

A ANÁLISE MULTICRITERIAL NO APOIO À GESTÃO AMBIENTAL

RESUMO

Devido ao seu caráter multidisciplinar a gestão ambiental deve ser avaliada sob uma perspectiva sistêmica e integrada, considerando os aspectos ambientais, sociais, políticos, culturais de difícil inserção e comparação, aliados com os aspectos econômicos e técnicos facilmente quantificados. Para tanto, várias experiências têm sido realizadas através da utilização dos métodos de análise multicriterial que culminou no objetivo principal deste trabalho, que é apresentar o estado da arte das principais técnicas multicriteriais que poderão ser utilizadas numa possível tomada de decisão, permitindo assim, a inclusão, avaliação e mensuração de variáveis ambientais. Além disso, serão mostrados alguns trabalhos com a aplicação desses métodos nas diferentes áreas do conhecimento, agregando consequentemente, valor às informações que darão suporte na avaliação de projetos.

PALAVRAS-CHAVES: Gestão Ambiental; Análise Multicriterial; Tomada de Decisão.

MULTICRITERIAL ANALYSIS IN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SUPPORT

ABSTRACT

Because of its environmental management multidisciplinary should be assessed under a systemic and integrated approach, considering the environmental, social, political, cultural difficult to insert and comparison, together with the economic and technical aspects easily quantified. To this end, several experiments have been carried out through the use of multi-criteria analysis methods leading up to the main objective of this work, which is to present the state of the art main multicriteria techniques that can be used in a possible decision making, thus allowing the inclusion, evaluation and measurement of environmental variables. In addition, some works will be shown with the application of these methods in different areas of knowledge, adding thus value to information that will support the project evaluation.

KEYWORDS: Environmental Management; Multicriterial Analysis; Decision making.

Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.6, n.1, Dez 2014, Jan, Fev, Mar, Abr, Mai 2015.

ISSN 2179-6858

SECTION: *Articles*
TOPIC: *Gestão Ambiental*



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0012

Allan Sarmiento Vieira

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1584355117069605>
allan.sarmiento@ufcg.edu.br

Lilian Figueirôa Assis

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3237162355201563>
lilianfigueiroa@hotmail.com

Jônica Marques Coura Aragão

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8057600334095099>
jonicamca@gmail.com

Jardel de Freitas Soares

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7938280572677319>
jardel.freitas@ufcg.edu.br

Received: 24/01/2015

Approved: 14/10/2015

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Referencing this:

VIEIRA, A. S.; ASSIS, L. F.; ARAGAO, J. M. C.; SOARES, J. F.. A análise multicriterial no apoio à gestão ambiental. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Aquidabã, v.6, n.1, p.142-156, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0012>

INTRODUÇÃO

A gestão ambiental é definida como o processo de tomada de decisão de caráter multidisciplinar que visa ordenar, de forma positiva, as intervenções humanas, com o menor impacto possível, ou seja, deve retirar do meio ambiente apenas o que pode ser repostado; caso isto não seja possível deve, no mínimo, recuperar a degradação causada. A prática de gerenciar o meio ambiente é consequência da mudança de pensamento da sociedade quanto a utilizar os recursos naturais visando apenas vantagens econômicas. Esta mudança ocorreu quando foram consideradas no processo de tomada de decisões, variáveis explicitamente ambientais. Decisões relacionadas com o meio ambiente são complexas, pois buscam alcançar objetivos tangíveis ou intangíveis, envolvem aspectos essencialmente quantitativos ou eminentemente qualitativos e são cercadas por significativos interesses em conflito (BOAS, 2006).

O apoio à decisão é uma atividade que tem por base a utilização de modelos lógicos ou matemáticos na busca de resposta às questões de interesse da sociedade, através de expressão da preferência de determinada alternativa sobre outra. Desta forma, a análise multicriterial se torna uma ferramenta essencial no processo de tomada de decisão já que é utilizada em situações em que ocorrem várias opções para serem analisadas na busca da melhor alternativa.

Segundo Soares (2003), os resultados obtidos com a análise multicriterial vão depender do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, do peso atribuído a cada critério, do modelo utilizado, da organização dos critérios e da participação dos diferentes atores. Existem duas vantagens decisivas na utilização dos métodos multicriteriais na gestão ambiental, que são: a melhoria da transparência do processo de decisão e a definição, de forma mais precisa, da responsabilidade daquele que tem o poder da decisão. Dada a sua importância nos processos decisórios da gestão ambiental, o objetivo deste estudo é apresentar o estado da arte das principais metodologias da análise multicriterial que poderão ser utilizadas na consolidação da qualidade das informações, principalmente no contexto ambiental, já que os processos necessitam ser avaliados e mensurados.

METODOLOGIA

De acordo com a proposta desta pesquisa, os procedimentos técnicos são classificados como documental, já que foram utilizados periódicos, livros, visando encontrar as definições, técnicas e a evolução dos modelos de simulação. De acordo com Silva Junior et al. (2009), a pesquisa documental é um instrumento que aplica métodos e técnicas com o objetivo de executar, entender e verificar os mais variados tipos de documentos que não receberam ainda uma abordagem analítica.

O objetivo desta pesquisa é enquadrado como qualitativa, já que foram descritos os principais métodos de análise multicriterial. A pesquisa documental orientou nas seguintes

sistemáticas: definição do período, seleção de teses, revistas, artigos de eventos, descrição das técnicas matemáticas e multicriterial (SILVA & DYNNIKOV, 2014).

