

# ANÁLISE MULTICRITERIAL NA DETERMINAÇÃO DE SÍTIOS POTENCIAIS PARA APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS REVERSÍVEIS

Virginia Harris *m 244*

Prof. orientador: Dr. Eugênio da Motta, Singer *t*

Declaro que esse exemplar é o definitivo da dissertação de  
mestrado e que contempla todas as modificações exigidas  
pela banca examinadora.

*Eugênio* 27.4.92.

Dissertação de Mestrado

UNICAMP  
Faculdade de Engenharia Civil  
Departamento de Hidráulica e Saneamento

24 de fevereiro de 1992

## Análise Multicritério na Determinação de Sítios Potenciais para Aproveitamentos Hidrelétricos Reversíveis

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um método multicritério discreto de seleção que incorpora, não somente as variáveis mensuráveis ou tangíveis, mas também variáveis intangíveis. A proposta da técnica é reduzir a subjetividade na determinação dos pesos dos critérios de julgamento, através da utilização conjunta do Método Analítico Hierárquico de *Thomas L. Saaty* e do algoritmo Electre desenvolvido por *R. Benayoun e B. Roy*, e obter soluções robustas, através da simulação dos enfoques de diferentes setores da sociedade. O método foi adaptado para um estudo de caso, incorporando fatores específicos para o planejamento e a implantação de Usinas Hidrelétricas Reversíveis.

## Multicriteria Method to Select Potential Sites for the Operation of Pumped-Storage Plants

This paper describes a discrete multiobjective selection method, which considers not only tangible or measurable parameters but also the intangible ones. This technic combines the Hierarchical Analytical Method from *Thomas L. Saaty* and the Electre Method from *R. Benayoun and B. Roy* and aims a reduction of subjectivity in the determination of the criteria weights. It also enables the simulation of different interests involved in the problem, so that the solutions found are robust and satisfy those interests. It is applied to the selection of pumped-storage sites and considers specific questions for their planning and construction.

para  
Denise, Melanie,  
e Euclides

## Agradecimentos

Muitas pessoas contribuíram para a elaboração deste trabalho. Meus agradecimentos, principalmente, a Eugenio Singer, de quem sempre obtive total apoio, confiança e incentivo, a Rozely Ferreira dos Santos por suas idéias e espírito crítico e a Sérgio Valdir Bajay pelas observações técnicas pertinentes e que ajudaram a dar a conformação definitiva a este trabalho. O companheirismo de Glacir, Vanice e Cláudia, bem como as conversas e companhia de Euclides foram de fundamental importância durante os últimos anos. Agradeço também o apoio da FAPESP que possibilitou a realização desta dissertação de mestrado.

# Conteúdo

Introdução	1
<b>I Métodos Multicriteriais de Ajuda à Decisão</b>	<b>8</b>
1 Métodos multiobjetivos contínuos	12
2 Métodos multiobjetivos discretos	16
2.1 Método Analítico Hierárquico . . . . .	17
2.2 Electre . . . . .	19
2.3 Método proposto . . . . .	22
<b>II Usinas Hidrelétricas Reversíveis e Potencial Hidrelétrico Reversível do Estado de São Paulo</b>	<b>27</b>
3 Usinas Hidrelétricas Reversíveis	29

3.1	Generalidades sobre uma UHR . . . . .	31
3.2	Condições físicas e impactos ambientais de UHR . . . . .	36
3.3	Considerações gerais para planejamento . . . . .	37
3.4	Critérios para avaliação de sítios potenciais para Usinas Hidrelétricas Reversíveis . . . . .	39
4	O Potencial Hidrelétrico Reversível do Estado de São Paulo	44
<b>III Metodologia de Seleção: Apresentação e Aplicação em Estudo de Caso</b>		<b>50</b>
5	Metodologia de seleção de sítios potenciais para aproveitamento hidrelétrico reversível	53
6	Estudo de caso	64
	Conclusão	78
	Bibliografia	80
	Anexo 1 - Unidades de Conservação	80
	Anexo 2 - Quadros de classificação	89
	Anexo 3 - Listagens: parâmetros e resultados	98

# Lista de Figuras

2.1	Matriz de avaliação das alternativas. . . . .	23
2.2	Conjunto de enfoques existentes. . . . .	23
2.3	Obtenção do conjunto de vetores pesos. . . . .	23
2.4	Obtenção do conjunto de matrizes de concordância. . . . .	24
2.5	Conjunto de hierarquizações obtidas. . . . .	25
2.6	Freqüência de classificação das alternativas extremas. . . . .	25
3.1	Esquema funcional de um conjunto reversor. . . . .	32
3.2	Funcionamento esquematizado de um conjunto reversor. . . . .	33
3.3	Componentes típicos de uma Usina Hidrelétrica Reversível . . . . .	35
4.1	Curva de carga do dia de ponta máxima em 1988 do sistema Ele- tropaço. . . . .	45
5.1	Fluxograma da metodologia proposta. . . . .	63

6.1	Mapa esquemático das alternativas. . . . .	65
6.2	Conjunto reversor – alternativa A02 . . . . .	67
6.3	Escalas sob forma de função linear. . . . .	69
6.4	Escalas sob forma de função logarítmica. . . . .	69
6.5	Escalas para classificação direta. . . . .	71
6.6	Gráficos de preferências (a) Forte, (b) fraco. . . . .	73
6.7	Hierarquização para enfoque E1 e valores limites fracos (0,90,0,10). 74	
6.8	Indicação de freqüência: (a) primeiro lugar; (b) último lugar. . . .	75



# Lista de Tabelas

4.1 Dados gerais cadastrados das alternativas. . . . .	47
4.2 Sítios selecionados. . . . .	48
6.1 Conjunto de alternativas a analisar. . . . .	65
6.2 Levantamento de dados. . . . .	68
6.3 Classificação de cobertura vegetal perdida. . . . .	70
6.4 Classificação da alternativa A02. . . . .	72
6.5 Resumo da classificação das alternativas. . . . .	72

## Introdução

Testemunhamos, atualmente, que tanto intelectuais como cidadãos comuns refletem e preocupam-se cada vez mais sobre a maneira como o homem vem se apropriando da natureza, através da ciência e tecnologia ao longo dos tempos e, principalmente, nas últimas décadas. Esses movimentos que datam da década de trinta na Europa, da década de cinquenta nos Estados Unidos da América do Norte, intensificaram-se a partir dos anos setenta. Nos meios de comunicação esta tendência também se faz presente e, praticamente, todos passamos a nos confrontar cotidianamente com os problemas ambientais.

Pensadores contemporâneos questionam, essencialmente, a validade da aspiração pelo progresso, como hoje conhecido, o papel da ciência e da tecnologia nas mudanças que ocorrem no meio ambiente como um todo, nele incluindo as sociedades humanas e a responsabilidade do ser humano em relação ao restante da natureza, entre outros.

O filósofo japonês Daikasu Ikeda que se destacou, entre outros, por desenvolver importante trabalho em defesa da paz mundial, dialogando com o historiador britânico, Arnold J. Toynbee (1984) expressa: “Na realidade, a maior parte da ciência moderna surgiu da luta contra os desastres. Hoje porém os desastres não naturais, provocados pelo homem, ameaçam pôr fim à existência do gênero humano. Através do emprego maciço da ciência o homem chegou a desenvolver uma capacidade de causar desastres maior que os da natureza.” Ao que Toynbee enfatiza: “A ciência continuará sendo empregada com fins destrutivos se trabalharmos com a crença de que a natureza exista para o homem.”

Erich Fromm, 1981, constata que as posturas observadas outrora, como: “A promessa de um progresso ilimitado, que motive a esperança e fé de gerações, existente desde o início da revolução industrial” ou “... o estabelecimento de uma nova ciência, que tem a observação e o conhecimento da natureza como pré-requisito para sua dominação”, assim proclamada por Francis Bacon em 1620 na obra *Novum Organum*, não mais satisfazem as sociedades atuais.

Esta preocupação permeia também as expectativas de políticos contemporâneos, como o alemão social-democrata Oskar Lafontaine (1988): "... à desmistificação teórica da natureza seguiu-se imediatamente o desdobramento de suas forças – incluindo as forças destruidoras. O nosso mundo apresenta riscos principalmente onde a produção técnica emancipou-se da sociedade."

A edição especial da revista *Scientific American* com o título: "Managing Planet Earth" de 1989 foi inteiramente dedicada aos problemas ambientais que atingem o homem contemporâneo. William D. Ruckelshaus (1989) resume: "A Terra e suas criaturas são consideradas as propriedades da humanidade, um presente do sobrenatural. O homem coloca-se fora da natureza, encarada como um campo de experimentos passivo que ele domina, controla e manipula. ... A tecnologia avançada reforça o pressuposto básico de que não há, essencialmente, limites para o poder do homem sobre a natureza."

Pelo menos desde a publicação dos primeiros estudos do Clube de Roma a humanidade foi confrontada com a existência destes limites, isto é, com as consequências danosas da apropriação que faz do planeta Terra. O Relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade, isto é, "Limites do Crescimento" (Meadows, 1978) sintetiza em cinco os fatores básicos que limitam o crescimento: população, produção agrícola, recursos naturais, produção industrial e poluição e resume: "O objetivo evidente no atual sistema mundial consiste em aumentar a população proporcionando-se mais alimentos, bens materiais, ar puro e água para cada pessoa. Notamos ... que se a sociedade continuar a lutar por este objetivo, finalmente atingirá uma das muitas limitações terrestres."

Isto foi escrito em 1972. Infelizmente, desde então, a situação do globo não sofreu alterações para melhor. Em 1989 Ruckelshaus anota que "... nos últimos 15 anos, eleições após eleições registraram que o povo americano deseja maior proteção ambiental, enquanto isso, a maior parte da população participa do estilo de vida que mais gera resíduos e que mais polui, dentre os países industrializados. Os valores encontram-se lá; as motivações e instituições apropriadas são patentemente inadequadas ou inexistentes."

A conscientização das pessoas, apesar de conflitante com seu modo de vida, talvez permita que mudanças efetivas venham a acontecer. Existe um consenso

entre os intelectuais aqui citados. Sejam eles originários de diferentes áreas do conhecimento, tais como a psicologia, a história, a filosofia, a política ou a ciência *latu sensu*, todos sem exceção, alertam, que a solução equilibrada passa por uma mudança de valores.

Em “Limites do Crescimento” adverte-se: “As opções são particularmente difíceis ..., porque implicam na escolha entre benefícios presentes e benefícios futuros. A fim de garantir-se a disponibilidade de recursos adequados no futuro, é necessário que se adotem planos de ação que façam decrescer o uso atual de reservas. A maioria destes planos opera mediante a elevação dos custos dos recursos naturais. A reciclagem e um melhor padrão de produto custam caro; na maior parte do mundo, hoje em dia, eles são considerados ‘antieconômicos’. Contudo, mesmo se eles fossem eficazmente instituídos, o sistema estaria sendo empurrado em direção ao seu limite – esgotamento das reservas não-renováveis do mundo – desde que os ciclos propulsores de realimentação da população e do crescimento industrial continuassem a gerar mais pessoas e maior procura de reservas, *per capita*.” Continua: “Finalmente, afirmamos que qualquer tentativa deliberada para atingir um estado de equilíbrio racional e duradouro, através de medidas planejadas, e não por meio de acasos e catástrofes, deve ser fundamentada, em última análise, em uma mudança básica de valores e objetivos em níveis individuais, nacionais e mundiais.”

Para Erich Fromm “... desta vez o objetivo não será dominar a natureza, mas sim, dominar a técnica, as forças irracionais da sociedade e instituições, que ameaçam a sobrevivência da sociedade ocidental, e talvez mesmo, da humanidade.” Toynbee também só consegue ter perspectivas positivas através de mudanças: “Sim, poderemos afastar a atual ameaça à sobrevivência da humanidade unicamente através de uma mudança revolucionária na atitude dos indivíduos humanos.”

Oskar Lafontaine resume sua idealização do progresso para uma sociedade futura: “O progresso unilateralmente tecnológico e econômico não foi ‘progressista’ o suficiente, não foi ‘iluminado’ o suficiente, porque não considerou as consequências humanas e ecológicas. O progresso verdadeiro e completo é aquele que conduz a mais humanidade, a mais solidariedade, a mais liberdade.”

As relações homem *versus* natureza, para Ruckelshaus, passam por três premissas: "1. A espécie humana é parte da natureza. Sua existência depende de sua habilidade de projetar sustento a partir de um mundo finito; sua continuidade depende de sua habilidade em não destruir sistemas naturais que regenerem este mundo. 2. A atividade econômica tem que contabilizar os custos ambientais da produção. 3. A manutenção de um meio ambiente global onde se possa viver depende do desenvolvimento sustentável para a totalidade da família humana."

Constatamos que as preocupações com o esgotamento dos recursos não-renováveis e com a deterioração, ou mesmo, a destruição dos recursos renováveis é um tema com o qual todos nos confrontamos, em graus diferenciados, no dia a dia. Esses problemas não 'respeitam' as fronteiras políticas entre países, atingem, indiferentemente, países desenvolvidos ou em desenvolvimento. No caso do Brasil, onde ainda não se oferecem condições dignas de vida para a grande maioria de sua população, é premente a necessidade de preservar o meio ambiente antes que o processo de deterioração esteja demasiado avançado. Os problemas de poluição dos litorais, devido a derramamentos de óleo ou a efluentes industriais e domésticos, a contaminação de rios com metais pesados, são exemplos importantes de degradação do meio ambiente que influem na vida, tanto de populações costeiras e ribeirinhas, quanto dos consumidores de produtos oriundos daquelas regiões. Por outro lado, frente à situação mundial e diferentemente de outros países, temos percentuais significativos de recursos naturais. Essa condição nos dá a oportunidade de termos uma postura de preservação anteriormente, ou mesmo, paralelamente a alternativas de reabilitação. A preocupação mundial sobre as reservas brasileiras é um retrato do temor, em função do atual quadro político e ambiental do país, de que aqui sejam repetidos os erros cometidos no passado pelos países desenvolvidos.

Na discussão sobre recursos naturais, a água tem um papel de destaque, por ser imprescindível à existência dos seres vivos. A Carta Européia de Água, promulgada pela Comunidade Européia em Strassbourg em maio de 1968, orienta as atividades humanas relacionadas aos recursos hídricos diante das questões de uso, conservação, proteção e controle. Um criterioso planejamento de recursos hídricos é imprescindível para que se possa dispor, no tempo e no espaço do recurso natural "água".

Neste contexto nosso objetivo é contribuir para a tomada de decisão sobre o aproveitamento dos recursos hídricos, em função de uma perspectiva de planejamento ambiental, onde as diretrizes baseiam-se nas limitações da paisagem; na interpretação dos rios como recursos sem fronteiras; na compreensão da água como recurso renovável, inserido num sistema fechado e sensível a manipulações e, finalmente, na premissa de que o homem é, simplesmente, um dos componentes do sistema vivo e dependente do recurso que pretende manipular.

A estratégia para alcançar o objetivo acima é o uso de método multicritério apropriado para ajuda à decisão, no caso do problema recair sobre alternativas discretas, enfocando critérios de seleção de caráter legislativo, ambiental, social, técnico e econômico. Para uma aplicação mais concreta do trabalho elaborado, o método foi incorporado a uma metodologia para seleção de sítios potenciais para aproveitamentos hidrelétricos reversíveis.

Este enfoque globalizante é primordial para os estudos de planejamento, em geral. Traçando, pertinentemente, um paralelo entre o planejamento de recursos hídricos e o planejamento energético, podemos incorporar de Bajay, 1989: "A energia se relaciona com todos os setores produtivos, conseqüentemente as decisões referentes à energia produzem efeitos nos diversos domínios da economia." Onde, nesta frase, encontra-se *energia* pode-se, perfeitamente, substituir por *recursos hídricos*. Como nos projetos relativos à energia, as decisões sobre o aproveitamento dos recursos hídricos são de longo prazo e envolvem investimentos de grande monta. Esta complexidade reflete-se no grande número de métodos de ajuda à decisão existentes, na quantidade de programas computacionais e de publicações sobre o assunto.

### Escopo do problema

O tema desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma metodologia de seleção de alternativas relativas ao aproveitamento de recursos hídricos, incluindo um método multicritério de ajuda à decisão.

