

O Modelo Multicritério de Avaliação de Alternativas Construído para a Implantação do Parque de Conversores de Energia de Correntes Marinhas em Energia Elétrica: Análise de Resultados

Helena Barreto Matzenauer^{*}, Wilian Correa Marques^{*}; Eduardo Kirinus^{*}

hmatz@terra.com.br; wilian_marques@yahoo.com.br; ekirinus@gmail.com

Recebido: 21/11/12 - revisado: 16/01/13 - aceito: 06/01/14

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar a análise dos resultados obtidos com a utilização do Modelo Multicritério de Avaliação de Alternativas que foi construído para auxiliar no planejamento da implantação de parques de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica na plataforma continental do sul do Brasil. A partir dos resultados obtidos com a aplicação do modelo, procedeu-se ao exame das ações sem a consideração das taxas de substituição dos critérios e também ao exame das ações levando em conta essas taxas de substituição dos critérios. Posteriormente, foi feita uma análise conjunta das alternativas propostas, ensejando a avaliação local e a avaliação global dessas alternativas. A análise de sensibilidade das respostas do modelo foi elaborada com auxílio do software MATLAB 7.0. Ao final do trabalho, são descritas as conclusões do mesmo.

Palavras-chave: modelo multicritério de avaliação de alternativas; parques de conversores de energia de correntes marinhas; análise dos resultados.

INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta a análise dos resultados da aplicação do Modelo Multicritério de Avaliação de Alternativas que foi construído para auxiliar no planejamento da implantação de parques de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica na plataforma continental do sul do Brasil.

A justificativa da escolha do objeto de aplicação do Modelo está na indiscutível necessidade atual de se buscarem fontes alternativas de energia e que sejam, de preferência, renováveis. Nesse contexto, destaca-se que, entre as principais fontes de energia existentes nos oceanos, se encontra a energia das correntes marinhas. As correntes marinhas são provocadas por um aquecimento não homogêneo das camadas superficiais dos oceanos pela radiação solar (PALZ, 1981). Estas transformam a energia cinética presente na água em energia elétrica, através da movimentação de turbinas. A técnica utiliza

da, de uma forma geral, pode ser definida como eólica submarina, tendo aproximadamente os mesmos princípios de funcionamento daquela produzida pela ação do vento, só diferindo o fluido com o qual as duas interagem. Como importantes fontes em potencial, pode-se considerar a energia das marés astronômicas e meteorológicas.

Nesse cenário, o objetivo geral deste trabalho é contribuir para o processo de planejamento da implantação de conversores (turbinas) de energia de correntes marinhas em energia elétrica na Plataforma Continental do Sul do Brasil, através de uma Metodologia Multicritério de Avaliação de Alternativas.

O planejamento de implantação dos conversores implicou a proposta de dois locais, aqui identificados como Local 1 e Local 2.

Considerando-se o problema da determinação do local para a implantação dos conversores de energia (Local 1 e Local 2), a utilização do Modeloⁱ exigiu a construção de uma "árvore final de pontos de vista fundamentais" desse problema, a qual foi constituída de 11 pontos de vista (PVFs), tendo seis deles merecido uma subcategorização em diferentes áreas de interesse, de acordo com o parecer do Decisor. Os PVFs, com as subdivisões, determinados neste estudo foram os seguintes: (1) Turbinas (ta-

^{*}Fundação Universidade do Rio Grande (FURG).

manho, quantidade, tipo); (2) Área Física (distância da costa, área utilizável, profundidade do local); (3) Potência Convertida; (4) Equipamentos Específicos; (5) Processos Hidrodinâmicos (direção das correntes, intensidade das correntes); (6) Processos Morfodinâmicos (tipos de sedimentos, aumento do fundo); (7) Processos Biológicos; (8) Custos de Equipamentos; (9) Custos Operacionais (custos de operação, custos de manutenção); (10) Aceitabilidade da Comunidade (acessibilidade à energia elétrica, pesca artesanal); (11) Desenvolvimento Local.

A análise permitiu constatar que, do total de 19 critérios e subcritérios construídos para o modelo, em apenas 2 aspectos a avaliação do “Local 1” ficou com desempenho abaixo do nível *Neutro*, que equivale a 10,53% dos pontos analisados, apresentando um desempenho comprometedor; em 8 aspectos a avaliação do “Local 1” ficou com desempenho no nível *Neutro*, que equivale a 42,11% dos pontos analisados, apresentando um desempenho ainda bastante comprometedor; em 1 aspecto a avaliação do “Local 1” ficou com desempenho entre os níveis de referência *Bom* e *Neutro*, que equivale a 5,26% dos pontos analisados, apresentando um desempenho competitivo; em 7 aspectos a avaliação do “Local 1” ficou com desempenho no nível *Bom*, que equivale a 36,84% dos pontos analisados, apresentando um desempenho excelente, de acordo com o juízo de valor do decisor; e em 1 aspecto a avaliação do “Local 1” ficou com desempenho acima do nível *Bom*, que equivale a 5,26% dos pontos analisados, apresentando um desempenho acima das expectativas do decisorⁱⁱⁱ.

Esses resultados, acrescidos da avaliação, pelo decisor, das ações potenciais, levaram à identificação do Local 1, com o suporte do Modelo Multicritério, como mais atrativo do que o Local 2 para a localização do parque de conversores de energia das correntes marinhas em energia elétrica.

Partindo-se dos resultados obtidos com a aplicação do modelo, procedeu-se ao exame das ações sem a consideração das taxas de substituição dos critérios e também ao exame das ações levando em conta essas taxas de substituição dos critérios. Posteriormente, foi feita uma análise conjunta das alternativas propostas, alternativas essas que se referem aos “Local 1” e “Local 2” que foram avaliados para situar o parque de conversores de energia das correntes marinhas em energia elétrica. A análise de sensibilidade das respostas do modelo foi feita com auxílio do software MATLAB 7.0.

É importante destacar que uma das contribuições deste trabalho é adotar uma visão construtivista para planejar a implantação dos parques de

conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica, inédita até então nesta área do conhecimento. De acordo com Roy (1993), os modelos que adotam o paradigma construtivista devem “[...] considerar conceitos, modelos, procedimentos e resultados como *chaves* capazes (ou não) de abrir certas fechaduras que provavelmente (ou não) são apropriadas a organizar a situação ou causar seu desenvolvimento. Os conceitos, modelos, procedimentos e resultados são aqui vistos como *ferramentas* adequadas para desenvolver convicções e permitir a elas evoluírem [...]. A meta aqui *não é* descobrir uma verdade existente, externa aos atores envolvidos no processo decisório, mas *construir* um ‘conjunto de chaves’ que irão abrir portas para os atores e permitirão a eles prosseguir, a progredir *de acordo com seus objetivos e sistemas de valor*.”

ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO E RECOMENDAÇÕES

A criação de um modelo de avaliação de alternativas para o planejamento da implantação de parques de conversores de energia de correntes marinhas precisa ensinar recomendações práticas para os atores responsáveis pela tomada de decisões sobre o problema em questão. Dessa forma, espera-se que sejam trazidos esclarecimentos sobre a diversidade de caminhos que visam ao apoio à tomada de decisões de forma participativa, com o objetivo de auxiliar na orientação dos rumos futuros da gestão da implantação dos conversores de energia de correntes marinhas. Seguindo esse enfoque, as recomendações propostas neste trabalho caracterizam-se pela sua legitimidade, uma vez que foram construídas em conjunto com os atores que efetivamente irão utilizá-las, ao invés de serem meras prescrições ou normas saídas de manuais técnicos e gerais.

Assim, a avaliação de ações de aperfeiçoamento para a gestão da implantação de parques de conversores de energia de correntes marinhas será feita a partir de duas análises: a primeira análise consiste em gerar ações sem considerar as taxas de substituição entre os critérios e subcritérios do modelo e a segunda análise é elaborada levando em conta esses parâmetros. Devido à abrangência e à dimensão do trabalho, será apresentada a seguir a avaliação que foi feita para o “Local 1” em detrimento do “Local 2”.

Exame das Ações sem a Consideração das Taxas de Substituição dos Critérios do Modelo

O objetivo desta análise é obter uma ação global que esteja o mais próximo possível ou acima do nível de referência *Bom* para ser competitiva. Assim, inicia-se o processo examinando cada critério do modelo em busca de aspectos que precisam ser aperfeiçoados. O primeiro passo consiste em observar a pontuação total atingida por cada critério do modelo na avaliação da “implantação de parques de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica”, mas sem considerar as taxas de substituição. Para facilitar o exame dos critérios, foi elaborado o Quadro 1, para destacar os valores e os níveis atingidos pelos mesmos.

Critérios nos Níveis Críticos Inferiores ou Abaixo	Pontuação Local 1
Critério 11 – Desenvolvimento Local	- 150
Critério 10 – Aceitabilidade da Comunidade	- 43
Critério 9 – Custos Operacionais	0
Critério 8 – Custos de Equipamentos	0
Critério 4 – Equipamentos Específicos	0
Critério 3 – Potência Convertida	0
Critérios nos Níveis Competitivos	Pontuação Local 1
Critério 5 – Processos Hidrodinâmicos	35
Critério 1 – Turbina	76
Critério 2 – Área Física	77
Critérios nos Níveis Críticos Superiores ou Acima	Pontuação Local 1
Critério 6 – Processos Morfodinâmicos	100
Critério 7 – Processos Biológicos	100

Quadro 1 - Ordenação da Pontuação dos Critérios na Avaliação Global da Implantação de Parques de Conversores de Energia de Correntes Marinhas sem as Taxas de Substituição do Modelo

A ordem dos Critérios, na avaliação do “Local 1”, no Quadro 1, sugere uma atenção prioritária para os seguintes critérios: Critério 11, Critério 10, Critério 9, Critério 8, Critério 4 e Critério 6, porque são os Critérios com desempenho mais críticos, segundo os juízos de valor do decisor. A seguir, existem mais 3 Critérios que estão nos níveis competitivos, porém com a pontuação inferior a 100, quais sejam: Critério 5, Critério 1 e Critério 2, que ainda precisam de ações de melhorias. Finalmente, os Critérios 6 e Critério 7, que conseguem atingir o nível *Bom*, apresentando a melhor performance geral entre os 11 Critérios do modelo, não precisando de ações de melhoria.

Exame das Ações Considerando as Taxas de Substituição dos Critérios do Modelo

Para proceder a esta análise, foi elaborado o Quadro 2 a seguir, que apresenta uma comparação entre a ordenação estabelecida pelas pontuações local e global para priorização de ações de aperfeiçoamento. Na coluna referente à pontuação das ações, foi considerado que seriam implementadas ações em que todos os critérios do modelo conseguiriam atingir o nível *Bom* (equivalente a 100 pontos). Essa seria a situação ideal para que todas as ações de melhorias necessárias para a implantação dos parques de conversores de energia de correntes marinhas, no “Local 1”, pudessem ser implementadas.

A inconveniência do processo mostrado na análise anterior diz respeito ao fato de ser atribuído o mesmo nível de preferência a todas as ações que foram geradas.

Em uma análise do Quadro 2, pode-se observar que, quando se consideram as taxas de substituição dos Critérios, as ações que precisam ser priorizadas não seguem a mesma ordem estabelecida na primeira análise de oportunidade de melhorias (Quadro 7 acima).

Assim, ao analisar-se o Quadro 2, pode-se observar que a priorização das ações, estabelecida pela ordem das taxas de substituição dos critérios, poderia melhorar ainda mais o desempenho global de uma ação ou estratégia a ser implementada no planejamento da implantação de parques de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica. A seguir, é apresentado um exemplo.

Ordem Estabelecida pela Necessidade de Elevar a Pontuação Local – Sem Taxas de Substituição				Ordem Estabelecida pela Pontuação Global – Taxas de Substituição	
Critérios	Ordem	Pontuação Situação Atual	Pontuação das Ações	Taxa de Substituição	Ordem
Critério 11 – Desenvolvimento Local	1°	- 150	100	0,05	11°
Critério 10 – Aceitabilidade da Comunidade	2°	- 43	100	0,06	10°
Critério 9 – Custos Operacionais	3°	0	100	0,10	7°
Critério 8 – Custos de Equipamentos	4°	0	100	0,10	5°
Critério 4 – Equipamentos Específicos	5°	0	100	0,11	4°
Critério 3 – Potência Convertida	6°	0	100	0,11	1°
Critério 5 – Processos Hidrodinâmicos	7°	35	100	0,11	2°
Critério 1 – Turbina	8°	76	100	0,11	3°
Critério 2 – Área Física	9°	77	100	0,10	6°
Critério 6 – Processos Morfodinâmicos	10°	100	100	0,08	8°
Critério 7 – Processos Biológicos	11°	100	100	0,07	9°

Quadro 2 - Comparação entre a Ordenação Estabelecida pelas Pontuações Local e Global para Priorização de Ações de Aperfeiçoamento (adaptado de MATZENAUER, 2003)

Se o conjunto das ações que elevariam o desempenho do Critério 1 de 76 pontos para 100 pontos fossem implementadas, elas serão capazes de gerar um resultado global mais elevado do que o conjunto de ações que melhorariam, por exemplo, o desempenho do Critério 10, considerado de forma isolada. Assim, segue que:

- Contribuição atual do Critério 1: $76 \times 0,11 = 3,85$ pontos
- Contribuição após implantar o conjunto de ações: $100 \times 0,11 = 11$ pontos
- Diferença após implementação das ações: $11 - 3,85 = 7,15$ pontos

Da mesma forma, faz-se para o Critério 10:

- Contribuição atual do Critério 10: $-43 \times 0,06 = 2,58$ pontos
- Contribuição global após implantar conjunto de ações: $100 \times 0,06 = 6$ pontos
- Diferença após implementação das ações: $6 - 2,58 = 3,42$ pontos

Então, adotando-se o parâmetro de maior taxa de substituição dos critérios, na implementação das ações, pode-se obter um ganho maior de eficiência em relação à ordem estabelecida pela pontuação local.