RESULTADOS

Processo de Tomada De Decisão

Para Soares (2003) o que define o processo de tomada de decisão é o melhor acordo entre as expectativas do decisor e suas disponibilidades em adotá-las, considerando-se os objetivos do problema. Conforme Boas (2005), os atores do processo de tomada de decisão são identificados como facilitadores e decisores, em que o primeiro tem a função de esclarecer o processo de avaliação ou negociação e construir um modelo que inclua os pontos de vista dos atores e seus juízos de valores, enquanto os decisores têm a função de decidir e intervir no processo e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação.

Santos (2009) comenta que a tomada de decisão envolvendo problemas do meio ambiente é bastante complexa devido à qualidade das informações disponíveis, aos vários decisores envolvidos no processo; à inclusão de vários critérios a serem analisados e à importância relativa desses critérios na visão dos decisores. Santos et al. (2006) referenciam as ferramentas multicriteriais, como uma característica auxiliar, onde a utilização de modelos para a obtenção de respostas relativas às indagações são apresentadas a um inventor no processo de decisão.

Schmidt (1995) estabelece que tais abordagens são baseadas no princípio de que a experiência e o conhecimento das pessoas são, pelo menos, tão valiosos quanto os dados utilizados para a tomada de decisão. Com isto, para Boas (2006) a complexidade da tomada de decisão requer um tratamento qualificado e justifica a utilização de métodos de apoio à decisão, dentre os quais se destacam os Métodos Multicriteriais de Análise de Decisão ou Métodos Multicriteriais de Apoio à Decisão (MMAD).

Análise Multicriterial

Segundo Gonçalves et al. (2003), os métodos de análise multicriterial evoluíram a partir de 1960, quando surgiram inúmeras escolas com diferentes técnicas e metodologias para serem utilizadas no auxílio da tomada de decisão. O desenvolvimento das metodologias de análise multicriterial apresentou um crescimento significativo na forma de duas escolas: a Escola Americana, responsável pelas metodologias multicriteriais, que segue a corrente do pensamento racionalista, e a Escola Europeia, que desenvolveu metodologias de apoio à decisão, com base no construtivismo. Para Ensslin (2002), a diferença entre as duas linhas de pensamento é caracterizada pelos seguintes aspectos: Pela postura, quanto ao reconhecimento ou não; Pelos limites da objetividade nos processos decisórios; Através da atitude do facilitador ao conduzir o processo, e; Quanto ao enfoque para o qual o processo é encaminhado.

Segundo Santos (2009), as duas escolas procuram gerar modelos que ajudem no processo de tomada de uma decisão mais adequada e considere outros aspectos que não seja só o aspecto econômico. Os métodos para análise multicriterial avaliam um conjunto de critérios em que cada um deles pertence a uma função matemática que, por sua vez, mede o desempenho das alternativas com relação a determinado aspecto (RAMOS, 2005).

Em muitos casos, esta função considera as preferências que representam o pensamento do decisor, podendo ser ela matematicamente representada e resolvida através de três técnicas distintas (ZUFFO, 1998): Técnicas que geram o conjunto das soluções não dominadas: não consideram as preferências do decisor, mas se baseiam apenas nas restrições físicas do problema. O conjunto das soluções não dominadas é estabelecido pelo analista com base exclusiva nas restrições físicas do problema e para um máximo de três objetivos. No caso de mais de três objetivos, torna-se duvidoso para o analista, o estabelecimento das relações de troca entre objetivos. Zuffo (1998) cita algumas dessas técnicas: Método das Ponderações ou das Restrições; Método Multi objetivo Linear; Métodos dos Pesos; Método de Estimação do Conjunto não dominado NISE (No-Inferior Set Estimation); e Método Simplex de Zeleny, entre outros. Técnicas que incorporam preferências do decisor: Segundo Zuffo (1998) este tipo de técnica capta progressivamente as preferências do decisor oferecendo uma sequência de soluções que convergem para a solução final; algumas dessas técnicas são: Método da Programação por Metas; Método ELECTRE I, método PROMETHEE (BRANS & VINCKE, 1985); Método do Valor Substituto de Troca; Método da Matriz de Prioridades; Método da Análise-Q; Método da Função Multidimensional; Método de Negociação dos Valores Candidatos e Método de Zionts – Wallenius, entre outros. Técnicas que utilizam uma articulação progressiva das preferências: De acordo com Zuffo (1998), nesta técnica o analista e o decisor interagem progressivamente ao longo do processo decisório; trabalham com uma função dinâmica de valor e param ao atingir uma situação em que o decisor está satisfeito com a solução encontrada; várias dessas técnicas são: Método dos Passos; Método da Programação por Compromisso e Ponderação dos Critérios a Priori.