Esta metodologia deverá reduzir um universo constando de grande número de alternativas para uma quantidade significativamente menor, permitindo incorporar, não somente as variáveis técnico-econômicas mensuráveis ou tangíveis,

mas também variáveis intangíveis e que são altamente relevantes na tomada de decisão, tais como: aspectos sociais, legais, ambientais e políticos. A metodologia poderá simular enfoques variados como, por exemplo, a visão da comunidade local, do empreendedor e da sociedade, entre outras.

A redução quantitativa no número de alternativas é plenamente justificada posto que, na fase de planejamento de implantação de Usinas Hidrelétricas, é comum o tomador de decisões encontrar-se diante do problema de ter que escolher, dentre numerosas alternativas, aquelas que têm a possibilidade de ser as mais viáveis, de modo que os recursos financeiros e de tempo destinados à realização de inventários venham a ser mais eficientemente alocados num universo bem mais reduzido de alternativas a investigar.

Apesar de aqui estarmos restritos aos recursos hídricos, é conhecido, através de inúmeros trabalhos sobre o assunto, que procedimentos semelhantes são empregados com sucesso em processos de decisão relativos ao aproveitamento de recursos naturais como um todo.

O estudo de caso será aplicado ao potencial energético reversível do Estado de São Paulo. Tal escolha deveu-se ao fato de que para o Estado de São Paulo foram determinados 341 locais para usinas hidrelétricas reversíveis, em estudo de pré-inventário realizado pela CESP em convênio com o IPT, documentados em relatórios do IPT, datados de 1979, 1981 e 1982.

Inicialmente serão detectadas as alternativas que podem ser descartadas do processo de decisão. Em seguida, as alternativas restantes serão submetidas a uma técnica de tomada de decisão (baseada no Método Analítico Hierárquico de *Saaty*, 1977, e nos algoritmos *Electre I* e *II Roy*, 1981). A proposta de combinação entre os dois métodos citados é inédita e sua importância reside no fato de contribuir para reduzir a subjetividade na determinação dos pesos dos critérios de julgamento.

Através do processo de decisão proposto, as alternativas deverão ser reduzidas e, em seguida, hierarquizadas dentro da visão geral que o método impõe.

## Objetivos

De acordo com a proposta acima os resultados do estudo deverão compreender: em primeiro lugar, o desenvolvimento de uma metodologia de seleção, adequada ao empreendimento, abrangente, porém, simples, econômica e rápida, e, em segundo lugar, permitir a seleção dos melhores sítios de forma a otimizar os investimentos necessários para a realização de inventários.

## Conteúdo

Para atingir os objetivos acima descritos o trabalho foi dividido em três partes. A primeira parte, abrangendo os dois primeiros capítulos, consiste no estudo de métodos multicriteriais de decisão e na formulação de uma nova técnica, que introduz de forma inédita inovações, através de dois algoritmos já existentes (Método Analítico Hierárquico e Método Electre). A segunda parte discorre sobre aspectos de usinas hidrelétricas reversíveis (capítulo três) e sobre o potencial energético reversível do Estado de São Paulo (capítulo quatro). Finalmente, a terceira parte do trabalho é a síntese das linhas de estudo e consiste no capítulo cinco, que apresenta uma metodologia para seleção de sítios potenciais para implantação de conjuntos reversores, e no capítulo seis, um estudo de caso, onde aquela metodologia é aplicada aos sítios cadastrados pelo estudo de pré-inventário citado anteriormente.

Apesar de percebermos a magnitude dos problemas expostos no início deste texto e de estarmos conscientes de que a dissertação, como se pode observar através dos objetivos expostos, é apenas uma pequena peça dentro de um sistema complexo, esperamos, ainda assim, contribuir para que a engenharia civil, sabidamente um setor da sociedade com tradição em provocar marcantes mudanças no meio ambiente, continue o processo renovador de incorporar componentes outras em seus projetos que não somente elementos técnicos e econômicos.



## Parte I

# Métodos Multicriteriais de Ajuda à Decisão

Os recursos naturais, e em lugar especial, a 'água', apesar de serem finitos, foram até bem pouco tempo, utilizados irrestritamente. No caso da água a experiência internacional mostra que, tradicionalmente, existem diferentes órgãos responsáveis por seus diferentes usos.

No Brasil, no Estado de São Paulo, por exemplo, o DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) é responsável pelo aproveitamento hidráulico, a CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental) controla a qualidade ambiental, a CESP (Companhia Energética do Estado de São Paulo) responde pela matriz energética do Estado, a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) atua nas áreas de abastecimento e de tratamento de esgotos e as Prefeituras, através de seus planos diretores, influem diretamente na hierarquização dos usos da água<sup>1</sup>. Também não devemos esquecer a influência dos grupos empreiteiros, que, historicamente, representam um papel de destaque nas decisões políticas do país.

Cada órgão tem diferentes propostas em relação ao corpo hídrico. Estas propostas de usos, podem ser divididas em três grandes grupos: usos visando conservação (abastecimento, hidreletricidade, navegação, pesca, recreação); usos com caráter de depositário (drenagem urbana e agrícola, deposição de esgotos, descarga de efluentes) e uso com caráter de regularização (retenção de cheias).

É fácil notar que os grupos tem interesses conflitantes, por exemplo a conservação da qualidade e quantidade do líquido no corpo hídrico, interesses do primeiro grupo, é conflitante com a utilização do corpo hídrico como depósito e diluidor de efluentes, reivindicações do segundo grupo. Além disso, dentro de um mesmo grupo, os interesses concorrem entre si: os usos para abastecimento e geração hidrelétrica concorrem à mesma água de um corpo hídrico. O gerenciamento e planejamento de recursos hídricos tornam-se ainda mais complexos devido à incerteza sobre a ocorrência de chuvas.

A preocupação crescente com a qualidade do meio ambiente e a conscien-

---

<sup>1</sup>Constituição Federal Art.182 parágrafo 1.º: O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

tização do caráter finito dos recursos naturais, mormente dos recursos hídricos, provocaram a criação e o fortalecimento de órgãos governamentais, como por exemplo a SMA (Secretaria de Meio Ambiente), e de inúmeras entidades ambientalistas existentes hoje no Estado de São Paulo.

Deste modo, endossamos as palavras de *Jamieson*, 1986: "o gerenciamento de recursos hídricos é, basicamente, um exercício de resolução de conflitos".

As técnicas multicriteriais de ajuda à decisão são valiosas na medida em que, por um lado, 'determinam de que modo e em que quantidade os diferentes critérios se compensam e, por outro lado, 'ajudam os tomadores de decisão a expressar seus valores e fazerem uma escolha de modo racional, consistente e documentada', segundo *Duckstein*, 1989.

Nesta primeira parte procederemos ao estudo, generalizado, dos métodos multicriteriais existentes. Posto que há uma literatura bem extensa sobre o assunto, o enfoque dado para uma sistematização, ou melhor, para uma classificação dos métodos é variado. Apesar de ser necessário restringir este estudo a algumas obras, gostaríamos de apresentar aqui o enfoque de *Duckstein*, onde a classificação de métodos multiobjetivos é feita de maneira diferente da adotada no próximo capítulo:

#### 1. Técnicas baseadas em hierarquia

Essas técnicas utilizam relações de hierarquia entre as alternativas para selecionar aquela mais 'satisfatória', por exemplo: Electre e Matriz de Prioridades.

#### 2. Técnicas baseadas em relações de distância

Estes métodos utilizam o conceito geométrico de 'distância' para escolher a solução 'satisfatória'; a maior parte destes métodos define um ponto de referência e escolhem a alternativa que minimize alguma medida de distância a esse conjunto de valores de referência. Entre estas encontramos: Compromise Programming, Cooperative Game Theory, Goal Programming.

#### 3. Técnicas baseadas em funções valor ou utilidade

Esses procedimentos tentam modelar matematicamente a estrutura de preferência do tomador de decisão através de uma *função valor* (se o problema

é determinístico) ou de uma *função utilidade* (se há algum risco envolvido no problema). Para problemas multiobjetivos, as funções utilidade podem, em princípio, fornecer uma ordenação completa das alternativas; desta forma, a alternativa que produz a maior utilidade será a escolhida.

#### 4. Técnicas mistas

Possuem elementos de dois ou mais dos tipos de técnicas decritos acima.

Os dois próximos capítulos seguem, basicamente, a classificação sugerida em: *Wasserwirtschaftliche Planung bei mehrfacher Zielsetzung* de H. P. Nachtnebel (1988) e *Multiobjective Programming and Planning* de Jared L. Cohon (1978).

Segundo esses autores a pesquisa multiobjetiva pode ser classificada em 3 áreas: problemas multiobjetivos contínuos (primeiro capítulo), problemas multiobjetivos discretos (segundo capítulo) e planejamento multiobjetivo (não será aqui abordado, posto que, segundo nossas intenções, ultrapassa o escopo deste trabalho).

Cabe também citar *Cohon* (1978) que define a diferença entre *ideal* e *objetivo*: "... 'ideal'- uma declaração generalizada e qualitativa, com a qual a maioria das pessoas concordará - e um 'objetivo' (ou critério) - uma declaração operacionalmente eficiente, coerente com um determinado ideal, mas com a qual nem todos concordam".

Isto é, 'ideal' é uma linha de pensamento abrangente que pode ser subdividida em objetivos. O ideal da viabilidade econômica de um projeto pode ser concretizado através de vários objetivos, entre eles, a minimização dos custos, ou ainda, o ideal da defesa e preservação do meio ambiente através, por exemplo, da maximização do teor de oxigênio da água.

# Capítulo 1

## Métodos multiobjetivos contínuos

Os métodos multiobjetivos contínuos não se caracterizam pela pré-definição de um conjunto de alternativas, e sim pela formulação de um modelo que inclui as variáveis de decisão, restrições e múltiplas funções objetivo, de modo a gerar alternativas.

Um problema é considerado contínuo quando as variáveis de decisão, que são determinantes para as alternativas, podem assumir quaisquer valores que satisfaçam às restrições adotadas para o sistema em questão. Por exemplo: a determinação do volume de um reservatório que satisfaça múltiplos usos é um problema que pode ser resolvido por métodos multiobjetivos contínuos, já que o resultado procurado pertence a um conjunto de números contínuos<sup>1</sup>. Ou ainda, a determinação da vazão mínima de um rio que tem parte de sua vazão afluyente desviada para gerar energia elétrica, de modo a conservar em parte sua qualidade ambiental<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> *Haimes* (1975), exemplos de aplicação.

<sup>2</sup> *Nachtnebel* (1988) exemplos de aplicação.

## Classificação dos métodos multiobjetivos contínuos

A classificação de técnicas segundo *Nachtnebel* e *Cohon* diferenciam-se pela direção do fluxo de informação.

- **Técnicas geradoras de soluções não-inferiores<sup>3</sup>**

Neste caso o analista não possui um quadro de preferências pré-estabelecidas, gera um conjunto de alternativas não-inferiores e as fornece ao tomador de decisão. Neste grupo encontramos: Método dos Pesos, Método das Restrições, Método da Estimativa do Conjunto Não-inferior (NISE), Método Simplex.

- **Técnicas que incorporam preferências a priori<sup>4</sup>**

Aqui os tomadores de decisão articulam suas preferências e passam tais informações ao analista. Entre estas técnicas encontramos: Multiattribute Utility Functions, Prior Assessments of Weights, métodos baseados na definição geométrica de proximidade como: Compromise Programming, Programação por Metas (Goal-Programming), Surrogate Worth Tradeoff Method.

- **Técnicas iterativas<sup>5</sup>**

Durante o processo de solução, o fluxo de informação se dá nos dois sentidos: o tomador de decisão indica suas preferências e os resultados vão

---

<sup>3</sup>Uma solução viável de um problema multiobjetivo é não-inferior se não há outra solução viável que possa apresentar melhores valores em um objetivo sem causar degradação em pelo menos um outro objetivo, *Cohon* pg. 70.

<sup>4</sup>As preferências podem ser articuladas de vários modos: podem ser assumidas pelo analista, pelos tomadores de decisão ou articuladas progressivamente, através de interação analista-computador. As preferências são representadas de diversas formas: pesos, restrições, objetivos, funções utilidade e outros, *Cohon* pg. 163.

<sup>5</sup>Os métodos operam de forma iterativa quando são consideradas, sucessivamente, soluções não-inferiores, através das direções definidas pelo tomador de decisão. O processo termina quando o tomador de decisão se satisfaz ou quando mais iterações não modificam a solução, *Cohon* pg. 200.

sendo modificados iterativamente até se tornarem aceitáveis. Deste modo, através da atuação direta do tomador de decisão no processo de avaliação, obtém-se um melhor entendimento das reações do sistema. Encontram-se aqui técnicas como: STEM Method, Otimização sequencial de vetores (SEMOPS) e outras.

Segue breve exemplificação de algumas técnicas, pertencentes ao grupo de técnicas que incorporam preferências. Para a técnica *Compromise Programming* a solução ideal pode ser descrita através do vetor

$$f^* = [f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*],$$

onde  $f_i^*$  é o melhor valor, dentre as alternativas  $X \in A$ , do critério  $i$ .

Uma das maneiras comuns de se medir a proximidade da alternativa a essa solução ideal é através da expressão:

$$\min_{x \in A} \left\{ L_p(x) = \left[ \sum w_i (f_i^* - f_i(x))^p \right]^{1/p} \right\}$$

onde os pesos  $w_i > 0$  indicam a importância relativa dos objetivos para o tomador de decisão e  $1 \leq p \leq \infty$ . Quando  $p = \infty$  o maior desvio domina completamente a medida de distância.

Já a técnica *Goal Programming* escolhe a alternativa que minimiza a distância a um conjunto de valores  $G_i$ , escolhidos pelo tomador de decisão, e que não precisam ser iguais a  $f_i^*$ .

Um exemplo de função utilidade com múltiplos atributos (Multiattribute Utility Functions) é

$$\max U(X) = \sum_{i=1}^n w_i U_i(x_i)$$

onde  $U(X)$  representa a utilidade global de uma alternativa  $X$ , sendo que  $X$  é descrito por um vetor de atributos  $\{x_i\}$ .  $U_i(x_i)$  descreve uma única função valor, transformando o atributo  $x_i$  em uma medida de utilidade, sendo que  $w_i$  representa a importância ou o peso deste atributo.

É importante notar que o valor dos pesos, a critério dos decisores do processo de escolha, é determinante para os resultados obtidos por estes métodos .



## Capítulo 2

# Métodos multiobjetivos discretos

No caso da existência de alternativas discretas pré-estabelecidas e com a perspectiva de se levar em consideração variáveis intangíveis (não quantificáveis e dificilmente expressas por funções), tais como, por exemplo, aspectos legais ou sociais, torna-se de grande vantagem a utilização de métodos multiobjetivos discretos. O método da Matriz de Prioridades e o método Electre permitem este tipo de abordagem. Além de serem matematicamente simples, característica essa positiva para utilização por equipe multidisciplinar ou mesmo por um único tomador de decisão, cremos que forneçam resultados coerentes para os objetivos deste trabalho.

## 2.1 Método Analítico Hierárquico

O Método Analítico Hierárquico de Saaty (1980), serve para selecionar e ordenar alternativas que devam satisfazer múltiplos objetivos.

Inicialmente os objetivos são comparados entre si. Tal comparação, feita por uma equipe multidisciplinar, resulta em uma matriz de comparação  $\underline{B}(n \times n)$ , onde o elemento  $b_{ij}$  em (1) indica o grau de superioridade do objetivo  $i$  sobre o objetivo  $j$ .

$$b_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (2.1)$$

onde:

$w_{i(j)}$  = peso do objetivo  $i(j)$

Essa matriz apresenta elementos positivos e é uma matriz recíproca, isto é,

$$b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}} \quad (2.2)$$

Saaty (1977) assegura a existência de um maior autovalor positivo para matrizes de elementos positivos, sendo o correspondente autovetor o vetor de pesos. A matriz de comparação fornecerá, assim, o vetor  $W$ , ou melhor, o vetor de pesos dos  $n$  objetivos. Isto é conseguido através do seguinte artifício:

$$\underline{B}W' = NW' \quad (2.3)$$

$$(\underline{B} - N\underline{I})W' = 0 \quad (2.4)$$

As equações 2.3 e 2.4 somente apresentarão uma solução diferente de 0, se e

somente se,  $N$  for um autovalor de  $\underline{B}$ , sendo  $W$  o autovetor correspondente e  $I$  a matriz identidade. Quando os elementos de  $\underline{B}$  forem obtidos através da opinião de um ou mais especialistas é muito provável que a reciprocidade dos elementos indicados na equação 2.2 não mais se verifique, isto é, que a matriz  $\underline{B}$  não seja "consistente". Para se avaliar o grau de consistência da matriz, acha-se o índice de consistência  $C$  na equação 2.5.

$$C = \frac{(N_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (2.5)$$

onde:

$N_{max}$  = o maior autovalor encontrado e

$n$  = número de critérios considerados.