Assim sendo, essa análise sugere que, em situação de falta de recursos, por exemplo, deveriam ser priorizadas, sucessivamente, as ações que impactam positivamente nos critérios: Critério 3, Critério 5, Critério 1, Critério 4, Critério 9 e Critério 2.

Mesmo considerando o fato de que algumas ações de melhorias impactam em diversos critérios, esse raciocínio serve para demonstrar que a consideração das taxas de substituição dos critérios deve predominar sobre a consideração isolada da capacidade de elevar-se a pontuação dentro de um critério isolado.

Portanto, pode-se concluir que, adotando-se o critério de maior taxa de substituição entre os critérios, na implementação das ações de melhorias para a implementação dos conversores de energia, pode-se obter um ganho maior de eficiência em relação à ordem estabelecida pela pontuação local. A partir desse fato, a avaliação global do modelo proposto permite sugerir que, em situação de falta de recursos, sejam eles técnicos, financeiros ou humanos, deveriam ser priorizadas, sucessivamente, as ações que impactam positivamente nos seguintes critérios: Critério 3 – Potência Convertida, Critério 5 – Processos Hidrodinâmicos, Critério 1 – Turbinas, Critério 4 – Equipamentos Específicos, Critério 9 – Custos de Equipamentos e Critério 2 – Área Física.

Análise Conjunta das Alternativas Propostas

A metodologia multicritério em apoio à decisão proposta neste trabalho permitiria ainda que várias outras simulações fossem feitas e que outras alternativas fossem elaboradas, fazendo com que os atores continuassem a negociar outras oportunidades de soluções. Assim, o Quadro 3, que foi calculado com auxílio do software HIVIEW (BARCLAY, 1984), apresenta a avaliação conjunta dos dois locais selecionados para a “implantação do parque de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica”, sendo mostrada, na parte central, a avaliação parcial e, na última linha, a avaliação global das alternativas (os dois locais selecionados na plataforma do sul do Brasil).

As duas alternativas propostas têm peculiaridades próprias, que poderiam fazer com que, em determinadas situações, qualquer uma delas pudesse ser adotada. Porém, é inerente à teoria do apoio à decisão que se selecione aquela alternativa que agrega maior valor à obtenção dos objetivos dos decisores.

Analisando-se o Quadro 3, pode-se constatar que o “Local 1” é globalmente melhor que o “Local 2”. Assim, no caso de adotar-se como critério de seleção de alternativas para a Implantação do Parque de Conversores de Energia de Correntes Marinhas a máxima pontuação entre as alternativas, deveria ser adotado o “Local 1”, seguido do “Local 2”.

No caso de impasse entre os decisores sobre qual alternativa adotar para compor o planejamento da implantação do parque de conversores de energia de correntes marinhas, podem-se sugerir ao decisor algumas simulações por áreas de interesse do problema: técnica, ambiental, econômica e social.

A Figura 1 a seguir apresenta o mapa de dominância das alternativas, no caso de priorização da área de interesse técnica, composta pelos seguintes critérios: Critério 1 – Turbinas, Critério 2 – Área Física, Critério 3 – Potência Convertida e Critério 4 – Equipamentos Específicos. A Figura 1 foi feita no software HIVIEW (BARCLAY, 1984), sendo que qualquer outro software de planilha de cálculo pode auxiliar os decisores a compreenderem melhor de que forma as alternativas estão sendo avaliadas. Também foram criadas duas alternativas fictícias de possíveis localizações e que foram definidas a partir dos níveis de impacto considerados *Bom* (representa um bom local na opinião do decisor) e *Neutro* (representa um local que não é nem atrativo e nem repulsivo na opinião do decisor) em todos os descritores. Essas duas ações fictícias têm a função de auxi-

liar o decisor na verificação entre as ações, apoiando-o tanto no momento de comparar o efeito das suas escolhas como na proposição de melhorias.

Crítérios	Local 1	Local 2	Taxas de Substituição
C1 - Turbinas	76	67	11%
C2 - Área	77	29	10%
C3- Potência	0	-360	11%
C4 – Equipamentos	0	0	11%
C5 - Proc. Hidrodinâmicos	35	-36	11%
C6 - Proc. Morfodinâmicos	100	100	8%
C7 - Proc. Biológicos	100	100	7%
C8 – Custos quipamentos	0	0	10%
C9 – Custos Operacionais	0	0	10%
C10 – Aceit. Comunidade	-43	-43	6%
C11 – Desenv. Social	-150	-150	5%
Total	25	-28	100

Quadro 3 - Avaliação Parcial e Global Conjuntas dos Dois Locais Selecionados na Plataforma do Sul do Brasil para a Implantação do Parque de Conversores de Energia de Correntes Marinhas

Analisando-se a Figura 1, pode-se verificar que tanto a alternativa 2, correspondente ao “Local 1”, como a alternativa 3, correspondente ao “Local 2” estão dentro da área hachurada, sendo que a alternativa 2 (Local 1) domina a alternativa 3 (Local 2). Assim, nessa área de interesse, a implementação do “Local 1” é mais vantajosa que a do “Local 2”. As alternativas 1 (ação fictícia Bom) e alternativa 4 (ação fictícia Neutra) são ações fictícias, que correspondem aos níveis de referência *Bom* (alternativa 1) e *Neutro* (alternativa 4) e servem como parâmetros de comparação para o decisor.

Já no caso de priorização da área de interesse ambiental, composta pelos Critérios 5 – Processos Hidrodinâmicos, Critério 6 – Processos Morfodinâmicos e Critério 7 – Processos Biológicos, como pode ser visualizado na Figura 1, a implementação da alternativa 2 (Local 1) é mais vantajosa que a

implementação da alternativa 3 (Local 2), estando ambas na área hachurada da figura.