Pardalos et al. (1995) propõem uma classificação para métodos multicriteriais em quatro classes distintas: Programação Matemática Multiobjetivo: em que as metodologias desenvolvidas com esta técnica surgiram para superar dificuldades criadas por um conjunto de soluções não dominadas. A solução ideal ou ótima é obtida a partir de cada função objetivo sujeita a restrições não dominadas, o que criarão uma região viável; Teoria da Utilidade Multiatributo: aqui, os métodos consistem em modelar a preferência do tomador de decisão através de uma função de valor, considerando-se as certezas; às vezes, podem representar as incertezas do decisor através da função utilidade de decomposição, que é baseada no julgamento direto dos critérios de valores; Relações das aproximações hierárquicas (outranking): essas ferramentas de auxílio à tomada de decisão são bastante utilizadas pela Escola Europeia por não incluir, em sua modelagem, as preferências do decisor, as quais são representadas através da função; Métodos baseados na desagregação de preferências: os métodos desta família analisam todas as preferências do tomador de decisão, de forma individual ou grupal, através da Teoria da Utilidade

Multi atributo; já com relação às alternativas, podem ser analisadas através de comparações por pares, hierarquização, aproximações e até regressões; Métodos baseados na desagregação de preferências: Julga-se relevante considerar, se possível, todas as variáveis envolvidas, conduzir as diversas opiniões dos decisores, de forma que o consenso seja alcançado, definir o contexto decisório, determinar e ordenar os objetivos dos decisores, além de definir os impactos das alternativas nos objetivos. Os referidos métodos agregam valor substancial à informação, pois dão clareza e transparência ao processo de tomada de decisão (BOAS, 2005).

Principais Métodos Multicriterial

De acordo com Santos (2009), os primeiros métodos para o apoio à decisão surgiram em conjunto com a pesquisa operacional e foram impulsionados na Segunda Guerra Mundial. Roy (1985) considera que esta busca serviu de estímulo para a criação de novos métodos. Os principais tipos conforme Zuffo (1998) são os seguintes:

Métodos ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant La Réalité*): esta família é baseada nas relações hierárquicas, em que se utilizam os conceitos de concordância, discordância, valores limites (*outranking*) e intervalos de escala, na comparação das alternativas aos pares e é constituída por: ELECTRE I. Neste método se faz uso de critérios e pesos fornecidos para a construção de uma “matriz de concordância” e, também, das diferenças entre cada par do sistema de valores, das alternativas para a construção de uma “matriz de discordância”. É designado para problemas de escolha e a eliminação é sequencial; ELECTRE II. Ajuda a hierarquizar as ações da ‘melhor’ para a ‘pior’. Utiliza critérios de pesos e possibilita fazer uma pré-ordenação antes de se obter a ordenação completa; ELECTRE III. A ordenação de propriedades é feita comparando-se os pseudocritérios e utilizam relações hierárquicas nebulosas (Fuzzy). Três aspectos são considerados: de aceitação, de rejeição e/ou estimando a credibilidade da informação; ELECTRE IV. Está baseada nas considerações de uma família de pseudo-critérios e ajuda a hierarquização das ações, mas sem introduzir qualquer critério de pesos; ELECTRE IS. É uma generalização do ELECTRE I, que é capaz de usar pseudo-critérios (critérios com limitações) e de avaliar uma série finita de alternativas com relação a um conjunto de critérios consistentes.

Método PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*): Os métodos da família PROMETHEE têm como objetivo proporcionar aos ‘decisores’, através de funções de preferência, um entrosamento melhor e entendimento da metodologia de apoio à decisão e do problema com o qual estão envolvidos (Gartner, 2001). Zuffo (1998) cita os principais tipos: PROMETHEE I. Este método faz uma ordenação parcial de alternativas com o uso de dois fluxos de hierarquização, isto é, um positivo que mostra como a alternativa *m* se sobressai sobre as outras, e o outro negativo, indicando como a alternativa *m* é sobrepujada por outras. É muito semelhante ao índice de concordância do método ELECTRE III; PROMETHEE II. O método consiste em hierarquizar as ações seguindo uma ordem decrescente; generaliza o conceito de qualificação, não há ‘incomparabilidades’ e a ordenação das ações é completa e

única; PROMETHEE III. Este método considera intervalos ao invés de fluxos, para enfatizar a regra de indiferença na hierarquização; ele fornece uma ordenação ou, mais geralmente, intervalos ordenados sobre uma série finita de ações; PROMETHEE IV. Este método resolve um problema de escolha através de uma série infinita de ações e utiliza as mesmas relações de hierarquização que o PROMETHEE III, mas os fluxos são definidos sobre uma subsérie compacta de R^n ; PROMETHEE V. Permite a incorporação de um número de restrições para as alternativas; o problema é diferente: várias alternativas têm que ser selecionadas e verificadas a partir de uma quantidade de restrições existentes; após a hierarquização, alguns critérios são otimizados somente para as melhores alternativas.

Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchic Process*, AHP). Pertence à família baseada na Teoria da Utilidade Multiatributo. Este método decompõe o problema em níveis hierárquicos, determina uma medida global para cada alternativa através da síntese dos valores dos agentes de decisão (matriz tecnológica), classificando-as ou priorizando-as. O AHP é uma ferramenta muito útil na hierarquia dos princípios e critérios. Ele aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema dentro de uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica (Mendoza et al., 1999).

Método multicriterial MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), constrói uma função critério 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 a quantificar a atratividade relativa das opções (Costa et al., 2004). Ele mede o grau de preferência de um 'decisor' sobre um conjunto de alternativas e, desta forma, permite que se verifique inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a revisão das preferências. Sua maior vantagem é, portanto, a interatividade (Bana et al., 2004; Fernandes, 1996).