Quanto mais próximo de 0 o valor de  $C$ , maior é a consistência da matriz de comparação. Se tal índice for pequeno, o correspondente autovetor é a solução procurada. O número de objetivos a serem comparados deve estar entre 5 e 9, já que, segundo experimentos na área de psicologia (conferir em Saaty, 1977 e 1980), um indivíduo consegue fazer comparações simultâneas entre até 7 objetivos (com um desvio de 2 objetivos).

Em seguida constróem-se matrizes onde os elementos representam a comparação das alternativas, relativas a um determinado critério. Desta maneira, resultam  $n$  matrizes e seus correspondentes  $n$  autovetores, de modo a se ter uma informação de como cada alternativa responde a cada critério. A matriz  $\underline{A}$  formada pelo conjunto destes autovetores recebe o nome de matriz de prioridades. O produto de  $\underline{A}$  pelo vetor pesos  $W$  resulta em um vetor  $P$ , cujos elementos indicam como cada alternativa responde ao conjunto total de objetivos. Em Braga, Rocha (1988) e Zinuany-Stern (1988) encontramos aplicações interessantes deste procedimento.

## 2.2 Electre

O método de Benayoun, Roy e Süssman (1966) detecta, entre as várias alternativas para um problema multiobjetivo, aquelas alternativas dominantes, isto é, aquelas alternativas não inferiores. As soluções encontradas pela aplicação do método apresentam, também, a característica de não ultrapassarem um nível de descontentamento, convencionalmente inaceitável, para todos os critérios (ver também Duckstein et al., 1989 e Roy, Vincke, 1981). Para isso deve-se proceder à seqüência de procedimentos abaixo:

Inicialmente determina-se a matriz  $A(n \times m)$ , isto é, com  $n$  critérios e  $m$  alternativas. Os elementos  $a_{ij}$  espelham o nível de expectativa da equipe avaliadora de que a alternativa  $i$  corresponda satisfatoriamente ao critério  $j$ . Em seguida, atribuem-se pesos aos critérios.

Através de  $A$  e com os valores dos pesos dos critérios, são determinadas mais duas matrizes: a matriz de concordância  $C$ , cujos elementos são os índices de concordância  $i_{C_{ij}}$ , descritos, em 2.6

$$i_{C_{ij}} = \frac{\sum_{i \in C_{ab}} w_i}{W} \quad (2.6)$$

e a matriz de discordância  $D$ , cujos elementos são os índices de discordância  $id_{ij}$ , equações 2.7 e 2.8.

para  $a_{ik} \leq a_{jk}$ :

$$id_{ij} = \frac{\max(a_{jk} - a_{ik})}{L_k} \quad (2.7)$$

para  $a_{ik} \geq a_{jk}$ :

$$id_{ij} = 0 \quad (2.8)$$

onde:

$$W = \sum_{i=1}^n w_i,$$

$w_i$  = peso do critério  $i$

$C_{ab}$  = conjunto de critérios em que  $a$  é preferível ou indiferente a  $b$ .

$k$  = critério, varia de 1 a  $n$  e

$L_k$  = maior variação entre os valores da escala do critério  $k$ .

O índice de concordância ( $ic_{ij}$ ) indica a percentagem de pesos em que alternativa  $i$  supera alternativa  $j$ , isto é, o grau de contentamento (em %) da alternativa  $i$ , comparada com a alternativa  $j$ , relativo à satisfação dos objetivos. O índice de discordância ( $id_{ij}$ ) indica a maior discrepância ou desconforto, independente de critérios e pesos, entre as alternativas  $i$  e  $j$ , isto é, o grau de descontentamento, comparadas as alternativas  $i$  e  $j$ , em relação aos objetivos em geral e não ao objetivo mais importante.

Em seguida, definem-se  $p$  e  $q$  – os valores limites adotados respectivamente para  $ic_{ij}$  e  $id_{ij}$  –, ou melhor, os valores de tolerância simultânea que o tomador de decisão está disposto a aceitar. De posse das matrizes de concordância e de discordância e dos valores limites, determina-se o conjunto de alternativas que satisfaça simultaneamente tais valores limites, isto é,  $ic_{ij} \geq p$  e  $id_{ij} \leq q$ . Tal

conjunto de alternativas apresenta, garantidamente, um grau de satisfação  $p$  em relação aos objetivos adotados e um desconforto menor ou igual a  $q$ . Como se pode observar, por um lado, a matriz de concordância depende fundamentalmente dos pesos adotados para os diferentes critérios e, por outro lado, a matriz de discordância é independente de tais valores.

## 2.3 Método proposto

Nos processos de tomada de decisão em projetos multicriteriais, a fase de determinação da importância (ou peso) dos diferentes critérios é, geralmente, de caráter predominantemente subjetivo. Os resultados obtidos no algoritmo Electre, acima abordado, dependem sensivelmente da atribuição inicial de pesos, determinados pelo tomador de decisão ou por uma equipe de tomadores de decisão. Já no Método da Analítico Hierárquico (MAH) o valor dos pesos dos critérios é, provavelmente, menos “passível de manipulação”. Já que os pesos são a síntese de uma matriz de comparação, cujos elementos resultam da comparação, dois a dois, entre os critérios de avaliação. Através do algoritmo do Método da Analítico Hierárquico determinaremos, com redução substancial da subjetividade, o valor dos pesos dos critérios a serem utilizados pelo algoritmo Electre. Os resultados obtidos, ou melhor, as hierarquizações encontradas serão submetidas a uma análise de sensibilidade com o intuito de reduzir a vulnerabilidade da atribuição viesada ou arbitrária dos pesos.

O problema a ser resolvido consiste na classificação hierárquica de um número  $m$  de alternativas, considerando-se múltiplos critérios e consiste nos procedimentos abaixo:

1. Dadas  $m$  alternativas de solução para o problema contemplado, uma equipe multidisciplinar estabelece a relação de  $n$  critérios relevantes na procura da melhor solução.
2. As alternativas de solução para o problema são avaliadas segundo os critérios anteriores, obtendo-se, assim, a matriz  $A(m \times n)$  (figura 2.1). Cada elemento  $a_{ij} \in A$  indica como a alternativa  $i$  ( $1 \leq i \leq m$ ) corresponde ao critério  $j$  ( $1 \leq j \leq n$ ).  $A$  é única.

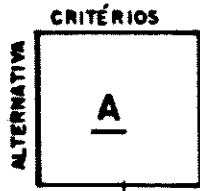


Figura 2.1: Matriz de avaliação das alternativas.

3. São estabelecidos  $r$  diferentes enfoques  $E$  (figura 2.2) na comparação entre os critérios (por exemplo: visão do empreendedor, da comunidade local, de grupos ambientalistas). Permitindo-se a avaliação do problema através de diferentes setores da sociedade, obtém-se o conjunto de possíveis soluções. Os decisores podem avaliar as consequências de cada solução encontrada, prever os “riscos” dela decorrentes e determinar se estes riscos podem ou não ser assumidos. Deste modo, simulando-se os enfoques, isto é, as diferentes posturas da sociedade, criam-se cenários futuros distintos. As soluções que permanecerem preferenciais nestes diferentes cenários são as soluções robustas procuradas.

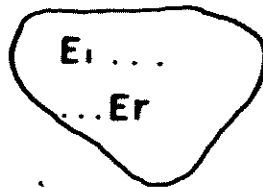


Figura 2.2: Conjunto de enfoques existentes.

4. Cada critério é comparado com os demais, determinando-se, desta forma, a matriz de comparação  $\underline{B}(n \times n)$ , cujo elemento  $b_{jl} \in \underline{B}$  indica a importância do critério  $j$  relativa ao critério  $l$ . Esta comparação é efetuada simulando-se os diferentes enfoques acima. Deste modo, são encontradas matrizes de comparação  $\underline{B}_k$ , com  $(1 \leq k \leq r)$ . Quando  $j = l$ ,  $b_{jl} = 1$ .
5. De  $\underline{B}$  calcula-se o maior autovalor real e seu correspondente autovetor, isto é, o vetor de pesos dos critérios  $W$ . O vetor encontrado possui  $n$  elementos  $W_j$  que representam a importância relativa de cada critério  $j$ . Para cada  $\underline{B}_k$  encontra-se um vetor  $W_k$ , com  $(1 \leq k \leq r)$ . Para cada enfoque é obtido um vetor de pesos, isto é, são obtidos “ $r$ ” vetores pesos (figura 2.3).

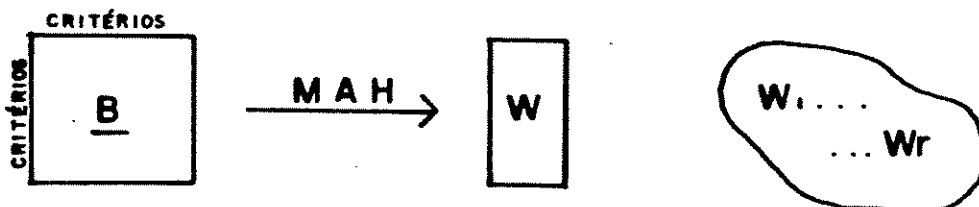


Figura 2.3: Obtenção do conjunto de vetores pesos.



6. Aplicando-se, pelo algoritmo Electre I (EI), cada vetor  $W_k$  em  $A$ , determinam-se matrizes de concordância  $C$  ( $m \times m$ ) em número  $r$  (figura 2.4), posto que para cada vetor  $W_k$  existe uma matriz  $C_k$  com elementos  $c_{ij} \in C$ .

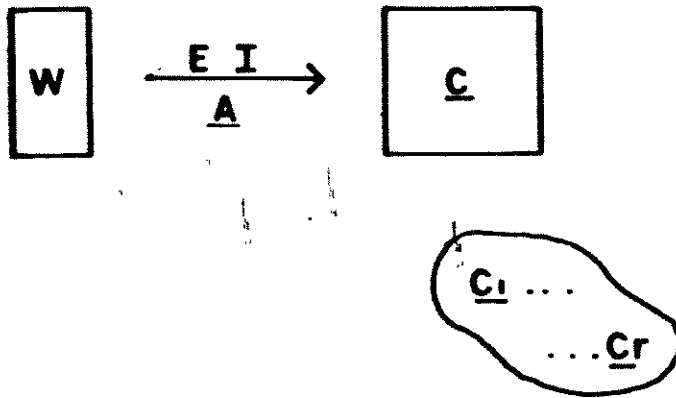


Figura 2.4: Obtenção do conjunto de matrizes de concordância.

7. O algoritmo Electre I fornece ainda a matriz de discordância  $D$  ( $m \times M$ ), que é única, já que independe dos valores dos pesos, representada por elementos  $d_{ij} \in D$
8. Adota-se um conjunto de valores limites  $VL$ , composto de um par de valores limites rígidos  $(p^*, q^*) = (1, 0)$  e de um par de valores limites relaxados  $(p_i, q_i)$ , isto é, o grau de tolerância que o tomador de decisão está disposto a aceitar (à medida que  $p$  se afasta de 1 e  $q$  de 0, as soluções tornam-se indeterminadas). Os valores limites adotados dependem dos pesos dos critérios. No caso de existirem  $s$  pares de valores limites relaxados e  $r$  vetores pesos, obtém-se um total de  $rxs$  conjuntos de valores limites.
9. De posse de  $C$  e  $D$  e dos valores limites procede-se à determinação das alternativas que pertençam ao conjunto não-dominado, isto é, quando  $c_{ij} \geq p$  e  $d_{ij} \leq q$  a alternativa  $i$  é não-dominada. Uma vez que o conjunto de matrizes  $C$  é composto por  $r$  elementos e que o conjunto de valores limites contenha  $s$  elementos, é encontrado um conjunto de  $(rxs)$  elementos de classificações de alternativas, isto é, de hierarquizações  $H$  (figura 6.7). Este conjunto será submetido à hierarquização, de acordo com o algoritmo

Electre II (EII), também utilizado em Singer, 1983 e em Fricke, Singer, 1988.

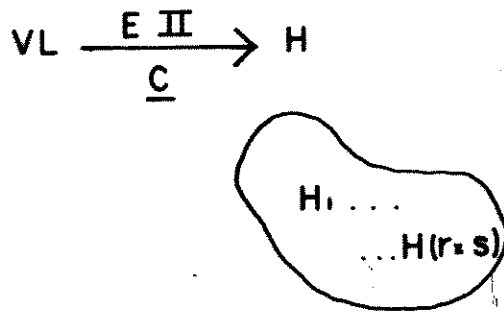


Figura 2.5: Conjunto de hierarquizações obtidas.

10. Este conjunto de soluções é analisado no sentido de detectar soluções robustas, isto é, aquelas alternativas que permanecem em posição privilegiada apesar dos diferentes enfoques simulados e apesar da variação dos pesos dos critérios considerados. Isto é feito através de um gráfico de barras, onde encontra-se indicada a frequência (figura 6.8) com que cada alternativa aparece em primeiro e em último lugar na classificação.

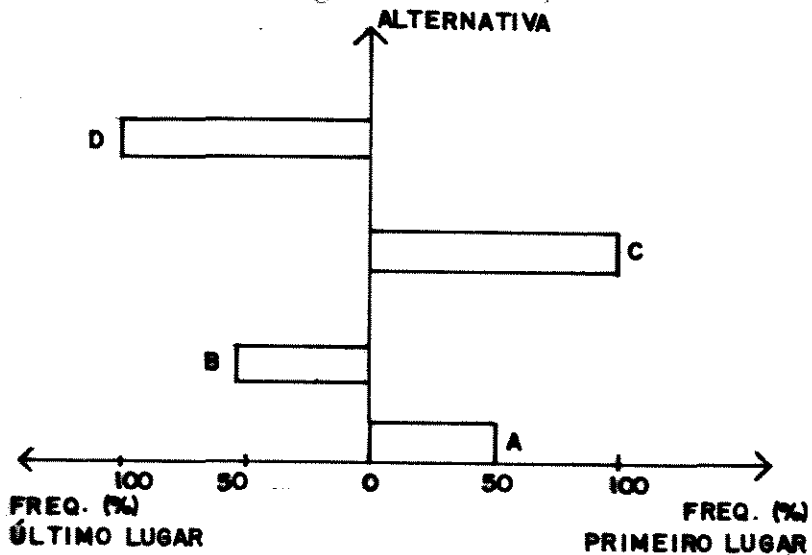


Figura 2.6: Frequência de classificação das alternativas extremas.

O método de seleção multicriterial apresentado, possibilita incorporar, sistematicamente, aspectos relevantes, que ultrapassam a tradicional ótica técnico-econômica, no processo de seleção de alternativas e detectar, no caso da existência de numerosas alternativas de solução para determinado problema (situação freqüente na fase de pré-inventário de projetos no âmbito dos recursos hídricos), aquelas alternativas menos viáveis, que serão descartadas, e aquelas que apresentem maior viabilidade, sob os mais diferentes aspectos. Deste modo, assegura-se uma otimização na aplicação de recursos disponíveis, tanto financeiros quanto de tempo, para os estudos posteriores, isto é, os estudos de inventário, através de metodologia simples e eficaz.

## **Parte II**

# **Usinas Hidrelétricas Reversíveis e Potencial Hidrelétrico Reversível do Estado de São Paulo**

A crise no setor elétrico motivou a reavaliação das políticas energéticas vigentes e das fontes tradicionais de energia.