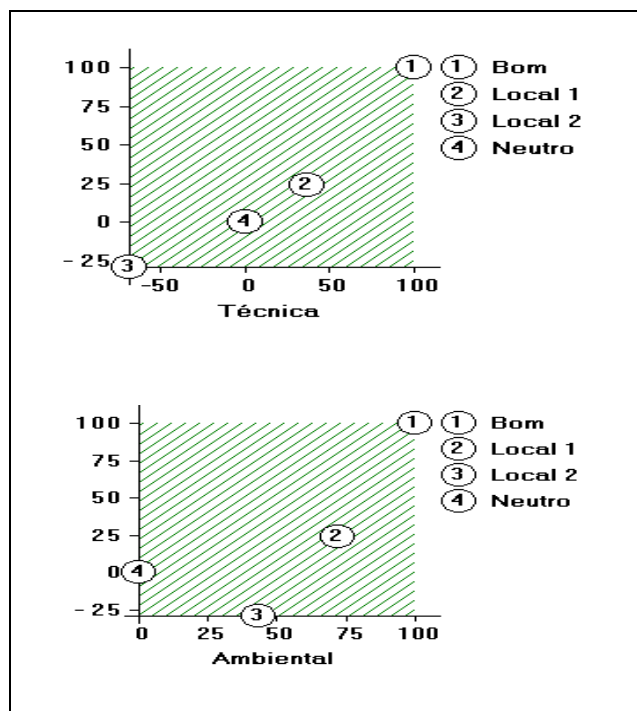


Figura 1 - Mapa de Dominância das Alternativas Propostas para as Áreas de Interesse Técnica e Ambiental

No caso de priorização da área de interesse econômica, composta pelos Critérios 8 – Custos de Equipamentos e Critério 9 – Custos Operacionais, como pode ser visualizado na Figura 2 abaixo, a implementação da alternativa 2 (Local 1) sobre a alternativa 3 (Local 2) é equivalente, estando ambas na área hachurada da figura. A análise da área de interesse social, composta pelos Critério 10 – Aceitabilidade da Comunidade e Critério 11 – Desenvolvimento Social, como pode ser visualizado na Figura 2 a seguir, é idêntica à da área de interesse econômica.

Analisando-se de forma geral, a alternativa 3 (Local 2) sempre é dominada pela alternativa 2 (Local 1). No caso de priorização da área de interesse técnica, a alternativa 2 (Local 1) é bem superior à alternativa 3 (Local 2). Sob o ponto de vista ambiental, a diferença entre implementar a alternativa 2 e a alternativa 3 ainda é grande, mas é menor do que na área de interesse técnica. Para finalizar, sob o aspecto econômico e social, a diferença entre implementar a alternativa 2 (Local 1) e a alternativa 3 (Local 2) é inexistente, pois elas são equivalentes. O Qua-

dro 4 a seguir apresenta a avaliação local e global das alternativas (locais) por áreas de interesse do problema e as taxas de substituição do modelo.

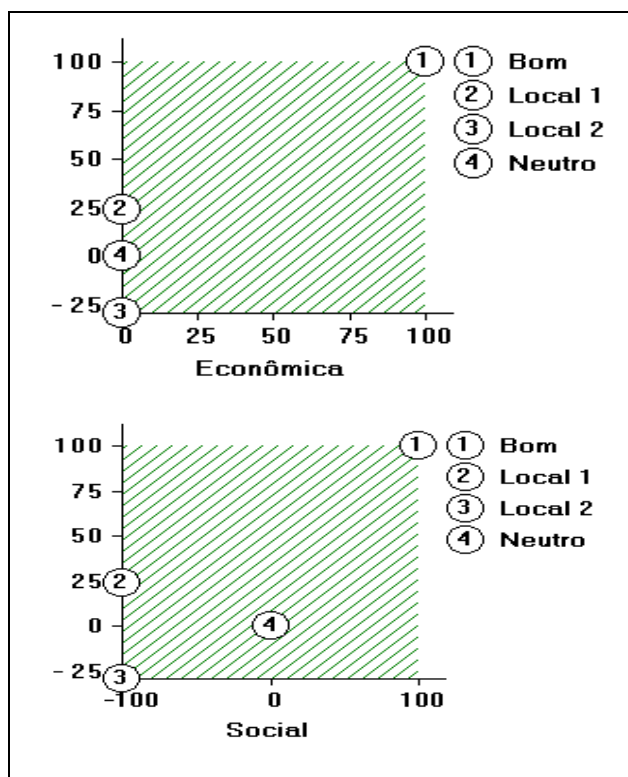


Figura 2 - Mapas de Dominância das Alternativas Propostas para as Áreas de Interesse Econômica e Social

Assim, dependendo do enfoque que será dado para a questão, poderão ser implementadas a alternativa “Local 1” ou a alternativa “Local 2”. Isso significa dizer que se sugere que constem no Planejamento da Implantação do Parque de Conversores de Energia de Correntes Marinhas em Energia Elétrica as ações que compõem cada uma dessas alternativas. No caso da falta de condições técnicas adequadas para a implantação do parque de conversores, a indicação é utilizar o “Local 2” em detrimento do “Local 1”, mas apenas nessa situação específica. Caso contrário, o “Local 1” é mais indicado que o “Local 2” para essa operação de engenharia.

É importante salientar que, como o Método Multicritério em Apoio à Decisão proposto neste trabalho segue o paradigma construtivista, essa não é uma solução ótima, mas, sim, uma recomendação que procura refletir o julgamento de valor do decisor sobre o problema em questão.

Áreas de Interesse	Locais		Taxas de Substituição
	Local 1	Local 2	
Técnica	37	-68	42,8 %
Ambiental	72	43	26,5 %
Econômica	0	0	19,4%
Social	-101	-101	11,3 %
Total	25	-28	100 %

Quadro 4 - Avaliação Local e Global dos Locais Propostos por Áreas de Interesse do Problema com as Taxas de Substituição dos Critérios do Modelo

Uma outra maneira de avaliar e de selecionar as alternativas é a partir dos Critérios do modelo. O Quadro 5 a seguir apresenta esse outro tipo de análise, em que são apresentadas as diferenças de pontuação entre as alternativas (locais), comparadas par-a-par, nos Critérios e Subcritérios do modelo. Assim, pode-se observar que, nos primeiros 14 Subcritérios e Critérios que aparecem no Quadro, a diferença de pontuação entre o “Local 1” e o “Local 2” é de 0 pontos, como indica a coluna numérica central do Quadro 5. Essa diferença de 0 pontos indica em quais Subcritérios e Critérios do modelo o “Local 1” supera o “Local 2” e em quantos pontos. A mesma análise pode ser feita para os cinco Subcritérios e Critérios seguintes. Essa diferença de atratividade entre as duas alternativas ser igual a 0 pontos, significa dizer que nesses Subcritérios as duas alternativas obtiveram a mesma pontuação. A primeira coluna numérica à esquerda do Quadro 5 apresenta a taxa de substituição dos Subcritérios e Critérios, enquanto que a última coluna à direita informa a diferença de pontuação na escala global, ou seja, o Subcritério *Quantidade de Turbinas* possui uma taxa de substituição global de 3,6%, 0 pontos de diferença entre o “Local 1” e o “Local 2”, que correspondem a uma diferença de pontuação global de 0 pontos.