O Método Multicriterial *VIP Analysis (Variable Interdependent Parameters)* foi proposto por Dias; Clímaco (2000) e possui tendências da classe da Teoria da Utilidade Multiatributo e da programação multiobjetivo. Este software permite auxiliar os tomadores de decisão a encontrarem as alternativas preferidas por meio da construção de uma função de valor aditiva. O método *VIP Analysis* visa apoiar a seleção de uma alternativa entre uma lista, em termos dos desempenhos das alternativas em relação aos múltiplos critérios de avaliação. O método se baseia no modelo de agregação aditiva (função de valor aditivo), aceitando informação imprecisa acerca da importância de cada critério; esta importância se reflete no valor dos parâmetros do modelo, indicados por coeficientes de escala (ou constantes de escala), embora de forma indireta e indissociável das funções de valor parcial (unicritério).

Utilização dos Métodos Multicriterial

Apresentam-se, a seguir, algumas pesquisas realizadas fazendo-se uso de métodos de análise multicriterial. Braga et al. (2002) citaram o método ELECTRE I na análise da bacia do Rio

Tisza, na Hungria. Keeney e Woody (1977) utilizaram o método da função utilidade com a mesma finalidade de avaliação da bacia deste rio. Duckstein e Opricovic (1980) foram mais abrangentes e utilizaram a programação de compromisso para auxiliar na implementação de quatro alternativas de recursos hídricos, na bacia do Rio Tisza, ao avaliarem os seguintes critérios: o custo total, a probabilidade de escassez, qualidade da água, fator de reuso de energia e a proteção de cheias.

Braga et al. (2002) utilizaram os métodos ELECTRE I e II na análise de estratégias para o desenvolvimento da bacia do Rio Santa Cruz do Arizona, nos Estados Unidos. Brans e Vincke (1985) aplicaram o método PROMETHEE para escolher o melhor local para a construção de uma nova usina hidrelétrica na Europa; dentre as alternativas se encontram seis países, e foram considerados os seguintes critérios: minimização da mão-de-obra na operação, maximização de energia produzida, minimização do custo de manutenção e do número de povoados, além da maximização do nível de segurança.

Aregai et al. (1988) compararam as metodologias da Programação por Compromisso, o ELECTRE I e a Teoria dos Jogos Cooperativos na avaliação do sistema de tratamento de esgoto no Arizona. Braga et al. (1991) pesquisaram inúmeras alternativas para avaliação do aproveitamento do sistema hidroelétrico na bacia do Rio Doce usando o método da Matriz de avaliação. Já Netto et al. (1993) utilizaram técnicas de análise multicriterial com o objetivo de simular o processo decisório na escolha de uma solução para mobilização a fim de estabelecer garantias de novas reservas de água em uma área da região sudoeste da França. Os autores avaliaram a pertinência das técnicas adotadas através dos resultados obtidos.

Gobbetti e Barros (1993) analisaram quatro métodos diferentes de análise multicriterial: Programação de compromisso, função utilidade multidimensional ELECTRE e PROMETHEE e os aplicaram ao problema de revisão do Plano Diretor de Esgotos da região Metropolitana de São Paulo e concluíram que as diferentes técnicas apresentaram resultados consistentes.

O trabalho de Teixeira e Barbosa (1995) trata da avaliação multicriterial de alternativas de projeto da barragem do Castanhão, no Rio Jaguaribe, região do nordeste brasileiro. Já Mahmoud; Garcia (2000) conduziram um estudo de escolha de alternativas da migração dos peixes na represa Red Bluff Diversion Dam, ao longo do Rio Sacramento, na Califórnia, Estados Unidos, através de vários métodos de análise multicriterial como o PROMETHEE II, o ELECTRE II, e o AHP, além de outros. Matzenauer e Jardim (2001) fizeram um estudo comparativo das metodologias da Escola Americana e da Escola Europeia, com o objetivo de esclarecer questões relativas à sua utilização na gestão dos recursos hídricos e concluíram que as duas metodologias devem ser utilizadas dentro de um contexto específico.

Zuffo et al. (2002) avaliaram os resultados dos métodos ELECTRE II, PROMETHEE, Programação por Compromisso (CP), Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT) e o método Analítico Hierárquico (AHP), utilizados no planejamento para reabilitação, expansão e conservação do sistema produtor de água potável da Bacia do Baixo Cotia, localizada na Região Metropolitana de São Paulo. Na aplicação dos métodos multicriteriais foram incorporadas características ambientais, sociais, econômicas e técnicas, e adotados vinte critérios e nove diferentes

alternativas para o estudo do problema, em que os métodos utilizados apresentaram resultados satisfatórios.

Zuffo *et al.* (2002) aplicaram o método ELECTRE II ao planejamento de recursos hídricos e sugeriram duas propostas de alteração aplicadas a quatro cenários definidos a partir de um estudo de caso realizado na Bacia do rio Cotia, São Paulo, e concluíram que o ELECTRE II pode mostrar-se eficiente em estudos que envolvam múltiplos critérios. Gonçalves *et al.* (2003) aplicaram os métodos multicritérios Programação de Compromisso e ELECTRE I, com o intuito de escolher a vazão a ser liberada em determinados períodos dos diversos reservatórios de água da bacia hidrográfica do Rio Curu, no Estado do Ceará. Para a definição das alternativas foram levados em conta vários fatores quantitativos (área irrigada, retorno financeiro) e subjetivos (aspectos sociais e políticos).

