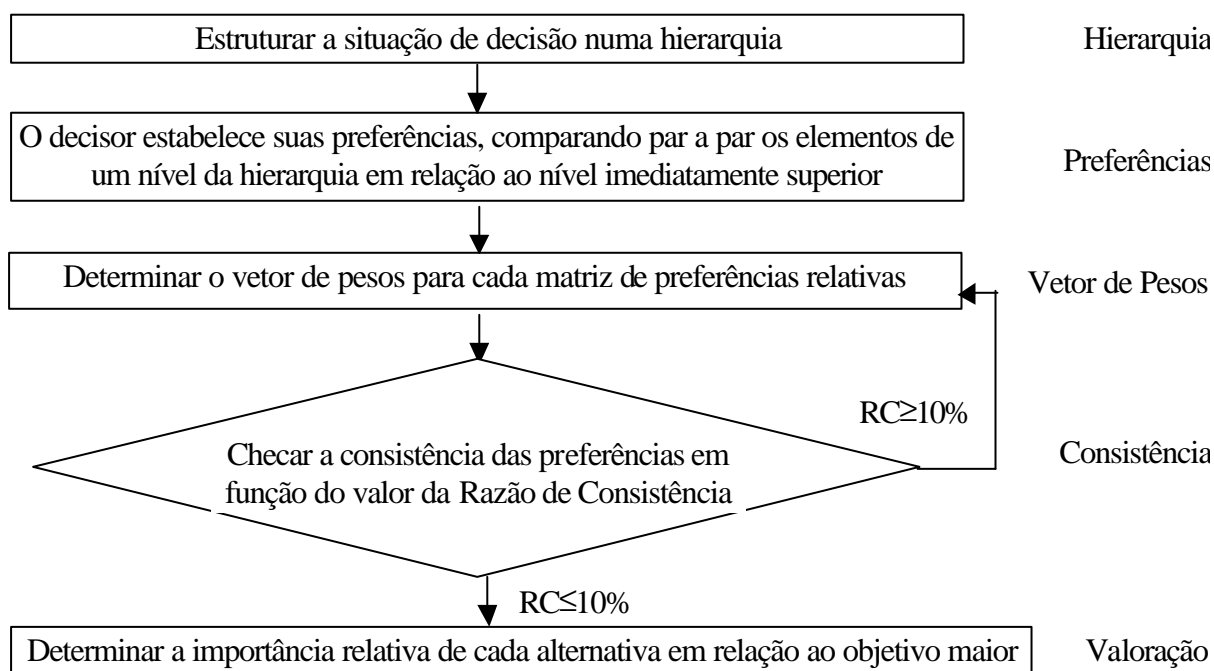


Figura 6 - Fluxograma Geral do AHP²⁴

²³ Fonte: Gartner (2001).

²⁴ Fonte: Schmidt (2003)

Este método reduz decisões complexas dentro de uma série de comparações simples (*Pairwise Comparisons*) entre elementos da hierarquia de decisão. Pela síntese dos resultados destas comparações, o AHP pode ajudar a chegar à melhor solução e prover uma clara razão para a escolha feita [Mendoza *et al.* (1999)]. Entretanto, Bana e Costa e Vansnick (2001) consideram que o método uma ferramenta de suporte à decisão problemática.

MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

O método MACBETH foi desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Jean Claude Vansnick em 1994. Ele constrói uma função critério de um ponto de vista fundamental e determina os parâmetros relacionados com a informação [Flament (1999)].

Trata-se de uma abordagem de análise multicritérios de decisão que requer somente julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor para ajudar um indivíduo ou um grupo quantificar a atratividade relativa das opções, como se observa na figura 7 [Bana e Costa, de Corte e Vansnick (2004); Bana e Costa e Chagas (2002)]. Ele mede o grau de preferência de um “decisor” sobre um conjunto de alternativas e, dessa forma, permite que se verifique inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a revisão. Sua maior vantagem, portanto, é interatividade [Fernandes (1996)].