Esse tipo de análise é importante porque proporciona uma outra forma de selecionar as alternativas, a partir dos Critérios e Subcritérios do modelo considerados prioritários pelo decisor de serem atendidos e que apresentam melhor performance a partir da adoção de uma determinada alternativa. Assim, se o decisor decidisse que o Subcritério *Quantidade de Turbinas* é absolutamente prioritário, seria recomendada a adoção tanto do “Local 1” como do “Local 2”. Na última linha, da última coluna à direita, é mostrada a diferença de pontuação

ção global entre o “Local 1” e o “Local 2”, que é de -53,16 pontos.

			LOCAL 2	LOCAL 1
Critérios	Sub-Critérios	Taxa de Substituição Global	Diferença de Pontuação Local	Diferença de Pontuação Global
Turbinas	Quantidade	3,6	0	0,00
Turbinas	Tipo	2,5	0	0,00
Área	Área Utilizável	3,3	0	0,00
	Equipamentos Espe.	11,0	0	0,00
Hidrodinâmicos	Direção Correntes	3,8	0	0,00
Morfodinâmicos	Tipo Sedimentos	2,8	0	0,00
Morfodinâmicos	Aumento Fundo	5,2	0	0,00
	Proc. Biológicos	7,0	0	0,00
Custo Operacionais	Custo Operação	6,4	0	0,00
Custo Operacionais	Custo Manutenção	3,6	0	0,00
	Custo Equipamento	10,0	0	0,00
Acceit. Comunidade	Acess. Comunidade	3,9	0	0,00
Acceit. Comunidade	Pesca Artesanal	2,1	0	0,00
	Desenvol. Local	5,0	0	0,00
Turbinas	Tamanho	4,8	-20	-0,97
Área	Distância	4,4	-40	-1,76
Hidrodinâmico	Intensid. Corrente	7,2	-109	-7,79
Área	Profundidade	2,3	-132	-3,04
	Potência	11,0	-360	-39,60
Total Global		100		-53,16

Quadro 5 - Diferença de Pontuação Local e Global entre as Alternativas “Local 1” e “Local 2” nos Critérios e Sub-Critérios do Modelo

Dessa forma, ao analisar os resultados obtidos, o decisor validou o modelo em todos os níveis, considerando-o adequado para representar os seus valores e percepções a respeito das ações para plane-

jar a implantação do parque de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica na plataforma continental do sul do Brasil.

Agora o próximo passo consiste em verificar a robustez das soluções propostas, analisando-se até que ponto os resultados obtidos são sólidos quando se alteram as taxas de substituição dos Critérios do modelo. Essa próxima etapa consiste na análise de sensibilidade.

Análise de Sensibilidade das Respostas do Modelo

Ao chegar neste ponto do processo de apoio à decisão, as alternativas mais atrativas, segundo o sistema de valores do decisor, já foram identificadas. A avaliação das ações potenciais teve como base um modelo multicritério, cujos parâmetros foram obtidos a partir dos julgamentos do decisor e, segundo o paradigma construtivista adotado, não existem valores corretos para esses parâmetros. Devido a esse fato, a realização de uma análise de sensibilidade é importante para testar a robustez do modelo multicritério construído.

Assim, a calibração do modelo foi realizada com o auxílio do software MATLAB 7.0, sendo realizados testes de calibração das taxas de substituição de todos os Critérios do modelo e das áreas de interesse do problema. A análise de sensibilidade procura validar os resultados obtidos com o modelo a partir de variações na taxa de substituição de um dos Critérios ou áreas de interesse, mantendo os demais constantes.

Pela abrangência e dimensão do trabalho, será apresentada a seguir apenas a análise de sensibilidade de alguns critérios do problema. A Figura 3 apresenta a análise de sensibilidade para os Critérios Turbina e Potência. O eixo das abscissas apresenta a variável que se deseja calibrar, sendo, no caso ilustrado abaixo, a taxa de substituição dos Critérios – Turbina e Potência. O eixo das ordenadas apresenta o objetivo estratégico do problema – Implantação dos Parques de Conversores de Energia de Correntes Marinhas em Energia Elétrica na Plataforma do Sul do Brasil.

Novamente, podem ser vistas as duas alternativas fictícias de possíveis localizações e que foram definidas a partir dos níveis de impacto considerados *Bom* (representa um bom local na opinião do decisor) e *Neutro* (representa um local que não é nem atrativo e nem repulsivo na opinião do decisor) em todos os descritores. Essas duas ações fictícias têm a função de auxiliar o decisor na verificação entre as ações, apoiando-o tanto no momento de

comparar o efeito das suas escolhas como na proposição de melhorias. Assim, a reta 1 representa a ação fictícia *Bom* (100 pontos) e a reta 4 (0 pontos) a ação fictícia *Neutro*. Já a reta 2 corresponde ao “Local 1” e a reta 3 corresponde ao “Local 2”, para os diferentes valores da taxa de substituição desse critério. A reta vertical corresponde a um eixo auxiliar, que identifica a taxa de substituição atual do critério considerado, que, no caso do critério Turbina, é de 11,01% e, do critério Potência, é 11,22%. Quanto maior a inclinação das retas, mais a Implantação dos Parques de Conversores de Energia de Correntes, proporcionada pelos locais selecionados, é afetada pelo critério considerado.