Dentre os atuais desafios relacionados ao problema energético em geral, pode-se citar: a necessidade de estabelecer novas fontes de energia primária, o desenvolvimento de métodos de conservação de energia, o aumento da eficiência e a redução de custos dos equipamentos geradores e consumidores de energia e também o desenvolvimento de sistemas que armazenem energia (Kalhammer, 1979).

Energia armazenada pode ser posteriormente liberada sob a forma de carga de ponta, propiciando ao sistema que trabalhe com fator de capacidade constante. Dentre as maneiras de suprir energia de ponta pode-se destacar: a motorização de usinas hidrelétricas convencionais, a instalação de turbinas a gás e a implantação de usinas hidrelétricas reversíveis.

Esta parte do trabalho foi dividida em dois capítulos: o primeiro se propõe a caracterizar as UHRs, ou Usinas Hidrelétricas Reversíveis, de acordo com diferentes pontos de vista: físicos, ambientais e operacionais, ressaltando sua participação positiva no sistema elétrico e a sugerir critérios de avaliação de sítios para a implantação UHRs; o segundo enfatiza a potencialidade hidrelétrica reversível do Estado de São Paulo, segundo estudos realizados pela CESP e IPT.

## Capítulo 3

# Usinas Hidrelétricas Reversíveis

As demandas flutuantes de energia, representadas graficamente pela curva de carga do sistema, consistem, tradicionalmente, em um problema para o setor elétrico, já que os riscos de avaria diminuem e a vida útil dos equipamentos aumentam se o sistema funcionar a capacidade constante.

Exatamente diante destes fatos surge a importância de usinas com turbinas a gás ou com turbinas hidráulicas, possuindo reservatórios capazes de gerar carga de pico, que se caracterizam por responder bem à variação de carga.

Por outro lado, as usinas hidrelétricas a fio d'água e térmicas a vapor apresentam maior rendimento se trabalharem com potência constante, isto é, não deixando passar água pelos vertedouros das usinas a fio d'água ou não desligando as caldeiras das usinas térmicas. Para que essas usinas trabalhem a potência constante é necessário que a energia não absorvida seja acumulada e que elas não precisem corresponder às flutuações da demanda de energia.

Dentre as formas de armazenamento de energia encontramos: acumulação de energia em baterias, acumulação de calor em usinas térmicas e acumulação hidráulica em usinas hidrelétricas reversíveis.

A acumulação hidráulica tem como princípio a utilização da energia elétrica excedente para elevar a água para uma cota superior, de onde, quando necessário, será liberada para gerar energia. O procedimento recebe, então, a denominação de **acumulação bombeada** ('pumped storage').

As UHRs serão abordadas no sentido de sua contribuição favorável, em maior ou menor grau, ao sistema elétrico.

A maior flexibilidade operacional e a possibilidade de resposta rápida às variações de potência, decorrentes da introdução de UHRs ao sistema, podem ser consideradas sua maior contribuição. Seguem abaixo algumas considerações nesse sentido.

Tal como as usinas hidrelétricas tradicionais, as UHRs também apresentam um alto grau de confiabilidade com períodos de saída de serviço variando entre 3% e 4% do total. Além disso, aumentam o grau de confiabilidade do sistema em geral: uma vez suprida a demanda de ponta, diminui o número de paradas forçadas dos grupos geradores das usinas do sistema.

Através de sua função consumidora de carga, as UHRs melhoram as condições de regulação de tensão nas horas de carga leve, criando carga ativa adicional (bombeamento). Isso implica na operação de outras usinas com carga constante, o que melhora o fator de capacidade dessas usinas, diminui o risco de avarias e aumenta a vida útil do equipamento.

O funcionamento das usinas térmicas e UHEs convencionais a nível constante e próximo ao ponto de maior rendimento é fator determinante na economia de combustível fóssil ou da água turbinada. Além disso, a poluição causada por usinas térmicas diminui se elas trabalharem com maior rendimento.

Deve-se também citar que, como as UHEs convencionais, as UHRs apresentam baixos custos operacionais e de manutenção. No caso de parada forçada de outras usinas, as UHRs representam uma reserva efetiva de potência.

A introdução de UHRs ao sistema pode adiar a construção de grandes UHEs e, conseqüentemente, evitar os grandes problemas delas resultantes (*Pinguelli*

Rosa, 1988); pode pôr em questão a construção de usinas térmicas poluentes e pode evitar altos custos de transmissão das UHEs a serem construídas, que, como no caso do Brasil, encontram-se longe dos grandes centros de consumo *Ciarlini* (1981).

Por conseguinte, uma questão a levantar seria a análise técnico-econômica-ambiental das UHRs como opção prioritária às outras alternativas geradoras de carga de ponta.

### 3.1 Generalidades sobre uma UHR

A acumulação bombeada pode ser classificada de acordo com os seguintes critérios:

arranjo	usina com um só estágio usina múltipla, com vários estágios
origem da água	da mesma bacia (UHR) transposição de bacias
utilização da água	somente para gerar energia utilização múltipla
ciclo	diário semanal sazonal
localização	acumulação no próprio curso d'água acumulação independente do rio acumulação na superfície acumulação subterrânea



Usinas hidrelétricas reversíveis são usinas de acumulação por bombeamento que, citando *Silveira* (1981), representam uma instalação de transferência da hora de utilização da energia disponível em período de baixa demanda para um horário de pico, isto é, quando o consumo é mais elevado.

A diferença fundamental de UHR para uma UHE convencional é que a primeira, em horas fora do pico, absorve energia do sistema, funcionando como uma instalação consumidora de eletricidade e bombeando água do reservatório inferior para o superior; e, em horas de pico, fornece energia ao sistema, funcionando como instalação geradora de energia elétrica e liberando a água que acionará as turbinas, ver esquema da figura 3.1<sup>1</sup>.

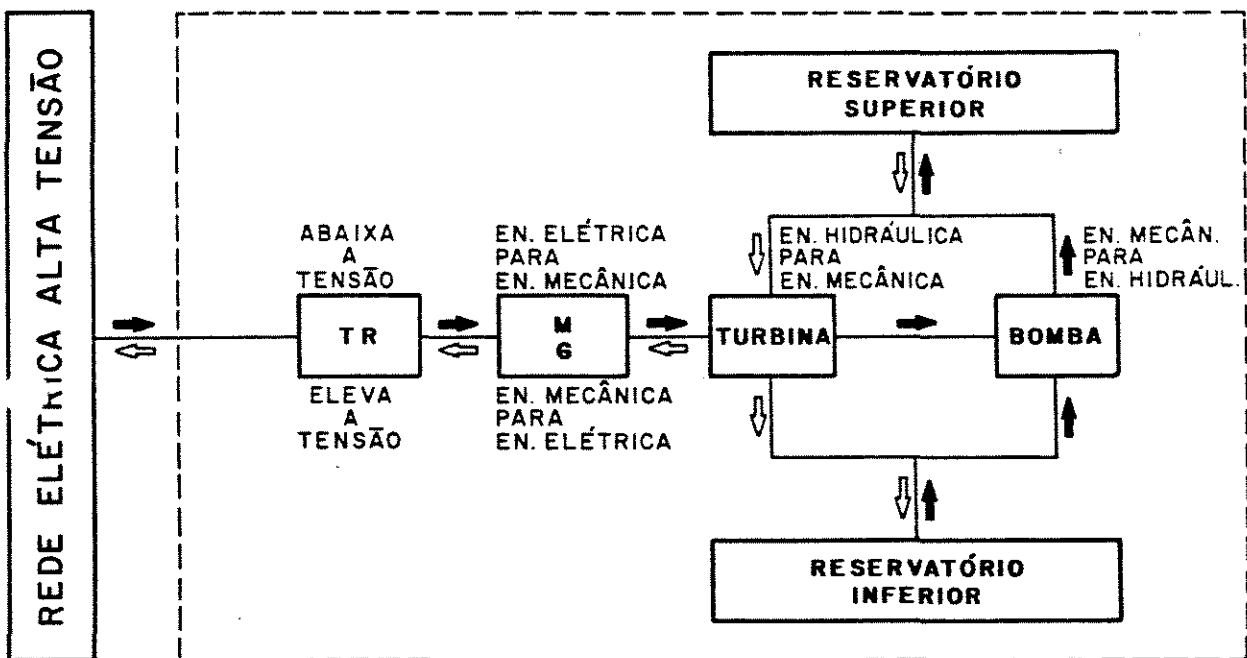


Figura 3.1: Esquema funcional de um conjunto reversor.

<sup>1</sup>As figuras apresentadas neste capítulo são provenientes da obra de *Silveira, R.*, 1981.

Assim sendo, a UHR não acrescenta energia ao sistema: a energia absorvida pelas bombas não é completamente recuperada durante a turbinagem, devido a perdas nos equipamentos (o fator de rendimento é cerca de 70% nas instalações modernas, segundo *Schreiber* (1977)). A figura 3.2 representa um esquema da dupla função de uma UHR: como consumidora e como geradora de energia. A vantagem desse tipo de geração é que a energia consumida pela UHR é gerada nas horas de baixa demanda e tem baixo custo, enquanto que a energia produzida pela instalação nas horas de pico é muito valiosa.

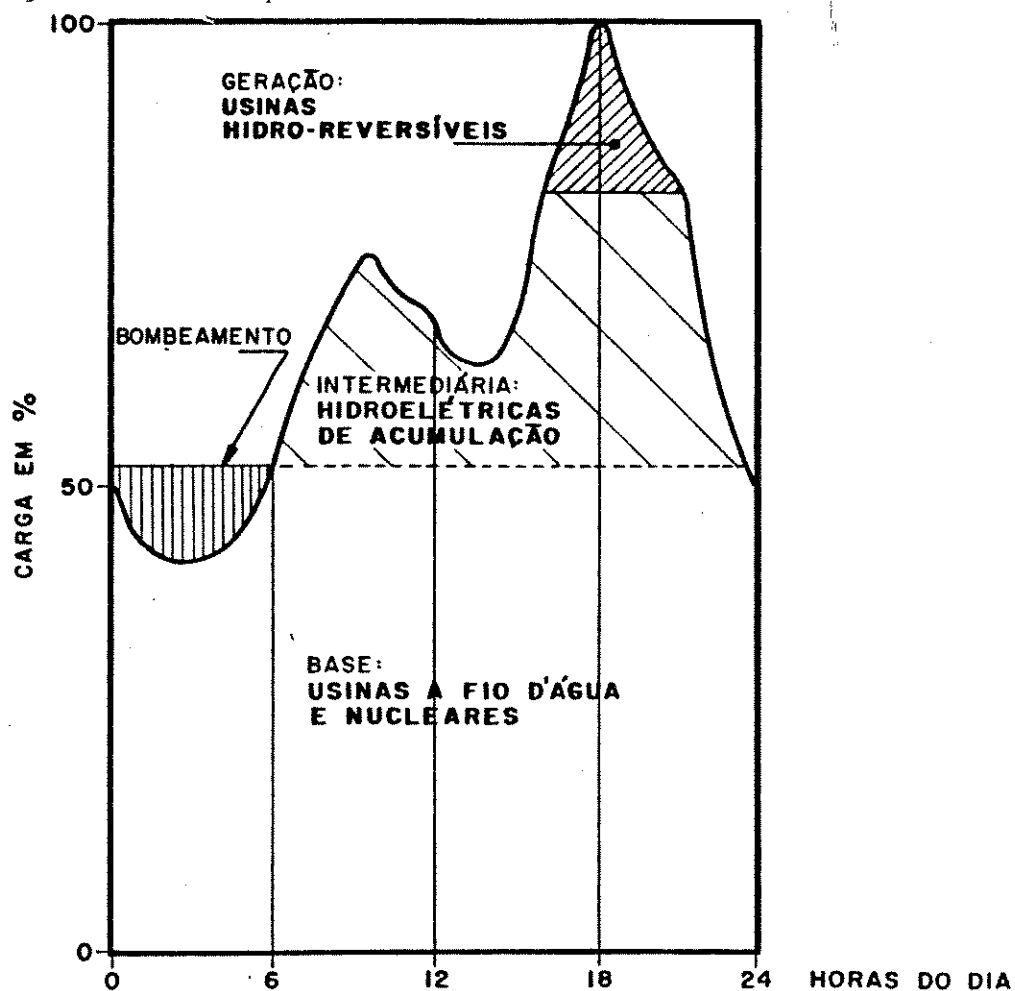


Figura 3.2: Funcionamento esquematizado de um conjunto reversor.

Essas considerações implicam que, no estudo de viabilidade, seja dada atenção especial ao cálculo dos custos e benefícios originários de uma UHR.

Uma usina hidrelétrica reversível é basicamente projetada como uma usina hidrelétrica tradicional no que diz respeito a: tomada d'água, sistemas adutores, tubulações adutoras ou túneis sob pressão, tubulações forçadas ou poços forçados.

Os sistemas adutores devem ser projetados para produzirem a menor perda de carga possível com a finalidade de não comprometerem o rendimento da usina.

Basicamente a UHR é composta por dois reservatórios localizados em cotas topográficas diferentes, interligados hidráulicamente por estruturas de adução e de geração/bombeamento (figura 3.3). Resumindo, são as seguintes as instalações típicas de uma UHR: reservatório inferior (deve ser analisado e projetado para a dupla função de fornecer água para os bombeamentos e de receber água dos turbinamentos); tomada d'água; conduto inferior de adução (conduz vazões a serem bombeadas do reservatório inferior para a bomba) e de descarga (repõe as vazões turbinadas ao reservatório inferior); casa de força contendo as máquinas hidráulicas (bombas e turbinas, independentes ou não, grupos motor/gerador, quadros de comando e de controle); conduto superior de recalque (bombeamento) e de carga (turbinamento) que comunica as máquinas hidráulicas com o reservatório superior; reservatório superior que recebe as vazões bombeadas e fornece as vazões a serem turbinadas; tomada d'água e estrutura de reposição de vazões (bombeamentos), obra hidráulica com dupla finalidade operacional, a ser implantada no reservatório superior.

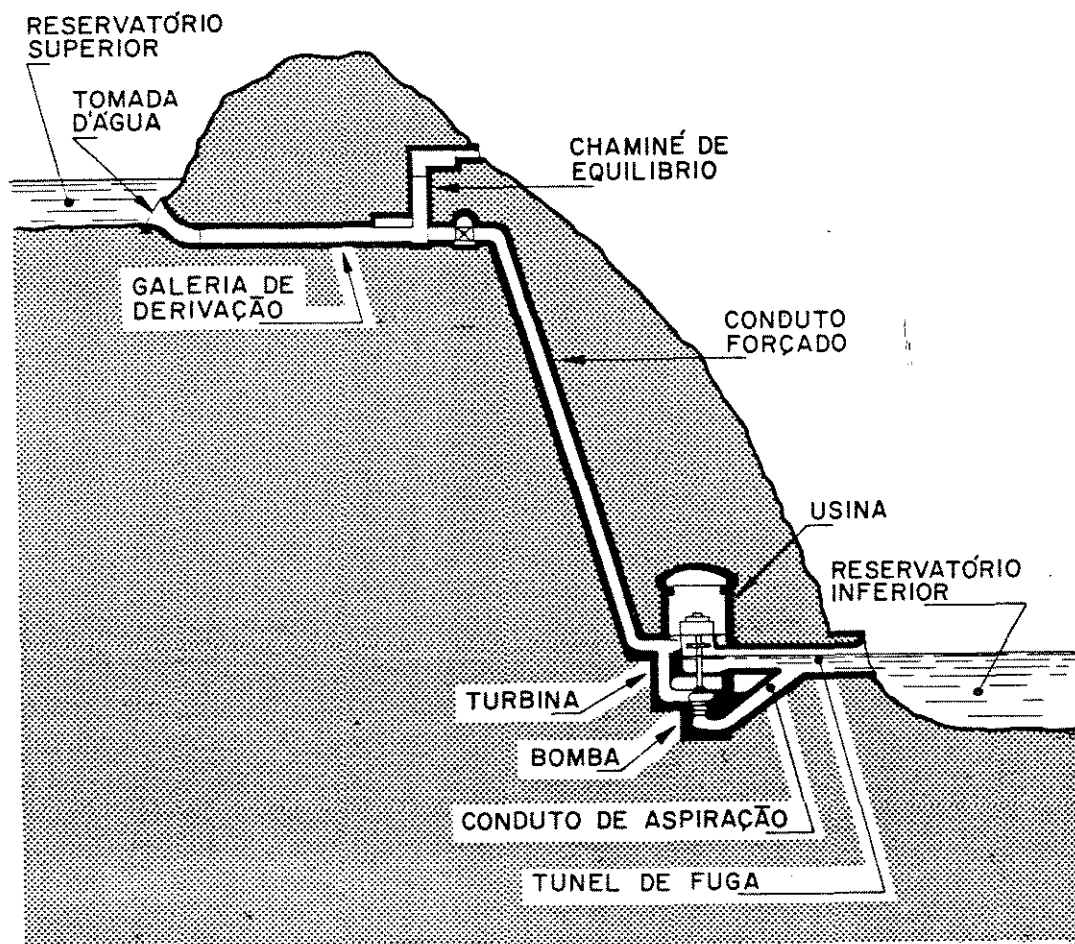


Figura 3.3: Componentes típicos de uma Usina Hidrelétrica Reversível

## 3.2 Condições físicas e impactos ambientais de UHR

Pela definição de UHR os requisitos do meio físico são essenciais para sua implantação:

**topografia:** necessidade de desníveis significativos à altura de queda (encontrados em regiões serranas escarpadas)

**hidrologia:** necessidade de região com balanço hidrológico que proporcione vazões suficientes para o enchimento de pelo menos um dos reservatórios em tempo compatível com a velocidade de construção da obra e permita reposição de perdas de água por infiltração e por evaporação.