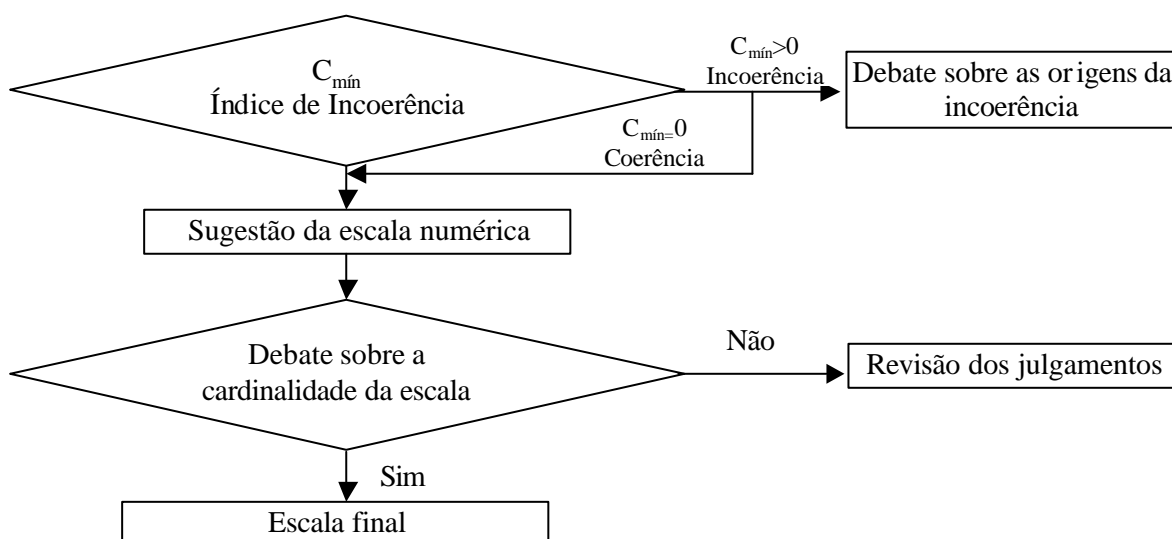


Figura 7 - Fluxograma do Processo Interativo do MACBETH²⁵

PROMETEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations

Os métodos PROMETHEE têm como objetivo proporcionar aos “decisores” um melhor entrosamento e entendimento da metodologia de apoio à decisão com a qual estarão

²⁵ Fonte: Schmidt (2003)

envolvidos [Gartner (2001)]. Ele atua na construção de relações de superação valorizadas, incorporando conceitos e parâmetros que possuem alguma interpretação física ou econômica facilmente compreensível pelo “decisor”.

Esta abordagem faz uso abundante do conceito de pseudocritério, já que constrói o grau de superação entre cada par de ações ordenadas levando em conta a diferença de pontuação que essas ações possuem a respeito de cada atributo [Flament (1999)].

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

ELECTRE - Elimination et Choix Traduisant la Réalité

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

Estes métodos foram desenvolvidos pela Escola Francesa e, atualmente contam com os procedimentos ELECTRE I, II, III IV, IS e ELECTRE TRI, que resolvem diferentes tipos de problemas suscitados no tratamento da teoria da decisão [Flament (1999)]. Estas técnicas podem ser aplicadas na solução de problemas de gestão de recursos hídricos, caracterizados por alternativas avaliadas por critérios preferencialmente qualitativos, com fixação prévia das preferências por parte dos decisores. Também são utilizadas para variáveis contínuas, sob critérios quantitativos, ou para situações mistas [Gonçalves (2001)].

Entretanto, Gartner (2001) adverte que os métodos ELECTRE envolvem conceitos complexos. Além disso, requerem muitos parâmetros para a construção dos limiares de discriminação, concordância e discordância.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: análise crítica dos Métodos Multicritérios

As abordagens multicritérios proporcionam uma melhor adaptação aos contextos decisórios encontrados na prática. Elas permitem que um grande número de dados, interações e objetivos sejam avaliados de forma integrada.

Este fato é apontado por Gartner (2001) como a maior vantagem dos MMAD em relação aos modelos monocritérios tradicionais, dos quais se destaca a análise custo benefício (ACB). Por outro lado, a maior desvantagem destas abordagens é a inexistência de uma metodologia única que supra as deficiências dos inerentes a cada um dos métodos.

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

Segundo Gartner (2001), os modelos multicritérios apresentados, são as abordagens mais desenvolvidas e exploradas cientificamente, além de apresentar a maior aplicação prática relatada. Torna-se necessário, portanto, selecionar o modelo adequado aos problemas complexos de decisão relacionados aos recursos hídricos, para que as preocupações dos principais atores sejam exploradas e que haja *trade-offs* entre objetivos conflitantes, levando à avaliação as opções de diferentes perspectivas [Beinat e Nijkamp (1998)].