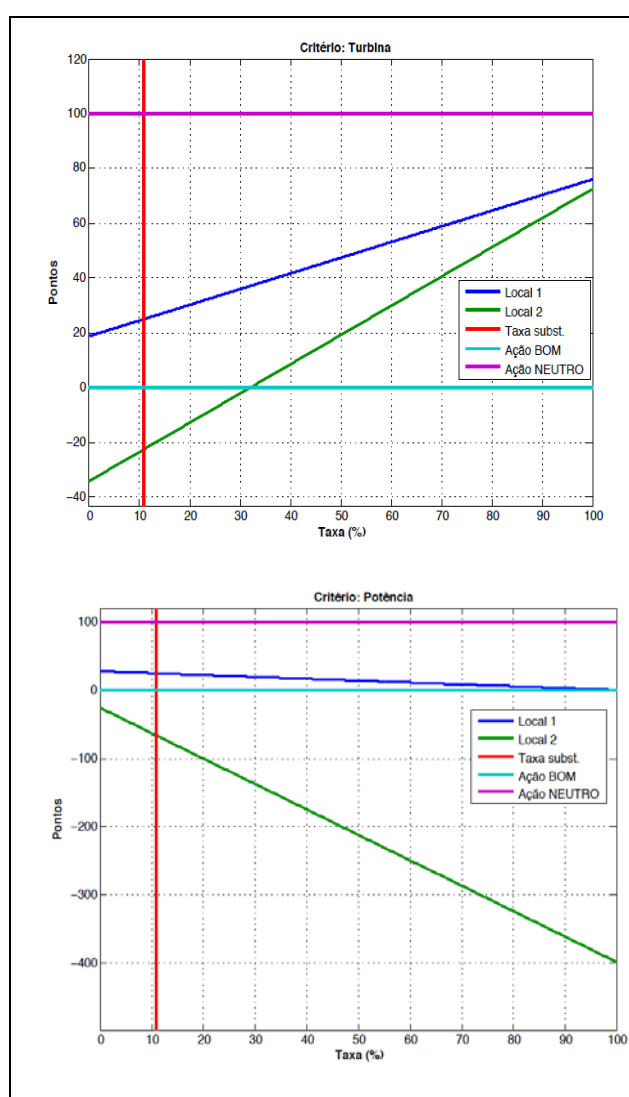


Figura 3 - Análise de Sensibilidade dos Critérios Turbina e Potência

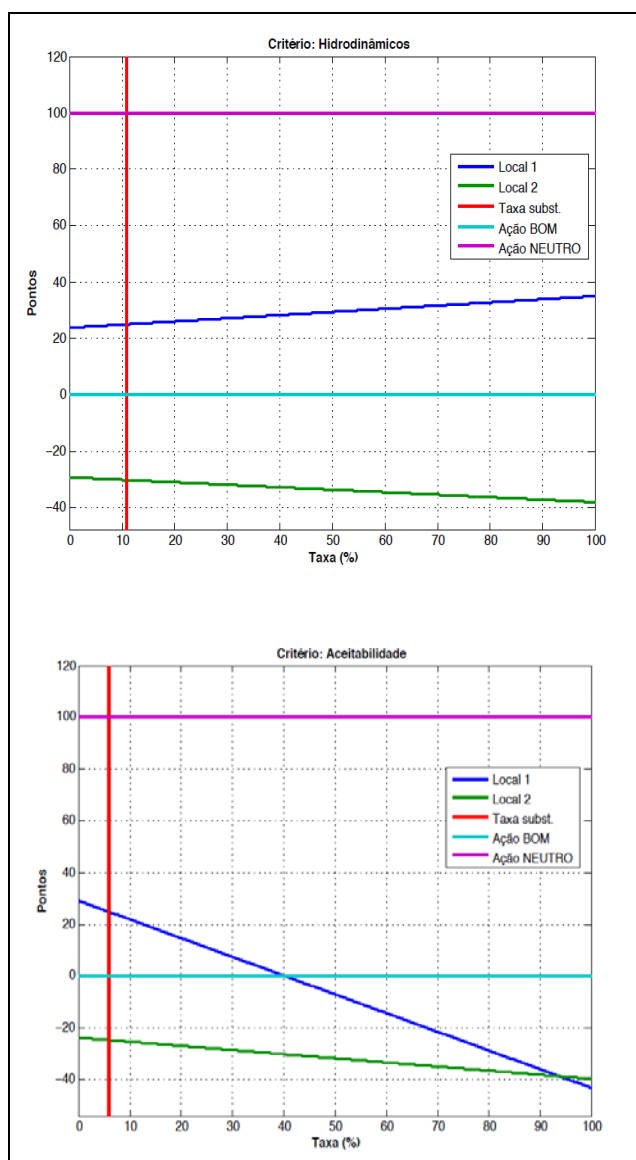


Figura 4 - Análise de Sensibilidade dos Critérios Processos Hidrodinâmicos e Aceitabilidade da Comunidade

Analizando-se a Figura 3, pode-se verificar que aumentando-se a taxa de substituição do Critério 1 - Turbinas, tanto a importância do “Local 1” como a do “Local 2” sobre a Implantação dos Parques de Conversores de Energia de Correntes aumenta. Também pode-se concluir que, para quaisquer variações da taxa de substituição desse critério, a ordem de preferência de implementação das ações propostas – “Local 1” e “Local 2” - não se altera, ou seja, o “Local 1” sempre será preferível ao “Local 2”.

Já a análise de sensibilidade do Critério 4 - Potência, a linha vertical do gráfico mostra a taxa de

substituição desse critério, que foi considerada 11,22%. Analisando-se a Figura 3, pode-se verificar que aumentando-se a taxa de substituição dessa área, a influência dos Locais 1 e 2 sobre a Implantação dos Parques de Conversores de Energia de Correntes em Energia Elétrica diminui. Cabe salientar que, para variações da taxa de substituição desse critério, a ordem de implementação das ações não se altera, ou seja, o “Local 1” sempre será preferível ao “Local 2”.

A Figura 4 apresenta a análise de sensibilidade para os Critérios Hidrodinâmicos e Aceitabilidade da Comunidade. A linha vertical do gráfico mostra a taxa de substituição do Critério Hidrodinâmicos, que foi considerada 11,15%.

Analizando-se a Figura 4, pode-se verificar que, aumentando-se a taxa de substituição do Critério Processos Hidrodinâmicos, a influência do “Local 1” sobre a Implantação dos Parques de Conversores de Energia de Correntes Marinhas em Energia Elétrica aumenta e a do “Local 2” diminui. Cabe salientar que, para variações da taxa de substituição desse critério, a ordem de implementação das ações não se altera, ou seja, o “Local 1” será preferível ao “Local 2”.

Para finalizar, a Figura 4 apresenta também a análise de sensibilidade para o critério Aceitabilidade da Comunidade. A linha vertical do gráfico mostra a taxa de substituição deste critério, que foi considerado 11,3%. Assim, analisando-se a Figura 4, pode-se verificar que, aumentando-se a taxa de substituição desse critério, a influência dos locais 1 e 2 sobre a Implantação dos Parques de Conversores de Energia de Correntes em Energia Elétrica diminui. Se essa taxa aumentar drasticamente, a influência dos dois locais tende a ser equivalente, porém muito baixa, sendo até negativa. Também cabe salientar que, para variações da taxa de substituição desse critério, a ordem de implementação das ações não se altera, ou seja, o “Local 1” será preferível ao “Local 2”.