Além dos efeitos conhecidos causados pela implantação de usinas hidrelétricas, seus reservatórios e linhas de transmissão, as UHRs apresentam adicionalmente impactos que lhe são peculiares:

1. Eutrofização dos reservatórios: a turbinagem e o bombeamento de água, carregando e destruindo folhas e peixes, provocam o acúmulo de material orgânico, sua decomposição e condições consequentes favoráveis para o crescimento de plantas aquáticas, caso não haja a renovação adequada de água.
2. Assoreamento dos reservatórios: a oscilação rápida e frequente dos níveis de água dos reservatórios pode comprometer a estabilidade de seus taludes, provocando erosão superficial e escorregamentos.
3. Impactos devido a escavações subterrâneas para a execução de túneis e da casa de força.
4. Impactos decorrentes da maior área inundada, já que se faz necessário inundar a área correspondente a dois reservatórios para que a água armazenada no reservatório superior, ao descer, gere a carga de ponta prevista.

### 3.3 Considerações gerais para planejamento

O estudo de planejamento, visando a implantação de UHRs, deve dar especial atenção às condições físicas e à análise técnico-econômica-ambiental. Seguem abaixo as considerações gerais para o planejamento de UHRs.

**Condições do sistema:** É necessário que se conheçam as condições do sistema interligado: tanto as condições passada, presente e futura da carga do sistema, quanto os recursos disponíveis para supri-la, principalmente no que diz respeito à ponta de carga.

**Condições exteriores:** Os requisitos fluviais podem impor a necessidade de descarga mínima para jusante ou ainda a regularização da descarga da usina para evitar alteração rápida e violenta do curso do rio, implicando na necessidade de reservatório inferior com suficiente capacidade de acumulação.

No caso da múltipla utilização da água dos reservatórios, a operação da usina pode ser limitada devido a, por exemplo: a necessidade de controle de cheias fixa os níveis de operação do reservatório e os limites de variação da queda; a imposição de melhoria de qualidade de água através do aumento da vazão de estiagem pode reduzir a água disponível nas horas de ponta ou, ao contrário, implicar numa considerável acumulação adicional, ou ainda, se o abastecimento de água for necessário, o nível do reservatório será máximo no período de maior demanda de ponta, proporcionando maior altura de queda.

**Condições locais:** Para a obtenção da potência requerida é necessário conjugar as condições locais existentes de queda com a quantidade de água. As UHRs podem também ser estudadas adicionalmente a projetos que normalmente apenas fariam o aproveitamento de outras finalidades da água, desde que a UHR e o aproveitamento em questão não sejam conflitantes entre si (por exemplo: abastecimento de água, controle de cheias, energia e recreação). Tal conjugação de projetos, eventualmente, tornaria ambos economicamente mais viáveis.

A existência de depressões naturais ou reservatórios pode ser aproveitada, bem como elevações que forneçam material de construção para o reservatório.

Deve-se explorar a relação entre desnível e distância entre as cotas dos reservatórios, no sentido de se obter a maior diferença na menor distância possível, isto é, menor comprimento de tubulação.

As condições geológicas são também de grande importância devido à necessidade de impermeabilidade no local dos reservatórios, à disponibilidade local de material adequado à construção (material impermeável ou rochas), ou ainda à resistência da rocha para a construção de túneis.

Existe flexibilidade, no caso de aproveitamento múltiplo, na escolha do reservatório, ou seja, na escolha de terras a serem inundadas. Tal escolha dependerá do valor das terras em questão.

A distância do projeto ao centro de consumo ou ao ponto mais próximo do sistema a suprir influirá nos custos de transmissão e de estradas de acesso.

E, por último, deve-se avaliar as condições locais, no que diz respeito à infraestrutura: necessidade de construção de estradas e pontes de acesso ao local de preparação do terreno para descarga e armazenamento, já que essas obras podem, eventualmente, causar impactos substancialmente maiores que os da própria obra, face à falta de critérios e de análise de impactos.

**Condições econômicas:** O planejamento de uma UHR é uma batalha contínua para minimizar seu custo e maximizar seu rendimento e sua produção. É necessário um rigoroso estudo comparativo com outras fontes de geração de energia de ponta, bem como com os custos da supermotorização das UHEs existentes e do reforço dos sistemas de transmissão associados. A maneira mais eficiente para realizar tal comparação é através de estudos técnicos detalhados e aprofundados, avaliando-se os custos das partes mais importantes do empreendimento. A dificuldade dessa avaliação consiste na interdependência das variáveis em questão: dimensões da barragem, volume acumulado, ciclo de operação requerido, energia necessária para bombeamento, altura de queda, etc.

**Condições operacionais:** Os efeitos da depleção dos dois reservatórios, bem como de flutuações no nível do canal de fuga, resultantes da turbinagem e do bombeamento, determinam a faixa de queda para a operação das unidades.

Por um lado, a mínima altura de carga necessária para o bombeamento é determinada pela conjugação do nível máximo no reservatório inferior com o nível mínimo no reservatório superior; por outro lado, a capacidade garantida da usina é dada em condições mínimas de queda e máximas de engolimento, com o reservatório superior em seu nível mínimo e o inferior em seu nível máximo.

Também os efeitos do desligamento repentino das máquinas devem ser conhecidos, para que se possa evitar condições danosas tanto para os condutos, quanto para as máquinas. Quando a operação é feita como turbina, o desligamento súbito implica em sobrepressão nos condutos e sobrevelocidade nas máquinas; quando opera como bomba, o desligamento provoca uma queda máxima de pressão e tende a inverter o sentido da rotação, forçando seu funcionamento como turbina.

Por último, a seleção e utilização das bombas/turbinas depende das vazões em questão, já que a divisão adequada das vazões da usina entre suas unidades implica em uma operação próxima ao ponto de maior rendimento.

As condições para planejamento, citadas acima, foram, em grande parte, retiradas de *Mullarkey*.

### 3.4 Critérios para avaliação de sítios potenciais para Usinas Hidrelétricas Reversíveis

O termo 'critério', repetidamente abordado neste trabalho, está intimamente ligado ao termo 'objetivo' ou ainda 'ponto de vista'. Deste modo, ao procedermos à seleção dos **objetivos** abaixo estamos, também, estabelecendo os **critérios** de avaliação. Quanto mais uma alternativa aproximar-se do objetivo, mais ela satisfará ao correspondente critério de avaliação.

Decidimos seguir o procedimento sugerido por *Cohon*, isto é, estabelecemos



dois ideais mais amplos para a avaliação. Estes ideais encontram-se, a exemplo de *Nachtnebel* (1988), na medida do possível, ancorados nas Constituições, federal e estadual, vigentes. Cabe ainda ressaltar a necessidade de leis complementares e de fiscalização para o cumprimento efetivo dos artigos constitucionais.

No que tange a abordagem ambiental, o Manual de Estudos Ambientais dos Sistemas Elétricos da *Eletrobrás* (1986) recomenda estudos de natureza ecológica que devem ser desenvolvidos na etapa **estimativa do potencial hidrelétrico**. Esses estudos devem abranger: ' a coleta de informações disponíveis, destacando os fatores ambientais notáveis, que possam influenciar na determinação da vocação de uma determinada bacia hidrográfica para aproveitamentos hidrelétricos, bem como influenciar as decisões nas etapas seguintes. Deverão ser levadas em consideração aspectos de localização de áreas protegidas, núcleos urbanos e infra-estruturas existentes, distribuição de população, recursos naturais e atividades econômicas'.

### **Ideal técnico-econômico:**

É desejável que o aproveitamento de recursos hídricos seja economicamente viável e executável tecnicamente. Adotamos o artigo 104, parágrafo b, da Lei do Direito da Água da Áustria<sup>2</sup>, na ausência de um artigo semelhante na Constituição Federal vigente, que determina:

*que o processo de concessão somente seja aprovado se o projeto em questão, para o aproveitamento da força motor de um corpo hídrico, for capaz de uma utilização completa e econômica da força hidráulica disponível.*

Os objetivos seguintes materializam este ideal: minimização do custo do kW instalado; minimização do custo do kWh gerado; minimização do comprimento das obras de interligação; minimização do assoreamento nos reservatórios; minimização da distância ao centro consumidor de carga e à rede principal; maximização da qualidade de vias de acesso à obra; minimização dos custos de manutenção da obra concluída; minimização do tempo de implementação do pro-

---

<sup>2</sup>Conferir em *Nachtnebel*, 1988, página 208.

jeto; maximização da proximidade de áreas de empréstimo e de deposição de material de construção; minimização da potencialidade de risco.

### **Ideal relativo ao meio ambiente**

De acordo com a Constituição Federal, promulgada em 1988:

- o primeiro parágrafo do artigo 182 (capítulo II, sobre a Política Urbana) estabelece:

*O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.*

- quarto parágrafo do artigo 225 (bem como o artigo 196 da Constituição Estadual) determina que:

*A Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira são patrimônio nacional e sua utilização far-se-á, na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais.*

Já a Constituição do Estado de São Paulo, promulgada em 1989, estabelece:

- em seu artigo 191:

*O Estado e os municípios providenciarão, com a participação da coletividade, a preservação, a conservação, a defesa, a recuperação e a melhoria do meio ambiente natural, artificial e do trabalho, atendidas as peculiaridades regionais e locais e em harmonia com o desenvolvimento social e econômico.*

- artigo 192:

*A execução de obras, atividades, processos produtivos e empreendimentos e a exploração de recursos naturais de qualquer espécie, quer pelo setor público, quer pelo privado, serão admitidas se houver resguardo do meio ambiente ecologicamente equilibrado.*

- e, ainda, o artigo 212:

*Na articulação com a União, quando da exploração dos serviços e instalações de energia elétrica, e do aproveitamento energético dos cursos de água em seu território, o Estado levará em conta os usos múltiplos e o controle das águas, a drenagem, a correta utilização das várzeas, a flora e a fauna aquáticas e a preservação do meio ambiente.*

- no artigo 197 a definição das áreas de proteção permanente e o artigo 198, que restringe o uso e ocupação desses espaços, considerando:

*... princípios de preservação e proteção da integridade de amostras de toda a diversidade de ecossistemas, de proteção do processo evolutivo das espécies e de preservação e proteção dos recursos naturais.*

- Cabe ainda citar o projeto, não incluído na Constituição Estadual, que determinava o esgotamento dos recursos hídricos como fontes energéticas antes de se analisar a possibilidade das alternativas térmicas.

Concretizando estes pensamentos podemos formular alguns objetivos: maximização da conservação de unidades de proteção institucionais e de relevância ambiental; minimização da população a ser reassentada; minimização das perdas de recursos naturais; maximização da potencialidade de usos múltiplos da água; minimização de conflitos entre o plano diretor do município e a obra projetada; maximização da qualidade da água; minimização do potencial de doenças transmissíveis na região e maximização do número de espécies da fauna aquática.

A lista acima, apesar de extensa, não pretende ser completa, mas sim abordar os pontos mais relevantes na implantação de uma Usina Hidrelétrica Reversível. Na avaliação dos conjuntos reversores deve-se dar especial atenção ao potencial de assoreamento (as margens ficam submetidas a variações bruscas e cíclicas de pressão neutra, havendo assim necessidade de uma drenagem eficiente) e de eutrofização (teoricamente, a água circulando nas bombas e turbinas, com excessão das reposições devido a perdas por infiltração e evaporação, não é renovada, implicando acúmulo de material orgânico) de seus reservatórios.

Dentre os objetivos acima serão escolhidos alguns para a seleção a que se propõe este trabalho (ver capítulo 5).

## Capítulo 4

# O Potencial Hidrelétrico Reversível do Estado de São Paulo

Os principais centros populacionais e produtivos do país encontram-se na região Sudeste, incluindo suas maiores cidades: São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. O Estado de São Paulo, segundo *Brasil: Estatísticas Básicas*<sup>1</sup>, gasta 40% do consumo de energia do país.

O atendimento da região metropolitana e do próprio Estado de São Paulo está sendo efetuado através do suprimento de energia proveniente de usinas situadas cada vez mais distantes, prevendo-se que, em futuro próximo, será importada energia da Região Amazônica para São Paulo. Serão necessárias longas linhas de transmissão e sistemas de transformação cada vez maiores, que estarão sujeitas a falhas e defeitos aumentando o risco de colapsar o atendimento a consumidores de grande importância, além de tornarem-se, cada vez mais, componentes relevantes na composição do preço do *kW* fornecido ao consumidor.

---

<sup>1</sup>Primeira edição, setembro de 1990, editor Airton Ribeiro, Nova Análise Ed. Ltda.

Pode-se ainda observar que esses sistemas têm curvas de carga diária com acentuado pico de carga. A figura 4.1 ilustra a curva de carga da Eletropaulo referente ao dia de ponta máxima em 1988 e caracteriza a grandeza de seu sistema *Quintas*, 1989.

As longas linhas de transmissão, quando operadas com pequenas amplitudes de carga, fornecem maior estabilidade e confiabilidade ao sistema. Este é um motivo para que se projetem as UHEs convencionais como usinas de base. A função de fornecimento de ponta passaria a ser cumprida pelas UHRs.

Desses problemas decorre a necessidade de esgotar os aproveitamentos do potencial de energia ainda existente, mesmo que pequenos, e de se prover esses centros de carga com reserva estratégica de potência, de forma a assegurar o atendimento de suas cargas, em especial as prioritárias, na ocorrência de problemas com os sistemas de transmissão do suprimento de energia.

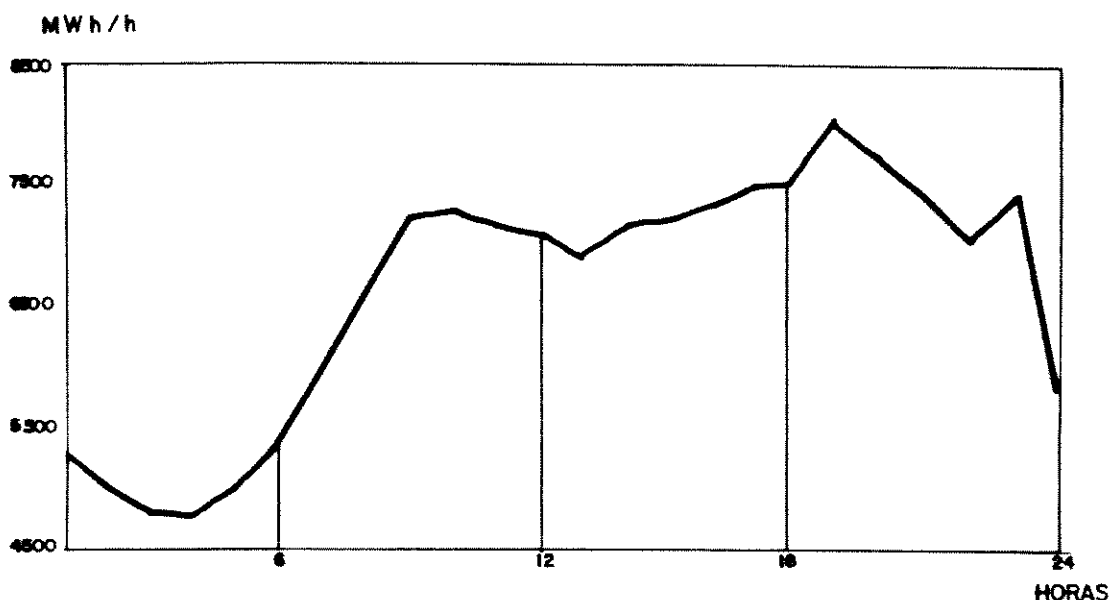


Figura 4.1: Curva de carga do dia de ponta máxima em 1988 do sistema Eletropaulo.