Jardim e Lanna (2003) usaram e compararam as técnicas de análise multicriterial da Programação de Compromisso, ELECTRE I e II, e Analítico Hierárquico (AHP) em um estudo de caso, para suporte à decisão em um Comitê de Gerenciamento, cujo objetivo estratégico foi o desenvolvimento sustentável em uma Bacia Hidrográfica. Na avaliação desenvolvida consideram-se a participação de múltiplos decisores, a questão da subjetividade e o reconhecimento da incerteza como inerente ao processo.

Francato e Barbosa (2003) realizaram uma análise multiobjetivo e avaliaram as relações de interdependência entre dois objetivos operacionais conflitantes no setor adutor metropolitano do serviço de abastecimento da Grande São Paulo. Pompermayer (2003) aplicou a análise multicritério em gestão de recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, no Estado de São Paulo, com o objetivo de formular procedimento multicritério como instrumento de auxílio à tomada de decisão na gestão de recursos hídricos e a simulação do seu uso em uma bacia hidrográfica. Selecionaram-se, neste estudo, vinte indicadores de sustentabilidade e o método multicritério ELECTRE III; os resultados obtidos indicaram que o grau de preferência por determinada intervenção varia significativamente entre bacias e pode ser uma informação importante na implementação de um plano de ação ou programa de investimento.

Barcellos *et al.* (2003) também utilizaram a metodologia multiobjetivo para definir o volume de água de um reservatório de uso múltiplo a ser distribuído para cada usuário. A bacia estudada foi a do Rio Gortuba, em Minas Gerais. Os critérios de avaliação das alternativas foram definidos pela composição da opinião de diversos grupos de decisores e foram os seguintes: distritos de irrigação, decisor político municipal, irrigantes localizados na jusante da barragem do Bico da Pedra, órgãos ambientais e Companhia do Vale do Rio São Francisco. Santos (2004) utilizou o Método PROMETHEE na análise de construção de obras hidráulicas visando à ampliação da oferta hídrica na bacia hidrográfica do Rio Gramame, no Estado da Paraíba. Consideram-se aspectos econômicos, sociais e ambientais e se adotaram cinco alternativas e dezoito critérios para a solução do problema. O método mostrou-se adequado para a resolução do problema e forneceu a classificação das alternativas do ponto de vista de todos os critérios, através de níveis hierárquicos.

Castro et al. (2004) usaram e verificaram indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana, através dos métodos da Programação de Compromissos e ELECTRE III. Em áreas cujos projetos de drenagem estavam incluídos sistemas clássicos, intermediários e alternativos, os autores constataram que os sistemas dotados de técnicas alternativas apresentam melhor performance ao se incluírem, na análise, os aspectos ambientais, sanitários e sociais, além dos aspectos hidráulicos e hidrológicos comumente empregados. Ramos (2005) formulou um modelo multicritério utilizando uma abordagem construtivista, para avaliar potenciais candidatos a receberem a outorga de uso da água na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Sul no Rio Grande do Sul e concluiu que o modelo construído pode dar suporte à tomada de decisão pelo poder público em relação às solicitações de outorga de uso da água da bacia.

Bilich et al. (2005) utilizaram o método VIP Analysis na avaliação e otimização da flexibilidade da inteligência competitiva das Empresas. Já Almeida et al. (2007), aplicaram o software VIP Analysis para seleção direta de uma ferramenta computacional de apoio à decisão, buscando selecionar a mais adequada aos propósitos da organização e que lhe proporcione maior retorno; a análise buscou identificar o melhor investimento.

Hill et al. (2005) analisaram métodos multicriteriais baseados no processo hierárquico analítico e seu papel se baseia em avaliação quantitativa dos dados espaciais geográficos. Enquanto que Mysiak et al. (2005) descrevem uma metodologia de suporte à decisão que trata da complexidade dos problemas ambientais. A ferramenta idealizada propõe uma integração entre os modelos ambientais com procedimentos de avaliação multicriterial. Santos et al. (2006) utilizaram o método de análise multicriterial ELECTRE III, cujo objetivo foi hierarquizar medidas de conservação de água em um edifício padrão, em Curitiba, Paraná.

Medeiros et al. (2006) utilizaram o método multicriterial PROMETHEE como ferramenta no apoio ao processo decisório de alocação de águas para o rio São Francisco e constataram que a utilização desta técnica pode contribuir para o apoio à decisão. Já Mello et al. (2007) avaliaram o potencial e integraram as metodologias MACBETH e VIP Analysis com o objetivo de facilitar o processo de decisão e conduzir os processos a resultados satisfatórios. Boas (2007) utilizou o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) no estudo dos usos múltiplos do reservatório Ribeirão João Leite, em Goiás, e obteve uma lista ordenada das alternativas de uso múltiplo possíveis de serem implantadas no reservatório. A geração de energia elétrica foi a alternativa preferida; ele constatou, também, que o método AHP é flexível e capacita os decisores a se adequarem às constantes mudanças, que são típicas de problemas complexos e dinâmicos, e facilita a análise e a sintetização das informações. O método atribui, em sua análise, o mesmo grau de importância, tanto aos elementos subjetivos quanto aos elementos objetivos.