Para finalizar, o decisor sugeriu que se fizesse um último teste com os locais selecionados, modificando as taxas de substituição de alguns Critérios do modelo. O Quadro 6 a seguir apresenta a modificação das taxas de substituição dos Critérios do modelo proposta pelo decisor.

Pode-se observar que os Critérios 7 – Processos Biológicos, Critério 10 - Aceitabilidade da Comunidade e Critério 11 – Desenvolvimento Local mantiveram a mesma posição da proposta original, sendo que apenas o Critério 11 ficou com a mesma taxa de substituição da proposta anterior.

Crítérios	Taxas de Substituição	Crítérios – Nova Ordenação	Taxas de Substituição Modificadas
Crítério3 – Potência Convertida	11,22%	Crítério2 – Área Física	11,85%
Crítério5 – Processos Hidrodinâmicos	11,15%	Crítério8 – Custos de Equipamentos	11,43%
Crítério1 – Turbinas	11,01%	Crítério3 – Potência Convertida	10,22%
Crítério4 – Equipamentos Específicos	10,72%	Crítério6 – Processos Morfodinâmicos	10,11%
Crítério8 – Custos de Equipamentos	10,43%	Crítério9 – Custos Operacionais	9,98%
Crítério2 – Área Física	9,85%	Crítério5 – Processos Hidrodinâmicos	9,15%
Crítério9 – Custos Operacionais	8,98%	Crítério1 – Turbinas	9,01%
Crítério6 – Processos Morfodinâmicos	8,11%	Crítério4 – Equipamentos Específicos	8,72%
Crítério7 – Processos Biológicos	7,24%	Crítério7 – Processos Biológicos	8,24%
Crítério10 – Aceitabil. da Comunidade	6,37%	Crítério10 – Aceitabil. da Comunidade	7,37%
Crítério11 – Desenvolvimento Local	4,92%	Crítério11 – Desenvolvimento Local	4,92%

Quadro 6 - Modificação das Taxas de Substituição dos Critérios do Modelo Proposta pelo Decisor

Os seguintes critérios: Critério 2 – Área Física, Critério 8 – Custos de Equipamentos, Critério 3 – Potência Convertida, Critério 6 – Processos Morfodinâmicos, Critério 9 – Custos Operacionais, Critério 5 – Processos Hidrodinâmicos, Critério 1 – Turbinas e Critério 4 – Equipamentos Específicos alteraram tanto as suas taxas de substituição, como a sua ordenação, no que se refere à proposta anterior.

O Quadro 7 a seguir apresenta a proposta do decisor sobre as novas taxas de substituição dos Critérios do modelo, assim como as avaliações parciais e globais da implantação dos parques de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica e os locais selecionados como mais apropriados para a sua alocação na plataforma do sul do Brasil. Esse cálculo foi feito no software HIVIEW (BARCLAY, 1984). A última coluna do Quadro 7 apresenta as novas taxas de substituição propostas pelo decisor para os Critérios do modelo.

Analisando-se o Quadro 7, pode-se verificar que, tanto as avaliações parciais (parte central da figura), como as avaliações globais (última linha da figura) da “implantação do parque de conversores de correntes marinhas” e dos dois locais selecionados para a sua possível implantação, com a modificação das taxas de substituição dos Critérios do modelo proposta pelo decisor, não alteraram as suas colocações, permanecendo o “Local 1” com uma pontuação melhor que a do “Local 2”. Isto significa dizer que o “Local 1” é globalmente melhor que o “Local 2”. O Quadro 8 a seguir apresenta a avaliação global dos dois locais por áreas de interesse do problema, com as taxas de substituição modificadas, segundo proposição do decisor.

Crítérios	Local 1	Local 2	Taxas de Substituição Modificadas
C1 - Turbinas	76	67	9%
C2 - Área	77	29	12%
C3- Potência	0	-360	10%
C4 - Equipamentos	0	0	9%
C5 - Proc. Hidrodinâmicos	35	-36	9%
C6 - Proc. Morfodinâmicos	100	100	10%
C7 - Proc. Biológicos	100	100	8%
C8 - Custos Equipamentos	0	0	11%
C9 - Custos Operacionais	0	0	10%
C10 - Accit. Comunidade	-43	-43	7%
C11 - Desenv. Social	-150	-150	5%
Total	27	-22	100

Quadro 7 - Avaliação Parcial e Global Conjuntas da Implantação do Parque de Conversores de Energia de Correntes e dos Dois Locais Selecionados A Partir da Modificação das Taxas de Substituição dos Critérios do Modelo

Analisando-se o Quadro 8, pode-se verificar que, mesmo com a alteração das taxas de substituição de alguns Critérios do modelo, segundo

sugestão do decisor para testar a sua robustez, a ordenação das áreas de interesse do problema não se altera, mantendo a proposição original. Além disso, a pontuação dos dois locais propostos, analisados segundo as áreas de interesse do problema, também se altera muito pouco com a modificação das taxas de substituição de alguns Critérios do modelo. Os dois locais melhoraram a sua pontuação, sendo que o “Local 1” passou de 25 pontos para 27 pontos e o “Local 2” passou de -28 pontos para -22 pontos. Porém, os dois locais mantiveram a mesma ordenação que foi obtida com a proposta original, ou seja, “o Local 1” é globalmente melhor que o “Local 2”.

Áreas de Interesse	Locais		Taxas de Substituição
	Local 1	Local 2	
Técnica	37	-68	40 %
Ambiental	72	43	27 %
Econômica	0	0	21 %
Social	-101	-101	12 %
Total	27	-22	100 %

Quadro 8 - Avaliação Global dos Locais Propostos por Áreas de Interesse do Problema com as Taxas de Substituição dos Critérios do Modelo Modificadas

Dessa forma, a análise de sensibilidade das respostas do modelo frente à variação de suas taxas de substituição proporcionou ao decisor um melhor entendimento sobre a repercussão da variação desses parâmetros, o que facilitou um melhor entendimento do modelo, permitindo a sua utilização de forma mais ampla. Assim, a partir da avaliação da análise de sensibilidade realizada para o Modelo de Avaliação de Alternativas para a Implantação dos Parques de Conversores de Energia de Correntes Marinhas em Energia Elétrica na Plataforma do Sul do Brasil, pode-se constatar que o modelo construído é robusto, pois os dois locais propostos para sua implantação variam muito pouco em função da alteração das taxas de substituição do modelo.