Para tanto as concessionárias de energia elétrica devem efetuar minucioso levantamento do potencial hidráulico remanescente nas suas áreas de concessão, visando o seu integral aproveitamento, através de novos sítios para instalação de pequenas centrais ou mediante a recuperação e ampliação das existentes.

Devem também prever a instalação de usinas que assegurem a reserva estratégica de potência, que podem ser termelétricas (a gás natural, nucleares ou outro combustível, dependendo da viabilidade técnico-econômica e ambiental) ou usinas reversíveis.

As termelétricas estão sendo projetadas como reservas estratégicas de potência junto aos centros de carga para fornecer tanto a potência, nas falhas do sistema de transmissão, quanto energia, por ocasião dos períodos de estiagem nas regiões das usinas supridoras.

As reversíveis, fornecerão apenas potência, que poderá ser utilizada para atendimento do pico diário ou por ocasião de interrupções de curta duração, provocadas por falhas ou defeitos nos sistemas de transmissão das usinas distantes. Estas usinas próximas aos centros de carga, terão a vantagem de fazer com que os sistemas de transmissão sejam menores, pois minimizam a parcela de pico de carga que deve ser suprida por eles, aumentando a confiabilidade do sistema.

De acordo com *Ciarlini* (1981), 'o potencial de acumulação bombeada no Brasil não somente apresenta condições topográficas e geográficas favoráveis, mas também encontra-se perto dos maiores centros de consumo de carga do país'. Isto apenas reitera a posição privilegiada de São Paulo, no que tange seu potencial hidrelétrico reversível, já que os grandes centros de carga paulistas encontram-se próximos às escarpas das serras (do Mar. Geral e da Mantiqueira), fato esse que facilita e, talvez, viabiliza os projetos de UHRs no Estado de São Paulo.

A CESP, já desde 1969, vem promovendo estudos de pré-inventário para a implantação de UHRs. Esses estudos, em convênio com o IPT, inicialmente feitos para a Serra Geral e da Mantiqueira, foram ampliados para a Serra do Mar.

Os requisitos para a localização de sítios potenciais eram: altura de queda

maior que 300 m; potência disponível maior que 1.000 MW e ciclo de utilização com, pelo menos, 14 h/dia.

Foram encontrados 341 sítios que apresentavam tais características. Os relatórios destes estudos (IPT, 1979 e 1981) incluem os dados cadastrados e coletados naquela época (ver tabela 4.1 a seguir).

Tabela 4.1: Dados gerais cadastrados das alternativas.

<b>Dados dos Reservatórios (superior e inferior)</b>	
Identificação	Folha topográfica
	Coordenadas
Cota máxima	Área de inundação
	Volume total
Barragem	Altura
	Extensão da crista
	Volume das obras de terra
Diques auxiliares	Altura
	Extensão da crista
	Volume das obras de terra
Condições de acesso	
<b>Dados das Obras de Interligação</b>	
Extensão provável em planta	
Queda bruta	máxima
	mínima
	média
Relação desnível/distância	
Cotas prováveis	superior
de tomadas d'água	inferior
<b>Dados do Conjunto Reversor</b>	
Potência	máxima
	média
	média/máxima
Tempo provável do primeiro enchimento	



Em seguida foram aplicados programas (programa do IPT e da ELETROBRAS) para seleccionar as alternativas mais promissoras. A análise levou em consideração os seguintes critérios: distância estimada de interligação, tempo provável do primeiro enchimento, potência máxima, volume d'água para geração, volume de obras de terra, bem como, relação entre custo total e potência estimada.

A seleção final, porém, considerou apenas o custo do kW instalado. A composição de custos realizada pelo IPT e pela Eletrobrás difere parcialmente, tanto na metodologia empregada quanto nos itens que compõem o custo total. Os valores calculados pelo programa da Eletrobrás para custo/kW instalado foram sistematicamente mais elevados que os encontrados pelo programa do IPT. A metodologia da Eletrobrás encontra menores valores para o volume de geração para a mesma altura de barragem e, conseqüentemente, menor valor de potência estimada para cada caso.

'Desta forma obteve-se do programa Eletrobrás valores mais baixos para as potências estimadas e mais altos para os custos totais'<sup>2</sup>.

A análise resultou na seleção de sítios<sup>3</sup>, relacionada na tabela 4.2:

Tabela 4.2: Sítios seleccionados.

Serra	Sítios	Potência [MW]	Custos [US\$/kW]
-	-	-	-
Geral	12	17500	381 a 498
da Mantiqueira	19	32200	313 a 409
do Mar	37	150000	295 a 406

Os estudos mencionados servirão de base, através dos dados cadastrados e disponíveis nos relatórios citados, para uma análise de seleção que incorpore, além dos aspectos técnicos e econômicos, também os aspectos sociais, legais, ambientais e políticos.

<sup>2</sup>Ver IPT, 1979, página 21.

<sup>3</sup>Os valores de custos referem-se ao índice do dólar do mes de janeiro de 1982 segundo o *Cost Indexes for Construction Work do U.S. Bureau of Reclamation*.

A ELETROPAULO realizou em 1990 estudos sobre a implantação de novos empreendimentos para o sistema Pinheiros-Billings e, dentre estes, encontramos sugestões para a implantação de duas Usinas Hidrelétricas Reversíveis, situadas na Serra do Mar (UHR Preto-Monos e UHR Cubatão). Esses estudos ressaltam a importância e a atualidade do tema, justificando nossa escolha do estudo de caso.

O capítulo a seguir aplica tais considerações para a seleção de sítios reversíveis potenciais.

## Parte III

# Metodologia de Seleção: Apresentação e Aplicação em Estudo de Caso

A última parte do trabalho, sintetizando o que foi visto nos capítulos anteriores, consiste na metodologia de seleção de sítios potenciais para aproveitamento hidrelétrico reversível. A metodologia será apresentada no capítulo cinco e, em seguida, aplicada a um estudo de caso, assunto do capítulo seis.

A metodologia proposta considera a abordagem referente às condições gerais para planejamento de UHRs (item 3.3) e os critérios para avaliação de sítios potenciais para sua implantação (item 3.4), adequando-se ao empreendimento em questão. A especificidade metodológica consiste em dois pontos: em primeiro lugar, visa trabalhar com informações disponíveis na fase de pré-inventário e, em segundo lugar, seleciona sítios potenciais para aproveitamento hidrelétrico reversível.

Para a construção de projetos de grande porte, relacionados aos Recursos Hídricos, e que influam no meio ambiente, tais como a construção de reservatórios de armazenamento de água, a lei federal brasileira de n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, orienta as empresas de energia elétrica em questões ambientais e "... dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, ...". Além desse dispositivo legal, relativo à proteção do meio ambiente, as empresas concessionárias estão sujeitas às Normas estabelecidas pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE - que define os critérios e procedimentos necessários para a aprovação de projetos de aproveitamentos de recursos hídricos para geração de energia elétrica (*Manual ELETROBRAS*, 1986).

Esta avaliação deve ser realizada a níveis diferenciados, correspondendo às respectivas etapas do projeto. Havendo um acompanhamento no sentido de previsão das conseqüências ambientais nas diversas fases de projeto será mais fácil e mais barato evitar danos e realizar ações mitigadoras. A fase de pré-inventário determina, por vezes, grande número de sítios potenciais para implantação de reservatórios, visando seus múltiplos usos, tais como: abastecimento, irrigação, regularização de vazões, contenção de cheias, produção de energia elétrica e lazer. Deste modo, é necessária uma avaliação criteriosa para a determinação dos sítios mais viáveis, tanto sob o ponto de vista técnico-econômico, quanto sócio-ambiental.

O grande desafio é definir procedimentos para a situação contraditória de necessidade de informação e escassez de dados. Este problema é freqüente no caso de um país da dimensão do Brasil, que não possui mapeados os parâmetros necessários para um estudo detalhado, e que, devido a sua situação econômica, precisa investigar e focalizar as alternativas mais promissoras, de modo a não desperdiçar recursos.

Apesar das Normas do DNAEE não preverem um acompanhamento paralelo na fase de Estimativa do Potencial Hidrolétrico, a sua realização é recomendada pelo Manual da Eletrobrás porque não demanda grande investimento e facilita as etapas posteriores. É necessário relacionar, de acordo com o objetivo do projeto, quais os parâmetros de maior importância para neles serem concentrados os estudos. Estes parâmetros deverão ser obtidos através de órgãos ou entidades atuantes na região, como IBGE, universidades, centros de pesquisa, órgãos regionais de desenvolvimento, etc. Uma vez classificada a alternativa para cada um dos parâmetros indicados ela pode ser comparada com as demais, de modo a se identificar, quais, dentre elas, será a mais viável, considerando todos os pontos de vista.

## Capítulo 5

# Metodologia de seleção de sítios potenciais para aproveitamento hidrelétrico reversível

Anteriormente à fase de inventário de usinas hidrelétricas, sejam elas reversíveis ou não, é habitual realizar-se o levantamento de sítios com potencial hidrelétrico mínimo, previamente estabelecido. A etapa seguinte, isto é, o inventário propriamente dito requer um estudo bem mais detalhado, havendo necessidade de se investir mais tempo e de mais recursos financeiros. A seleção e redução criteriosa do número de alternativas pré-inventariadas implica na alocação mais eficiente dos recursos financeiros disponíveis para a fase de inventário.

Tem sido comum que a escolha dos sítios a inventariar contemple apenas critérios técnico-econômicos ou, talvez ainda, políticos. Uma vez que os interesses em jogo dificultam o processo de tomada de decisão e que a escolha, frequentemente, recaia em uma solução não desejada, sob aspectos relevantes, torna-se altamente importante que seja fornecido ao decisor um leque bastante abrangente de informações que lhe sirvam de respaldo na mesa de negociações. *Keeney* (1979) elaborou uma proposta metodológica para seleção de sítios potenciais para

UHRs. Naquele trabalho foram levados em consideração quatro critérios (custos, distância da linha de transmissão, perda de habitat ripariano e perda de florestas pinho-juníferas). É interessante notar que um estudo deste tipo, incluindo o presente trabalho, tem que limitar os pontos analisados a um número factível. Além disso, a arbitragem é inevitável na determinação de critérios, de parâmetros para medir critérios e das respectivas escalas de avaliação.

Seguem abaixo as etapas da seleção metodológica de alternativas discretas, previamente definidas, para implantação de usinas hidrelétricas reversíveis.

### **Caracterização do problema**

A CESP – Companhia Energética do Estado de São Paulo – inventariou, segundo DAEE (1989), a capacidade instalada do Estado de São Paulo. Considerando a contribuição das usinas existentes (usinas hidrelétricas - 9.600 MW e usinas térmicas - 500 MW) das usinas em construção (3.900 MW), e das usinas em estudo (Canoas - 300 MW) a potência instalada do Estado chegará a cerca de 14.300 MW em 2010. Deste modo, o deficit energético esperado para o Estado de São Paulo nos próximos anos perfaz um total de cerca de 20.000 MW. Entre as possíveis soluções para este impasse, o estudo indica: o aproveitamento do potencial remanescente, a complementação térmica e a energia proveniente da Amazônia.

No Brasil, os custos unitários, relativamente baixos, da supermotorização de usinas hidrelétricas convencionais ainda inviabilizam a competitividade das usinas reversíveis. Este quadro pode, no entanto, ser revertido em futuro próximo, face à possibilidade do aproveitamento dos múltiplos usos dos reservatórios e à inclusão, nos estudos de viabilidade, dos benefícios oriundos de ganhos de confiabilidade para o sistema elétrico.

Neste contexto gostaríamos de inserir o assunto escolhido para desenvolver a metodologia de seleção de alternativas, relativa à análise de sítios potenciais para aproveitamento hidrelétrico reversível na fase de pré-inventário.

## Descrição das alternativas

As alternativas devem ser resumidamente caracterizadas, proporcionando ao leitor uma compreensão global da situação. Isto inclui: a localização geográfica das alternativas, volume dos reservatórios, área das bacias contribuintes, áreas inundadas e previsão de custos.

## Apresentação de critérios de seleção

A escolha dos critérios deve levar em consideração o número de alternativas a analisar, isto é, as informações requeridas precisam ser bastante genéricas e passíveis de serem obtidas, sob a forma de dados secundários, já que na fase de estudos preliminares do inventário, segundo o Manual de Estudos de Efeitos Ambientais dos Sistemas Elétricos, em princípio, "...não serão feitos levantamentos de campo. Deverão ser utilizadas informações disponíveis de entidades com atuação na região, como IBGE, universidades, centros de pesquisa, órgãos regionais de desenvolvimento, etc". Deste modo, para obtermos os dados necessários para a análise, seguiremos as sugestões acima <sup>1</sup>.

Adotamos o enfoque de *Cohon*, 1978, isto é, diferenciando **ideal** e **objetivo**, conforme abordado no item 3.8. Para cada objetivo, ou critério, listado abaixo segue, em primeiro lugar, a descrição da sequência utilizada para obter os parâmetros necessários e, em segundo lugar, em itálico, o material utilizado como fonte dos dados secundários.

Na escolha dos critérios consideramos desejável minimizar ou maximizar alguns parâmetros, que atendessem a alguns requisitos como: devem ser, usualmente, medidos em estudos de impactos ambientais para a construção de reservatórios; possam ser obtidos sob a forma de dados secundários através de obras correlatas, preferencialmente, já mapeados na escala de abrangência do trabalho. Em suma, os critérios considerarão aqueles parâmetros considerados os mais importantes para o planejamento ambiental.

---

<sup>1</sup>A necessidade de informação detalhada entraria em contradição com a proposta básica inicial do trabalho, que consiste na alocação eficiente dos recursos de financiamento.



Dentre os objetivos para o ideal técnico-econômico, estabelecidos no terceiro capítulo, decidimos adotar os seguintes:

#### C01 – Minimização do custo do kW instalado

Na análise a ser efetuada serão utilizados os valores que constam dos relatórios IPT/CESP. Os valores de custo, ultrapassados, serão atualizados<sup>2</sup>. Os valores disponíveis encontram-se em dólar, referentes a janeiro de 1979, e serão atualizados para dólar de 1990. Na verdade, interessa-nos apenas a posição relativa entre as alternativas e não valores absolutos. Entretanto, de modo a ter valores mais realistas faremos a conversão exemplificada a seguir:

Taxa de câmbio<sup>3</sup>:

1979 – NCz\$/US\$ (oficial) 0,00003

1990 – Cr\$/US\$ (oficial) 68,55

IGP/DI (ano base – 1986)<sup>4</sup>:

1979 0,1909

1990 1.036.953,9900

#### C02 – Minimização do assoreamento nos reservatórios

O assoreamento dos reservatórios, aspecto bastante relevante para a operação e vida útil de uma usina hidrelétrica, tem duas causas diferentes. Primeiramente, os sedimentos erodidos e carreados da bacia hidrográfica contribuinte e, em segundo lugar, as mudanças no nível de água do reservatório solicitam suas margens, causando instabilidade e desmoronamento (fato este mais grave para uma usina reversível, submetida a mudanças freqüentes e cíclicas, do que para uma usina convencional). Neste trabalho consideramos, apenas, o primeiro tipo.

Uma vez conhecidos os limites da bacia hidrográfica, determinam-se os tipos de cobertura vegetal, as respectivas áreas e taxas de perda de solo (*Batista*

---

<sup>2</sup>Segundo informações informais, a praxe no sistema elétrico para situações deste tipo, é utilizar o IGP/DI – Índice Geral de Preços, de Disponibilidade Interna, da Fundação Getúlio Vargas.