Barbosa (2009) utilizou o método PROMETHEE e analisou a influência que o uso de métodos multicriteriais tem no procedimento da concessão de outorga de uso da água visando auxiliar na tomada de decisão na escolha da melhor ordem de prioridades de atendimento às demandas hídricas do Sistema Curema - Mãe D'Água. Pereira et al. (2008) aplicaram a análise multicriterial com o propósito de entender o desenvolvimento social na agricultura. A abordagem

foi elaborada utilizando-se aspectos de inclusão social a fim de garantir que todo o processo considere a figura do agricultor. Utilizaram-se dois métodos de apoio à decisão multicritério, MACBETH e VIP Analysis, para seleção da melhor alternativa capaz de viabilizar a promoção do desenvolvimento sustentável na região.

Silvino (2008) utilizou vários métodos multicriteriais hierárquicos na avaliação da alocação de água no Sistema Hídrico Coremas-Açu. Enquanto que Santos (2009) avaliou, através das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial, as diversas intervenções hidráulicas ocorridas e previstas na bacia do Rio Gramame, no Estado da Paraíba.

Vantagens e Desvantagens da Aplicação dos Métodos de Análise Multicriterial

Segundo Noronha (1998), as abordagens multicriteriais apresentam vantagens quanto à construção de uma base para o diálogo entre consultores e tomadores de decisão que utilizam diversos pontos de vista, como: interpretar alternativas, individualmente ou de forma agregada com o estabelecimento de um acordo entre objetivos e a definição do processo de construção do modelo, em duas fases distintas (construção dos critérios de avaliação e definição dos parâmetros para agregação desses critérios para auxiliar a decisão). Alguns métodos possuem, ainda, facilidade em inserir incertezas aos dados sobre cada critério

Mendoza et al. (1999) relacionaram outra vantagem importantíssima desses métodos, ou seja, poder gerar uma decisão com consenso geral em um grupo multidisciplinar participante da tomada de decisão. Para Soares (2003), os métodos de análise multicriterial apresentam duas vantagens claras: definir e evidenciar a responsabilidade do decisor e melhorar a transparência no processo de tomada de decisão. Souza et al. (2006) apontam, como vantagens dos métodos multicritérios, a capacidade de refletir melhor os objetivos, analisar as particularidades de cada alternativa, quantificar custos implícitos que não são traduzidos na análise custo-benefício e estabelecer uma lista de propriedades e, como desvantagens do uso desta ferramenta, eles apontam a necessidade de um grande número de informações para cada alternativa avaliada. Os autores ressaltam, ainda, o fato dos resultados dependerem dos critérios avaliados, da sua aplicabilidade e dos agentes decisores, o que pode tornar a análise mais subjetiva.

Medeiros et al. (2006) apontam que as vantagens do método PROMETHEE se dá por se considerar as regras de dominância; apresenta matemática simples, com lógica pouco mais complexa que a matriz de ponderações e permite opções de relacionamento entre as alternativas, através das funções de preferência. Wernke e Bornia (2001) descrevem as desvantagens do método PROMETHEE como: idêntico ao método da Matriz de Ponderações, pois há necessidade de transformar critérios qualitativos em valores, entretanto a grande variedade de funções pode possibilitar, com algum grau de habilidade, a transformação de uma avaliação qualitativa em um valor e na análise de sensibilidade. A mudança de pontuação final derivada da alteração de uma hipótese que pode não ser, adequadamente, percebida pelo decisor.

Wernke e Borna (2001) apontam que a principal vantagem do método AHP é a possibilidade de comparações relativas sem necessidade de escala absoluta para um critério, facilitando o processo de julgamento de critérios qualitativos; como desvantagem, exige operações matriciais e um consequente conhecimento de Álgebra Linear. O somatório final para a alternativa é um número cuja alteração, numa análise de sensibilidade, pode não ser adequadamente percebida.

Casarotto Filho e Kopittke (2007) afirmam que os métodos Promethee e AHP apresentam desvantagens de ordenações finais por serem expressas por um número, o que talvez não permita, ao decisor, captar a sutileza de pequenas variações ocasionadas por mudança de hipótese de um cenário. A vantagem MACBETH se deve ao fato de que o método se baseie no julgamento comparativo dos tomadores de decisão entre diversos critérios e alternativas, permitindo a expressão de suas preferências, de forma qualitativa. O software especializado trabalha com a atribuição de pesos para cada critério julgado. As desvantagens são apresentadas em alguns softwares que não conseguem gerar resultados compatíveis com as comparações realizadas e sugere uma variação no julgamento, até que se aproximem do resultado. A outra desvantagem é a possibilidade de se tornar um método cansativo caso haja necessidade de um grande número de comparações (BANA et al., 2004).

Uma das desvantagens apresentadas pelo método da família ELECTRE é utilizar, de forma arbitrária, os limites estabelecidos para as preferências e indiferenças, necessários para avaliar as performances das alternativas; contudo, a grande dificuldade dos métodos do tipo 'outranking', representados pela família ELECTRE, reside, fundamentalmente, na atribuição dos valores numéricos para os limiares e coeficientes de importância, dos critérios envolvidos em um problema de decisão multicritério (LOPES, 2008). Segundo Gartner (2001) a grande vantagem da família ELECTRE é que este método consiste em agregar os critérios numa relação binária parcial (relação 'outranking') mais completa do que uma relação de dominância; desta maneira, o princípio da abordagem outranking é trabalhar sobre o conjunto de pares de decisões, ao invés de um conjunto de decisões. As principais vantagens do método VIP *Analysis* com relação aos outros métodos multicriteriais, é permitir trabalhar com vários decisores (multidecisores) e considerar as incertezas dos pesos. Uma desvantagem do método é a complexidade de utilização da metodologia (SILVINO, 2008).