É importante lembrar que, ao adotar-se uma postura construtivista, a análise de sensibilidade não significa o final do processo de apoio à decisão, pois este não tem um ponto final demarcado previamente, à medida que a geração de conhecimentos proporcionada é evolutiva, dinâmica e contínua. Dessa forma, analisados todos os resultados fornecidos pelo modelo construído e

realizada a análise de sensibilidade do mesmo, pode-se passar para a etapa de conclusão do trabalho.

CONCLUSÕES

A metodologia utilizada para a construção do presente modelo foi a Metodologia Multicritério em Apoio à Decisão, que se caracteriza por adotar um paradigma construtivista, baseando-se no pressuposto de que em um processo de avaliação de alternativas é fundamental à consideração dos aspectos julgados relevantes pelos decisores do problema. Nesse sentido, a utilização de uma abordagem Multicritério em Apoio à Decisão, baseada em um paradigma construtivista, foi de grande valia, pois foram considerados os aspectos objetivos e subjetivos do problema em questão. Além disso, essa abordagem também permite tratar de forma adequada problemas complexos, que envolvem múltiplos atores e múltiplos objetivos, geralmente conflitantes.

Também é importante verificar que a aplicação prática do modelo multicritério em apoio à decisão proposto para a implantação do parque de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica conseguiu satisfazer o decisor do problema. Ao final do processo de construção do modelo, o decisor mostrou-se bastante satisfeito com os resultados obtidos, pois o trabalho conseguiu solucionar o problema em questão, além de ter apresentado, de forma estruturada, todos os critérios e as alternativas para auxiliá-lo no planejamento da implantação do parque de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica, na plataforma do sul do Brasil.

Um dos fatores que contribuíram para que o decisor aprovasse a metodologia proposta, foi o fato de ter adquirido uma compreensão diferenciada a respeito do seu problema. Os problemas de modelagem computacional, habitualmente, utilizam métodos de modelagem numérica para solucionar os seus problemas, deixando de considerar diversos critérios que são fundamentais de serem avaliados no planejamento que considera o fator humano como uma de suas variáveis.

Assim, também consistiu em um diferencial deste trabalho o fato de a metodologia multicritério em apoio à decisão utilizada ser *construtivista*, ou seja, os valores do decisor foram considerados durante todas as etapas da construção do modelo decisório, dando maior legitimidade à qualidade

das decisões. Diferentemente, nas abordagens clássicas dos problemas de modelagem computacional, este fato não é considerado.

O decisor foi receptivo em relação à abordagem apresentada, pois considerou-a bastante aberta e flexível, o que facilitou o desenvolvimento do trabalho, além de permitir escolhas mais transparentes e racionais. Dessa forma, a abordagem provou ser capaz de gerar e, principalmente, de organizar conhecimentos.

A Metodologia Multicritério em Apoio à Decisão proposta para o desenvolvimento do Modelo de Avaliação de Alternativas para a implantação do parque de conversores de energia de correntes marinhas foi capaz de estabelecer indicadores de forma a conceber uma avaliação contínua da implantação dos conversores de energia, além de traçar um diagnóstico da situação atual, através dos critérios e descritores do modelo, sendo assim considerada uma ferramenta adequada, pelo decisor do problema, para planejar a implantação do parque de conversores de energia de correntes marinhas em energia elétrica.

Como consequência de seu aprendizado o decisor pode, mesmo após implementar as alternativas de solução, agregar outros critérios ao modelo e modificar qualquer outro elemento da estruturação, sejam os critérios, os descritores dos critérios, assim como os seus níveis de referência *Bom e Neutro*, as funções de valor (diferenças de atratividade entre os níveis de impacto dos descritores) e as taxas de substituição entre os subcritérios e critérios do modelo, alterando as respectivas importâncias relativas dos mesmos, de acordo com as suas preferências ou necessidades. Na verdade, este é o princípio do modelo proposto: ser uma fonte de avaliação e aprendizado, em função das constantes transformações resultantes da implementação de alternativas, da realidade extremamente mutável e de julgamentos que são realizados em um processo evolutivo e dinâmico. Também deve ser considerado que, muitas vezes, o processo de construção e aprendizagem do processo é tão importante quanto o modelo propriamente dito.

Como neste trabalho se adotou o paradigma científico do construtivismo, o método de pesquisa escolhido foi o da Pesquisa-Ação, que é um método projetado para analisar e avaliar processos sociais complexos, como os processos de tomada de decisões, em que a subjetividade e as construções da realidade dos participantes no experimento devem ser consideradas. Assim, aqueles acostumados com uma visão positivista de aquisição de conhecimentos podem vir a contestar os

resultados obtidos, principalmente pela sua dificuldade de generalização. Porém, essa foi uma escolha metodológica da pesquisadora, tendo em vista o caráter qualitativo que é inerente ao processo de apoio à decisão.

A metodologia multicritério em apoio à decisão adotada neste trabalho caracteriza-se por adotar um paradigma construtivista, então, é importante salientar que, mudando-se os decisores do problema, também mudarão os valores considerados e, conseqüentemente, mudarão os resultados obtidos nas avaliações do modelo. Dessa forma, seguindo um paradigma construtivista, não existirá um único modelo correto, sendo que cada modelo será considerado correto à medida que conseguir representar as percepções e valores daqueles que o construíram e irão efetivamente utilizá-lo.

REFERÊNCIAS

Barclay, S. HIVIEW software package. London: London School of Busine, 1984

MATZENAUER, H. B. Uma Metodologia Multicritério Construtivista de Avaliação de Alternativas para o Planejamento de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas. Tese de Doutorado. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2003.

PALZ, W. Energia Solar e Fontes Alternativas. Ed. Hemus, 1981.

ROY, B. Decision Science or Decision-aid Science? European Journal of Operational Research. vol. 66, pp. 184-203, 1993.

Multicriterion Model To Evaluate Alternatives For The Implementation Of The Marine Current Energy Converter Park To Produce Electricity: Analysis Of Results

ABSTRACT

The purpose of this study is to present the analysis of the results obtained using the Multicriterion Model to Evaluate Alternatives that was built to help plan the implementation of marine current energy converter parks to produce electricity on the south Brazilian continental shelf. Based on the results obtained applying the model, the actions were examined without considering the rates of criteria substitution and also the examination of the

actions, taking these rates of criteria substitution into account. Later a joint analysis was performed of the alternatives proposed, leading to local and global evaluation of these alternatives. The sensitivity analysis of the model responses was elaborated using the MATLAB 7.0 software. At the end of the work its conclusions are described.

Key-words: *multicriteria model for the evaluation of alternatives; marine current energy converter parks; analysis of results.*