*Martin, N. et alli, 1991*). Com isto pode-se obter a quantidade de solo (em ton/ano) erodido daquela bacia e que foi levada para o reservatório em questão. Sabendo que a eficiência de retenção de um dado reservatório é função de seu volume e do volume afluente anual, determina-se a quantidade de sedimentos retida em cada reservatório (*Garde e Raju, 1985*). Esta quantidade dividida pela área inundada do reservatório fornece um valor específico do assoreamento. Já que as características próprias de cada reservatório (tais como: volume, área inundada e volume afluente anual) são abstraídas, torna-se possível comparar o parâmetro “assoreamento” entre as diferentes alternativas.

– *Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo*, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado dos Negócios do Interior, Coordenadoria de Ação Regional, Instituto Geográfico e Cartográfico, esc. 1:250.000.

– *Cartas do Brasil* (várias), Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, Fundação IBGE, Departamento de Cartografia, 1971, esc. 1:50.000.

– *Relatórios IPT 13.197 e 15.384*.

### C03 – Minimização do tempo de enchimento do reservatório

Este fator depende do volume do reservatório, da vazão afluente e das perdas por infiltração e evaporação. Se houvessem sido realizados estudos sobre a demanda energética regional em diferentes horizontes futuros, este critério seria ainda mais relevante, já que um maior horizonte regional de demanda de energia elétrica permite um maior tempo de implementação do projeto que em regiões que apresentam deficit energético a curto prazo.

– *Relatórios IPT 13.197 e 15.384*.

### C04 – Maximização da qualidade de vias de acesso à obra

Esta informação, obtida através de cartas geopolíticas, visa facilitar a implantação do projeto, evitando maior degradação ambiental causada pela abertura de novos acessos.

– *Cartas do Brasil* (várias), Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, Fundação IBGE, Departamento de Cartografia, 1971, esc. 1:50.000.

– *Relatórios IPT 13.197 e 15.384*.

Os critérios tempo de enchimento e qualidade de vias de acesso à obra podem ser entendidos como pertencendo tanto ao ideal técnico-econômico quanto sócio-ambiental. Existem exemplos de que, uma vez que a necessidade do reassentamento seja dada, quanto mais rápido o enchimento do reservatório, mais os indivíduos atingidos encontram forças para recomeçar uma nova vida em outro lugar (*Paes Machado*, 1987). Por outro lado, priorizando-se alternativas que já disponham de vias de acesso ao local da obra, evita-se a abertura e construção de novas estradas e a deterioração das áreas adjacentes, já que o impacto ambiental ocasionado pelas obras de infraestrutura, muitas vezes, supera aquele resultante da obra principal.

Para contemplar o ideal sócio-ambiental optamos pelos seguintes objetivos:

C05 – Maximização da manutenção de unidades de conservação

As *Áreas Naturais sob Proteção no Estado de São Paulo*, também conhecidas como *Unidades de Conservação*, são definidas pelo poder público e “visam a proteção e preservação de ecossistemas no seu estado natural e primitivo, onde os recursos naturais são passíveis de um uso indireto sem consumo” *IPT*, 1988.

As Unidades de Conservação representam a conservação de bancos genéticos de inestimável valor, compostos pela fauna silvestre e pelas espécies de vegetação nativa, de fundamental importância para o desenvolvimento da pesquisa científica. São, também, uma forma de possibilitar à população e às futuras gerações a oportunidade de contacto direto com a natureza, através do turismo ecológico e da educação conservacionista, sempre que estas atividades forem compatíveis com a finalidade de uso da área preservada.

Estas Unidades de Conservação encontram-se protegidas por lei, de forma

diferenciada e estão definidas no anexo 1. A legislação prevê a possibilidade do uso antrópico, submetido a manejo, de alguns tipos de unidades de conservação, como por exemplo: Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Relevante Interesse Ecológico e Áreas de Proteção Especial. As restantes unidades (as Áreas Naturais Tombadas, as Estações Ecológicas, os Parques, as Reservas Biológicas e as Reservas Florestais) não permitem qualquer possibilidade legal de se implantar um reservatório.

– *Áreas Naturais sob Proteção no Estado de São Paulo*, Coordenadoria de Pesquisa de Recursos Naturais, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, 1989. Esc. 1:1.000.000.

#### C06 – Minimização das perdas por inundação de recursos naturais

Por recursos naturais pode-se entender a cobertura vegetal, espécies em extinção, a capacidade do uso agrícola da terra e o potencial mineral. Para a finalidade ilustrativa deste estudo de caso consideramos, apenas, a cobertura vegetal sob a forma de madeira ou cultura de valor econômico. Quando, para a aplicação desta metodologia, houver disponibilidade de mais tempo e de uma equipe, seria necessário realizar o inventário de todos os recursos naturais perdidos por inundação. A área a ser inundada deve ser mapeada, de acordo com o tipo de recurso focado. Sempre que possível devem-se planimetrar os fragmentos homogêneos de recurso natural, de modo a quantificar, através da área correspondente, aqueles de maior importância.

– *Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo*, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado dos Negócios do Interior, Coordenadoria de Ação Regional, Instituto Geográfico e Cartográfico, esc. 1:250.000.

#### C07 – Minimização da população a ser reassentada

Este critério pretende restringir ao máximo os deslocamentos populacionais devidos à inundação da área dos reservatórios, de modo a preservar as populações

locais dos efeitos prejudiciais de reassentamentos impostos. Existem muitos estudos (por exemplo *Pinguelli Rosa, L. et alli., 1988*), que tratam dos impactos resultantes dos reassentamentos das comunidades locais. São impactos de ordem psicológica e cultural, que não se restringem à área em questão. Os indivíduos são altamente fragilizados pelas mudanças geográficas e, aqueles que não conseguem adaptar-se às novas condições, vão engrossar as fileiras dos migrantes internos, deslocando os impactos sociais para locais distantes da origem.

- *Cartas do Brasil* (várias), Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, Fundação IBGE, Departamento de Cartografia, 1971, esc. 1:50.000.

### **Estabelecimento de enfoques de avaliação**

Historicamente, as decisões são tomadas sob o ponto de vista do empreendedor e político e contestadas, simplesmente, por grupos opositoristas. A forma de tentar melhor avaliar as possíveis soluções é a elaboração de uma análise de sensibilidade, através de diferentes enfoques, por exemplo, do empreendedor, de ambientalistas, de técnicos, da comunidade local e da comunidade regional. Deste modo, serão obtidos diferentes “quadros” circunstanciais e as respectivas soluções, isto é, ordenações de alternativas. As alternativas que apresentarem, com maior frequência, posições “vantajosas” nestes quadros serão as soluções mais “robustas”. Entendendo-se por robustez a característica destas alternativas de permanecerem como soluções mais viáveis, mesmo em diferentes possíveis situações .

### **Determinação dos pesos dos critérios**

De acordo com o enfoque estabelecido, os critérios são comparados entre si e hierarquizados (ver ítem 2.3). Deste modo obtém-se um vetor de pesos para cada enfoque adotado. Tais informações serão importantes para a análise de sensibilidade dos resultados. Para que as alternativas possam ser avaliadas segundo

cada critério, é necessário formular a correspondente escala de avaliação. Essa escala será dividida em número reduzido de faixas, para que a classificação de alternativas não dê margem a “interpretações”, isto é, para se manter a objetividade.

### **Avaliação das alternativas**

Para classificar as alternativas foi elaborado um levantamento de suas características. De acordo com os critérios citados, a metodologia em questão precisa tanto de dados locais, de projeto, quanto de elementos sobre a bacia hidrográfica a montante. Deve-se conhecer a localização geográfica das alternativas, o volume previsto dos reservatórios, a delimitação da bacia contribuinte e das áreas a serem inundadas, a previsão de custos, os diferentes usos da terra e suas respectivas áreas (tanto da bacia contribuinte, quanto da área inundada), as características hidrológicas locais, os tipos de vias de acesso à obra, se as alternativas estão localizadas em unidades de conservação, bem como, os tipos de agrupamentos populacionais situados na área de inundação.

### **Determinação das escalas de avaliação para os critérios**

O ponto de vista adotado para as notas da escala de avaliação valoriza os locais mais propícios à implantação das usinas, isto é, o sítio mais viável recebe a maior nota, e o menos viável a menor.

As escalas dependerão do tipo de resposta que as alternativas apresentam para cada critério. No exemplo estudado podemos detectar 3 tipos diferentes de casos. Em primeiro lugar, critérios como custo e tempo de enchimento fornecem valores numéricos, já em primeira instância, podendo-se corresponder os valores extremos encontrados aos valores extremos da escala adotada. Em segundo lugar, critérios como legislação, população deslocada e tipo de acesso ao local oferecem como resposta conceitos, respostas não-quantificadas, sendo necessário arbitrar as notas da escala, justificando-se o melhor possível esta escolha. O terceiro tipo de caso, os critérios assoreamento e perda de biomassa, permitem a obtenção de valores numéricos após cálculos simples. Aqui, faz-se necessário também conhecer a faixa de variação das respostas antes de estabelecer a respectiva escala.

## **Determinação do conjunto de alternativas não dominadas**

De posse dos vetores de pesos dos critérios encontrados em etapa anterior, aplica-se o algoritmo Electre I, exposto em 2.2. Aqui determinam-se aqueles pares de alternativas que apresentam relação de não-dominada/dominada, isto é, onde a alternativa não-dominada é claramente superior à outra, observando-se o grau de tolerância desejado. As restantes alternativas não apresentam as características necessárias, isto é, ultrapassam o grau considerado intolerável, em algum critério, quando comparadas com as demais alternativas.

## **Hierarquização das alternativas selecionadas**

Nesta etapa, encontra-se o número de soluções correspondente ao número de enfoques e dos graus de tolerância adotados. Deste modo, são obtidos quadros de resultados em número correspondente à combinação, dois a dois, do número de enfoques com o número de graus de tolerância.

Os conjuntos de soluções encontrados são hierarquizados através do algoritmo Electre II. Este algoritmo, por meio de eliminações sucessivas, hierarquiza as alternativas, reduzindo a complexidade das relações entre os pares de alternativas (não-dominada/dominada) e situando as restantes alternativas no sistema hierárquico.

## **Estudo de frequência (sensibilidade) da atribuição dos pesos**

Os resultados de classificação das alternativas serão analisados em função das variáveis admitidas, ou seja, os diferentes enfoques e graus de tolerância. A intenção deste item é investigar a robustez dos resultados obtidos, isto é, de que modo mudanças nos enfoques de avaliação refletem no quadro de preferências das alternativas. As alternativas que permanecerem preferenciais, independentemente destas mudanças serão aquelas procuradas. O fluxograma a seguir ilustra as etapas metodológicas descritas, diferenciando, visualmente, a contribuição do presente trabalho para a seleção multicritério dos métodos existentes utilizados.

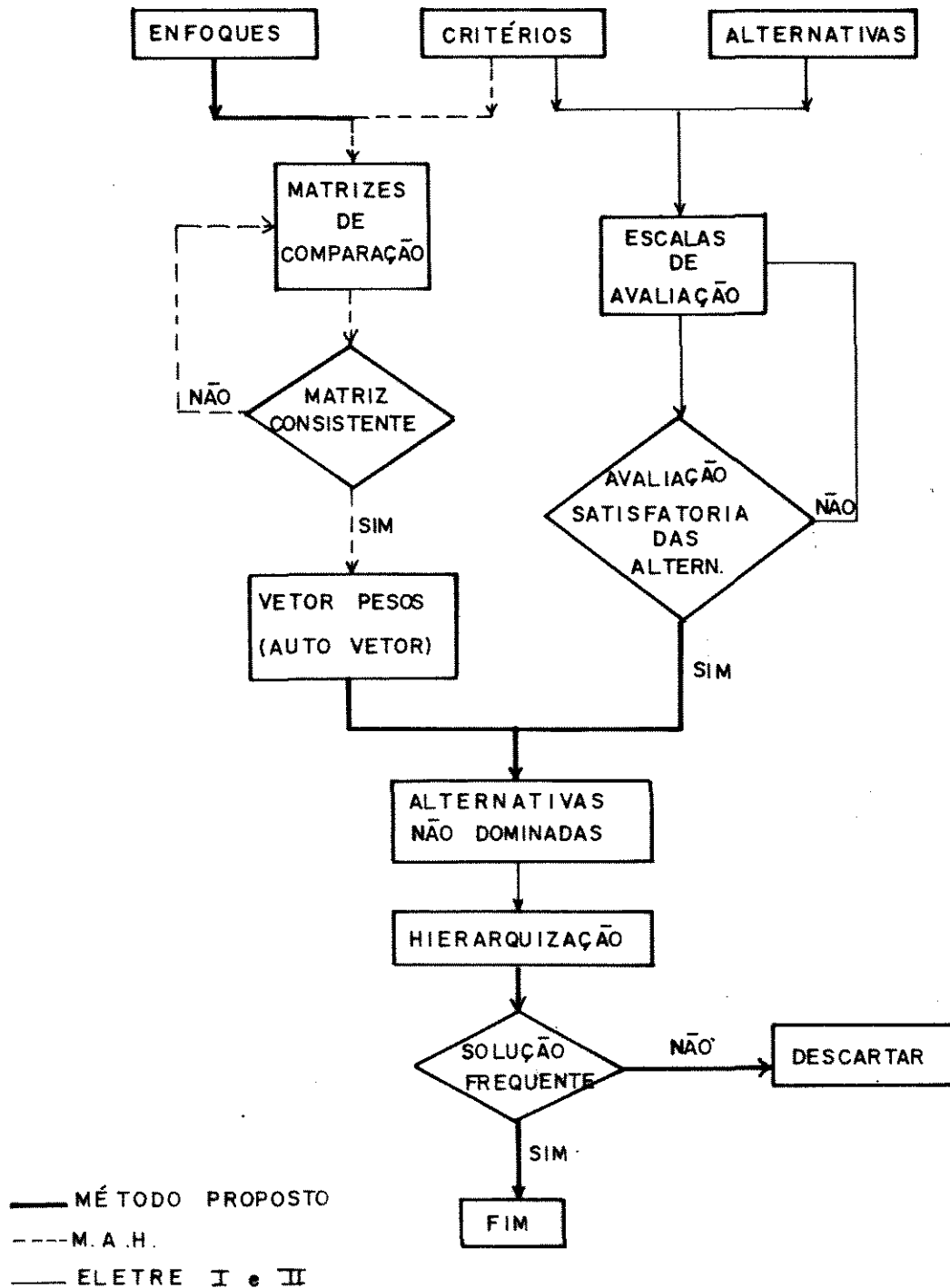


Figura 5.1: Fluxograma da metodologia proposta.



# Capítulo 6

## Estudo de caso

A metodologia será ilustrada através de sua aplicação na seleção de algumas alternativas pertencentes ao conjunto original, pré-inventariado, citado no capítulo 4. Seguiremos as etapas sugeridas no capítulo anterior.

### Caracterização do problema e Apresentação das alternativas

Para o cadastramento e seleção de possíveis sítios para a implantação de Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR) foram investigadas, a nível de pré-inventário, as regiões, situadas no Estado de São Paulo, definidas pelas Serras Geral, da Mantiqueira e do Mar.

Com base em 148 plantas topográficas do IBGE e IGC na escala 1:50.000, abrangendo uma área de 106.000 km<sup>2</sup>, foram cadastradas 341 alternativas (correspondendo a uma potência total de 735.000 MW), para um ciclo de operação de 14 horas, com potência maior que 1.000 MW, queda bruta superior a 300 m e relação desnível/distância inferior a 1/10.

Usinas Hidrelétricas Reversíveis diferenciam-se das usinas hidrelétricas convencionais por serem consumidoras de energia. Elas possuem dois reservatórios,

situados em cotas diferentes; nas horas de baixo consumo, utilizam energia excedente da rede para bombear a água da cota mais baixa para a mais alta e, nas horas de pico, fornecem energia à rede, turbinando água a partir do reservatório superior.

Para a finalidade ilustrativa de classificação e hierarquização de alternativas a qual nos propomos, escolhemos apenas quatro alternativas de cada Serra, indicadas na figura 6.1 e na tabela 6.1, de modo a apresentar um leque relativamente amplo de características, dentro das possibilidades que nosso trabalho apresentava. As características referentes às alternativas serão apresentadas à medida que forem sendo utilizadas para a análise multicriterial.