CONCLUSÕES

Ao final dessas análises e do estabelecimento do estado da arte, fica claro que os métodos de análise multicriteriais são de suma importância no processo de tomada de decisão na gestão ambiental, haja vista terem a capacidade de lidar com aspectos de caráter multidisciplinar e conseguir agregar um valor substancial de informações, permitindo analisar cenários complexos em relação aos aspectos quantitativos e qualitativos.

Contudo, com a apresentação de vários métodos multicriteriais, os avaliadores ficam à vontade para escolher o método mais adequado para a gestão ambiental com o intuito de maximizar os benefícios oriundos dos processos decisórios, assim como, minimizar os possíveis conflitos da sociedade moderna.

REFERÊNCIA

- ALMEIDA, M. M.; SALIM, F. C.; MENDONÇA, A. S. F.. Sistema de suporte à decisão para outorga de lançamento de efluentes e enquadramento, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 17. **Anais**. São Paulo, 2007.
- AREGAI, T.; FOGEL, M. M.; DUCKSTEIN, L.. Multicriterion selection of waste water management alternatives. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.14, n.4, p.383-398, 1988.
- BANA E COSTA, C.. Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. **Investigação Operacional**, v.8, n.1, p.117-139, 1998.
- BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J.; VANSNICK, J.. **On the mathematical foundations of Macbeth**, Londres: London School of Economics and Political Science, 2004.
- BARBOSA, R. L. **Outorga hídrica sob a ótica da análise multicriterial**. Estudo de Caso: Reservatório Coremas-Mãe D'água (PB). Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- BARCELLOS, L. O.; NETTO, O. M. C.; CAMPANA, N. A.. Definição de Regras Operativas de Reservatórios com Usos Múltiplos: O Caso da Barragem do Bico da Pedra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 9. **Anais**. Curitiba, 2003.
- BILICH, F.; SILVA, R.; RAMOS, P.. “Análise e Otimização de Inteligência Empresarial”. **Jornal Internacional de Negócios e Sustentabilidade**, v.1, n.3, p.1-22, 2005.
- BOAS, C. L. V.. Análise da aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 16. **Anais**. João Pessoa, 2005.
- BOAS, C. L. V.. Uso múltiplo de reservatórios. In: SEMINÁRIO DA ENGENHARIA COMEMORATIVO AO DIA MUNDIAL DA ÁGUA. **Anais**. Goiânia: Clube de Engenharia, 2006.
- BOAS, C. L. V.. Modelo multicriterial para análise de alternativas de uso múltiplo de reservatórios: estudo de caso do reservatório do Ribeirão João Leite (GO). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 17. **Anais**. São Paulo, 2007.
- BRAGA, B. P. F.; MARCELLINI, L.; BARROS, M. T. L.; ALMEIDA, S. B.. Análise de decisão multiobjetivo: o caso do Vale do Rio Doce. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 4. **Anais**. Porto Alegre, 1991.
- BRAGA JR., B. P. F.; GOBETTI, L.. Análise Multiobjetivo - In: PORTO, R. L.. **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2 ed. Porto Alegre : Editora UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2002.
- BRANS, J. P.; VINCKE, P.. A Preference Ranking Organization Method. **Journal Management Science**, v.31, n.6, p.647-656, 1985.
- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B.; HARTMUT.. **Análise de investimentos**. 10 ed. São Paulo : Editora Atlas, 2007.
- CASTRO, L. M. A.; BAPTISTA, M. B.; NETTO, O. M. C.. Análise multicritério para a avaliação de sistemas de drenagem urbana – Proposição de indicadores e de sistemática de estudo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.9, n.4, p.05-19, 2004.

COSTA, C. A. B.; CORTE, J.; VANSNICK, J.. **On the mathematical foundations of MACBETH**. Londres: London School of Economics and Political Science, 2004.

DIAS, L.C.; CLÍMACO, J. N.. Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software. **Journal of Operational Research Society**, v.51, n.9, p.1070-1082, 2000.

DUCKSTEIN, L.; OPRICOVIC, S.. Multiobjective Optimization in River Basin Development. **Journal Water Resources Research**, v.16, n.1, p.14-20, 1980.

ENSSLIN, S. R.. **A Incorporação da Perspectiva Sistêmico-Sinérgica na Metodologia MCDA-Construtivista**: uma ilustração de implementação. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FERNANDES, C. H.. **Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social**: um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “Macbeth”. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

FLAMENT, M.. **Glossário multicritério**. Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicritério. Madrid: UNESCO, 1999.

FRANCATO, A. L.; BARBOSA, P. S. F.. Soluções de compromisso na tomada de decisão sobre a operação diária de sistemas urbanos de abastecimento de água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 9. **Anais**. Curitiba, 2003.

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

GOBBETTI, L. E. C.; BARROS, M. T. L.. Análise Multiobjetivo Aplicada ao Planejamento de Sistemas de Recursos Hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 5. **Anais**. Porto Alegre: ABRH, 1993.

GONÇALVES, R. W.; PINHEIRO, P. R.; FREITAS, M. A. S.. Métodos Multicritérios como Auxílio à Tomada de Decisão na Bacia Hidrográfica do rio Curu (CE). In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 9. **Anais**. Curitiba, 2003.