BIBLIOGRAFIA

ABREU, L. M.; GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I.; BERNARDES, R. S. (2004). *Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP*. Disponível em: <www.agriamb.com.br/revista/v4n2/257.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2004.

BANA E COSTA, C. A.; CHAGAS, M. P. (2002). *A career choice problem: Na example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on quantitative value judgments*. London School of Economics and Political Science, Londres.

BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J.; VANSNICK, J. (2004). *On the mathematical foundations of MACBETH*. London School of Economics and Political Science, Londres.

BANA E COSTA, C. A.; SILVA, P. A.; CORREIA, F. N. (2003). *Multicriteria evaluation flood control measures: the case of Ribeira do Livramento*. London School of Economics and Political Science, Londres.

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. (2001). *A fundamental criticism to Saaty's use of the eigenvalue procedure to derive priorities*. London School of Economics and Political Science, Londres.

BEINAT, E.; NIJKAMP, P. (1998). *Multicriteria analysis for land-use management*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam. Disponível em: <www.inescc.pt/~ewgmcda/BeinatNijkampBook.html>. Acesso em: 07 nov. 2004.

DIAS, L.; MOUSSEAU, V.; FIGUEIRA, J.; CLIMACO, J. (2004). *An aggregation/disaggregation approach to obtain robust conclusions with ELECTRE TRI*. Disponível em: <www.lamsade.dauphine.fr/~mousseau/dias4tech00.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2004.

FERNANDES, C. H. (1996). *Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social – um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “MACBETH”*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta97/fernandes>. Acesso em: 03 nov. 2004.

FLAMENT, M. (1999). *Glossário multicritério*. Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicritério, Espanha. Disponível em: <www.unesco.org/red-m/glosariom.htm>. Acesso em: 19 nov. 2004.

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

GOMES, L. F. M.; MOREIRA, A. M. M. (1998). “*Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério*”. RECITEC, Recife, v. 2, n. 2, pp. 117 - 139. Disponível em: <www.fundaj.gov.br/rtec/res/res-001.html>. Acesso em: 06 nov. 2004.

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

HENING, M.; BUCHANAN, J. (2004). *Decision making by multiple criteria: a concept of solution*. Disponível em: <<http://www.mngt.waikato.ac.nz/depts/mnss/john/procon.htm>>. Acesso em: 06 nov. 2004.

KAHN, J. R. (2001). *Characteristics and criteria for environmental decision-making: implications for materials policy*. IMAAC/UNIDO, Rio de Janeiro. Disponível em: <w3.cetem.gov.br/imaac/reports.html>. Acesso em: 17 nov. 2004.

MARTINS, F. M. (1996). *Aplicação de metodologia multicritério de apoio à decisão na avaliação de políticas de gerenciamento em uma empresa orizícola*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis.

MENDOZA, G. A.; MACOUN, P.; PRABHU, R.; SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANTO, H. (1999). *Guidelines for applying multi-criteria analysis to de assessment of criteria and indicators*. Center for International Forestry Research, Jakarta. Disponível em: <www.cifor.cgiar.org/acm/methods/toolbox9.html>. Acesso em: 18 nov. 2004.

NOGUEIRA, J. M. (1999). *Manual de Economia do Meio Ambiente*. ECO-NEPAMA, Brasília.

NOGUEIRA, J. M.; PEREIRA, R. R. (1999). *Critérios e Análise Econômicos na Escolha de Políticas Ambientais*. ECO-NEPAMA, Brasília.

NORONHA, S. M. D. (1998). *Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta98/noronha>. Acesso em: 07 nov. 2004.

SCHMIDT, Â. M. A. (2003). *Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/disserta/engait95.html>. Acesso em: 06 nov. 2004.

SOARES, S. R. (2003). *Análise multicritério com instrumento de gestão ambiental*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. Disponível em: <www.ens.ufsc.br/~soares>. Acesso em: 13 nov. 2004.

SOUZA, F. C. B. (1999). *Sistema de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para disposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre*. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. Disponível em: <www.eps.ufsc.br/teses99/teses99.htm>. Acesso em: 06 nov. 2004.

STIRLING, A (1997). “Multi-Criteria Mapping. Mitigating the problems of environmental valuation?”, in *Valuing Nature? Ethics, economics and the environment*. Routledge, Londres e Nova York, pp.186 - 210.

TOPCU, I. (2004). *Analysing the problem*. (Aula em PowerPoint). Disponível em: <www.ilkertopcu.net>. Acesso em: 06 nov. 2004.