HILL, M. J.; BRAATEN, R.; VEITCH, S. M., LEES, B. G.; SHARMA, S.. Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the Assess analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis. **Environmental Modelling & Software**, v.20, n.1, p.955-976; 2005.

JARDIM, S. B.; LANNA, A. E.. Aplicabilidade de Algumas Técnicas de Análise Multiobjetivo ao Processo Decisório no Âmbito de Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.4, p.169-191, 2003.

KEENEY, R.; WOODY, E. F.. An illustrative example of the use of multiattribute utility theory for water resource planning. **Journal Water Resource Research**, v.13, n.3, p.1-20, 1977.

LOPES, C. L.. **A escolha de um Custodiante para uma Administradora Financeira**: análise multiatributo por medições conjuntas e trocas justas. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Administração) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008.

MAHMOUD, M. R.; GARCIA, L. A.. Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam. **Environmental Modelling & Software**, v.15, n.2, p.471-478, 2000.

MATZENAUER, H. B.; JARDIM, S. B.. Estudo comparativo das metodologias MCDM e MCDA na gestão dos recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS/V SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA. 14. **Anais**. Aracaju: Associação Brasileira de Recursos Hídricos/Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2001.

MEDEIROS, Y. D. P.; CIDREIRA, T. S.; FARIA, A. S.; SRDJEVIC, B.; NETTO, O. C.; SOUZA, M. A. A.. Processo Decisório de Alocação de Águas Utilizando Análise Multicritério: caso da Bacia do rio São Francisco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. 8. **Anais**. Gravata, 2006.

MENDOZA, G. A.; MACOUN, P.; PRABHU, R.; SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANTO, H.. **Guidelines for applying multi-criteria analysis to de assessment of criteria and indicators**. Jacarta: Center for International Forestry Research, 1999.

MELLO, S. J. C. C. B.; CHAVES, M. C. C.; BARROS, T. D.. Um Estudo Preliminar da Integração de Dois Métodos de Apoio a Decisão Multicritério: VIP Analysis e MacBeth. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. 34. **Anais**. Fortaleza, 2007.

MYSIAK, J.; GIUPPONI, C.; ROSATO, P.. Towards the development of a decision support system for water resource management. **Environmental Modelling & Software**, v.20, n.2, p.203-214; 2005.

NETTO, O. M. C.; PARENT, E.; DUCKSTEIN, L.. Métodos multicritério aplicados ao planejamento de Recursos Hídricos: O caso da escolha de um sítio de barragem de regularização no sudoeste da França. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 10. **Anais**. Porto Alegre: ABRH, 1993.

NORONHA, S. M. D.. **Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

PARDALOS, P. M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C.. Advances in multicriteria analysis, Non-Convex optimization and its application. **Kluwer Academic Publishers**, Netherlands, v.5, p.249-253, 1995.

PEREIRA, R. E.; CHAVES, M. C. C.; GOMES JÚNIOR, S. F. G.; SOARES DE MELLO, J. C. B.; LIMA, G. B. A.. Uma estruturação para a obtenção da sustentabilidade agrícola da produção de tomates no município de SÃO José de ubá utilizando ferramentas de auxílio à multicritério. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v.8, n.3, p.280-289, 2008.

POMPERMAYER, R. S.. **Aplicação da análise Multicritério em Gestão de Recursos Hídricos: Simulação para as Bacias dos Rios Piracicaba**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

RAMOS, P. R.. **Modelo para outorga de uso da água utilizando a metodologia multicritério de apoio à decisão**: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ROY, B.. **Méthodologie multicritèrie d'aide à la decision**. França: Economica, 1985.

SANTOS, R. B.. **Aplicação do método multicritério Promethee para ampliação da disponibilidade hídrica superficial na bacia do rio Gramame (PB)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

SANTOS, D. C.; LOBATO, M. B.; VOLPI, N. M. P.; BORGES, L. Z.. Hierarquização de medidas de conservação de água em edificações residenciais com o auxílio da análise multicritério. **Revista Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n.1, p.31-47, 2006.

SANTOS, R. B.. **Avaliação de Intervenções Hidráulicas na Bacia do Rio Gramame-PB com o uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicritério**, Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

SCHMIDT, A. M. A.. **Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH**, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

SILVINO, G. S.. **Aplicações de Modelos Multicriteriais Hierárquicos e Multidecisores para Alocação de Água no Sistema Curema-Açu**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

SOARES, S. R.. **Análise multicritério como instrumento de gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SOUZA, M. A. A.; NETTO, O. M. C.; JUNIOR, R. P. L.. Sistema de apoio à decisão (SAD) para seleção de alternativas de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. **Academia**, São Paulo, p.1-25, 2006,

SILVA, J. R. S.; ALMEIDA, C. D.; GUINDANI, J. F.. Pesquisa Documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, n.1, 2009.

SILVA, C. M. S.; DYNNIKOV, V. I.. Ideologia em problemas matemáticos nos livros didáticos soviéticos da pré-revolução até 1960. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v.19, n.56, 2014.

TEXEIRA, A. C.; BARBOSA, P. S. F.. Avaliação Multicriterial de Alternativas de Projeto de Barragens de Uso Múltiplo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 6. **Anais**. Porto Alegre: ABRH, 1995.

WERNKE, R.; BORNIA, A. C.. A Contabilidade Gerencial e os Métodos Multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças**, São Paulo, v.14, n.25, p.60-71, 2001.

ZUFFO, A. C.. **Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H.. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.1, p.81-102, 2002.