Figura 6.1: Mapa esquemático das alternativas.

Tabela 6.1: Conjunto de alternativas a analisar.

Serra	Alternativa	N.º
Geral	Itamoji/Mococa (07)	A01
	Mococa (12)	A02
	Itirapina (26)	A03
	Itirapina (31)	A04
Mantiqueira	Camanducaia/Igaratá (27)	A05
	Camanducaia/Monteiro Lobato (39)	A06
	Tremembé (53)	A07
	Campos do Jordão (57)	A08
do Mar	Pedro de Toledo (65)	A09
	Embu-Guaçu/Itanhaém (77)	A10
	Natividade da Serra (136)	A11
	Caraguatatuba (141)	A12

## **Critérios de seleção, Enfoques de avaliação e Pesos dos critérios**

Os critérios utilizados (C1 - C7) já foram apresentados no capítulo anterior e, sem pretenderem cobrir toda a gama de critérios relevantes existentes, indicam características dos reservatórios que, forçosamente, devem ser consideradas no processo decisório.

- C1 – Minimização do custo do kW instalado
- C2 – Minimização do assoreamento nos reservatórios
- C3 – Minimização do tempo de enchimento do reservatório
- C4 – Maximização da qualidade de vias de acesso à obra
- C5 – Maximização da manutenção de unidades de conservação
- C6 – Minimização das perdas de recursos naturais
- C7 – Minimização da população a ser reassentada

Resolveu-se optar pelos enfoques E1 - E7, presentes tanto na argumentação do processo decisório quanto na discussão pública. Diferentes especialistas foram consultados separadamente, simularam os enfoques acima e avaliaram a importância relativa dos critérios, encontrando matrizes de comparação entre critérios para cada enfoque adotado. Essas matrizes foram transformadas em vetores, sendo que cada elemento indica o peso do critério correspondente. Deste modo foram obtidos seis conjuntos de pesos relativos dos critérios de avaliação.

- E1 – empreendedor
- E2 – engenheiro
- E3 – técnico-ambientalista
- E4 – ambientalista
- E5 – da comunidade local
- E6 – da comunidade regional.

## Avaliação das alternativas e Escalas dos critérios

Como descrito na metodologia, efetuou-se levantamento dos dados necessários para obtenção dos parâmetros de avaliação das alternativas, exemplificados a seguir para a alternativa A02.

Exemplo de aplicação (Harris, Santos e Singer, 1992):

Os dois reservatórios indicados na figura 6.2 consistem em um conjunto de usina hidrelétrica reversível, situado na Serra Geral, no Estado de São Paulo e serão analisados em conjunto.

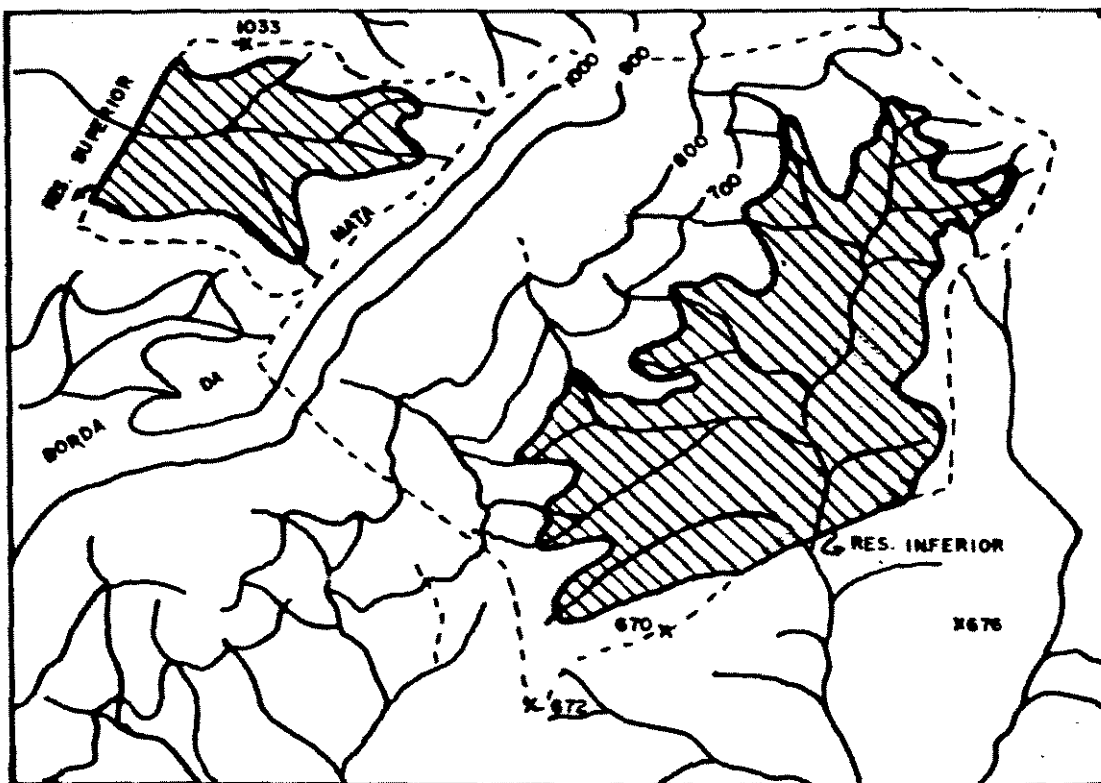


Figura 6.2: Conjunto reversor – alternativa A02

Levantamento dos dados - Através da Carta topográfica do IBGE, escala 1:50.000, pode-se determinar o volume e a área inundada previstos para o projeto, a existência de vias de acesso ao local da obra e se há população na área prevista para o reservatório. Superpondo a Carta de Utilização da Terra encontram-se as áreas de diferentes tipos de cobertura vegetal da bacia contribuinte, podendo-se avaliar as perdas de solo correspondente (*Batista Martin et alli*, 1991). A Carta de Utilização da Terra permite, também, determinar a cobertura vegetal perdida. A Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1989, indica as unidades sob proteção, especificando o correspondente grau de influência antrópica permitido. Para avaliar a contribuição hídrica da bacia e o correspondente tempo de enchimento, podem-se utilizar os Estudos de Regionalização hidrológica (*DAEE*, 1988). A tabela 6.2 apresenta, resumidamente, os dados que devem ser levantados para se obter os parâmetros de avaliação, resumidos na tabela 6.5.

Tabela 6.2: Levantamento de dados.

	Res. superior		Res. inferior	
<b>Do projeto</b>				
custo		649.57 US\$/kW		
volume	23.22 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>	23.30 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
vazão afluyente	1.35 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup> /ano	6.23 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup> /ano
tempo de enchimento		3,34 anos		
área inundada	1.40	km <sup>2</sup>	1.89	km <sup>2</sup>
acesso	trafegável até obra		trafegável até obra	
<b>Da bacia contribuinte</b>				
cobertura vegetal	132 ha	campo	130 ha	cult. anual
			130 ha	capoeira
			779 ha	campo
unidade de conservação	ausente		ausente	
<b>Da área inundada</b>				
população		beneficiorias		
cobertura vegetal		30 ha	capoeira	
		39 ha	cult. anual	
		240 ha	campo	
		20 ha	café	

Estes procedimentos foram realizados para todas as alternativas, encontrando-se os valores absolutos extremos da avaliação das alternativas para cada critério, permitindo a elaboração de escalas de classificação.

No caso dos critérios "custos" e "tempo de enchimento", optou-se por uma regressão linear, indicada na figura 6.3.

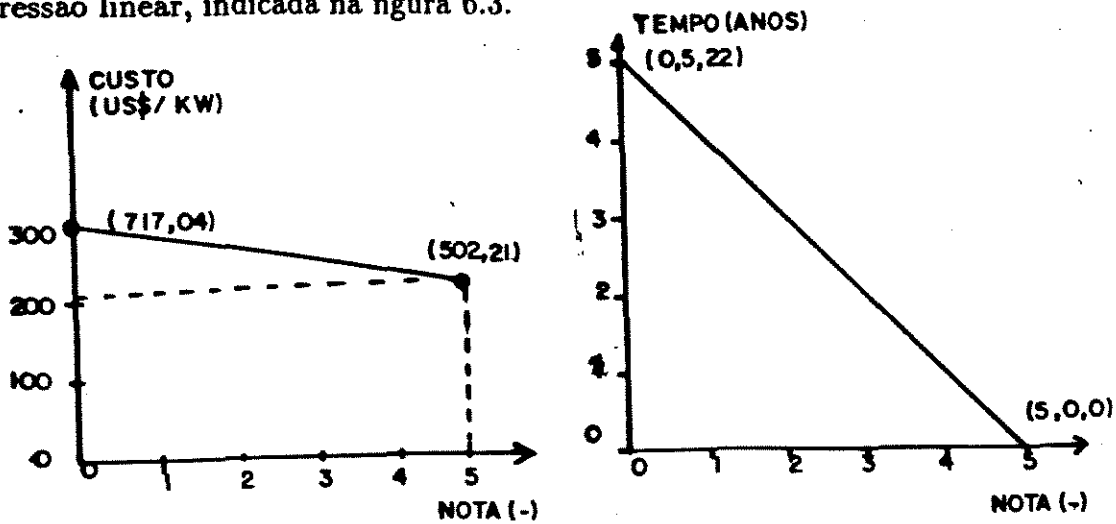


Figura 6.3: Escalas sob forma de função linear.

Já, como o critério "assoreamento" apresentou valores cobrindo uma ampla faixa de variação (1 a 8.000 t/ano), conseguiu-se uma melhor representação através de uma curva logarítmica (figura 6.4).

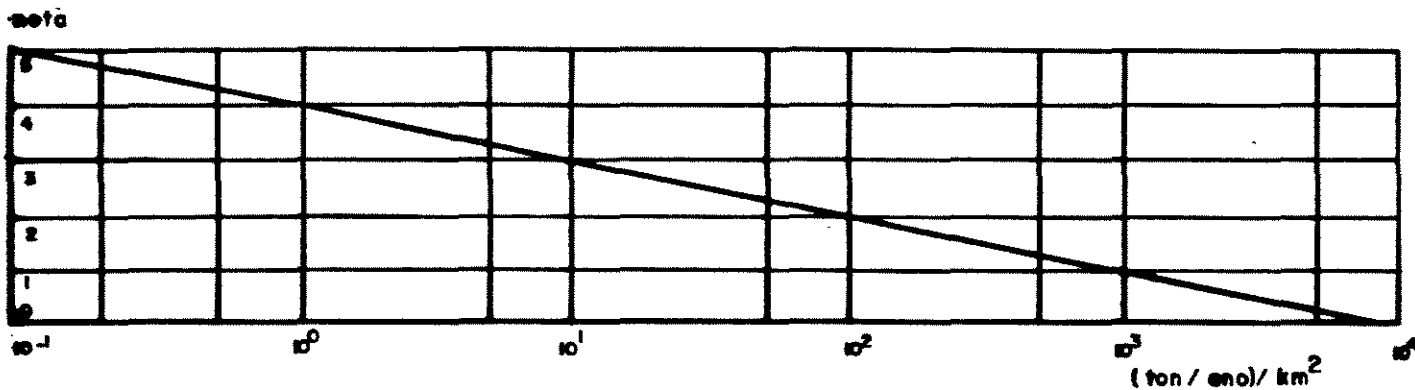


Figura 6.4: Escalas sob forma de função logarítmica.

O mapeamento das áreas de cobertura vegetal perdidas forneceram um quadro de diferentes valores para as áreas com vegetação homogênea. Aqui, de posse de notas arbitradas para cada tipo de cobertura vegetal<sup>1</sup>, calculou-se a média ponderada, obtendo-se o valor final de classificação para cada área inundada. As notas foram atribuídas de modo a valorizar ao máximo a presença de mata e capoeira densa (extrato vegetal que indica a recuperação da mata), bem como a presença de cultura agrícola. Atribuindo menores notas a estas áreas, os reservatórios ali situados terão menos chance de serem selecionados. A tabela 6.3 indica os valores da escala de acordo com o tipo de cobertura vegetal.

Tabela 6.3: Classificação de cobertura vegetal perdida.

tipo de cobertura vegetal	valor de escala
cultura, mata e capoeira densa	1
reflorestamento	2
cerrado e capoeira	3
pasto e campo	4
ausente	5

Para os critérios relativos às unidades de conservação, à população atingida e às vias de acesso, foram determinadas notas para as diferentes faixas de qualificação, indicadas na figura 6.5. É importante frisar que não se pretendeu encontrar valores definitivos para estas escalas. Cada uma delas poderia ser reformulada, receber um estudo aprofundado e ser representada por outras funções. Limitamo-nos a sugerir algumas formas de representação, de modo a apresentar a metodologia didaticamente.

<sup>1</sup>Segundo o Glossário de Ecologia da Academia de Ciências do Estado de São Paulo, Publicação ACIESP (57), 1987:

mata – presença de extrato arbóreo, formando dossel,

capoeira densa – estágio florestal baixo, na sucessão secundária e

capoeira – estágio herbáceo-arbustivo, correspondente aos primeiros estágios de sucessão ecológica.

tipo de acesso - distância (asfalto ou terra) [km]	valor da escala [-]
≥ 10 sem acesso ao local	1
1 - 10 sem acesso ao local	2
≥ 10 com caminhos até o local	3
1 - 10 com caminhos até o local	4
trafegável até o local	5

tipo de unidade de conservação	valor de escala
Áreas naturais tombadas, Estações Ecológicas, Parques, Reservas Biológicas e Reservas Florestais	1
APAS, ARIES e ASPES	2
ausente	5

tipo de agrupamento populacional [n.º hab.]	valor de escala -
> 200.000	1
10.001 - 200.000	2
localidade com até 10.000	3
benfeitorias	4
ausente	5

Figura 6.5: Escalas para classificação direta.



Deste modo, a alternativa exemplificada A02, após ser classificada de acordo com as escalas referidas, recebeu os valores da tabela 6.4. O mesmo procedimento foi realizado para todas as alternativas e podem ser conferidos no anexo 2 – quadros de classificação de todos os critérios. A seguir, a tabela 6.5, indica os valores de classificação relativa para todas as alternativas – o quadro básico para aplicação do método de análise multicriterial. Note-se que o critério C4 (relativo à qualidade das vias de acesso à obra) apresenta certa homogeneidade.

Tabela 6.4: Classificação da alternativa A02.

Critério	Classificação	Nota	Média
C1	649,57 US\$/kW <sub>h</sub>		1,6
C2	38 t/ano/km <sup>2</sup> (res. sup.)	2,4	
	1.816 t/ano/km <sup>2</sup> (res. inf.)	0,7	1,6
C3	3,34 anos		1,8
C4	trafegável até local da obra (res.sup.)	5	
	trafegável até local da obra (res.inf.)	5	5
C5	ausente		5
C6	30 ha capoeira	3	
	39 ha cultura anual	1	
	240 ha campo	4	
	20 ha café	1	3,4
C7	benfeitorias		4

Tabela 6.5: Resumo da classificação das alternativas.

	Critérios						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	1.60	1.30	2.20	5.00	5.00	3.45	5.00
A2	1.60	1.60	1.80	5.00	5.00	3.37	4.00
A3	1.50	2.10	4.00	5.00	2.00	3.64	5.00
A4	0.00	2.10	0.00	5.00	2.00	2.99	5.00
A5	3.00	3.70	4.10	4.50	5.00	3.28	4.00
A6	2.80	1.80	4.50	5.00	2.00	2.53	3.00
A7	3.20	2.50	0.20	5.00	5.00	4.00	3.00
A8	3.20	2.20	4.00	4.50	5.00	3.04	5.00
A9	3.70	3.80	4.00	4.50	1.00	1.72	5.00
A10	5.00	2.40	4.80	4.50	1.00	1.00	5.00
A11	2.80	1.60	5.00	5.00	5.00	3.01	3.00
A12	2.00	2.30	5.00	5.00	1.00	1.00	5.00

## Determinação do conjunto de alternativas não dominadas

As alternativas são analisadas aos pares, com a finalidade de detectar aquelas não-dominadas. Sendo que, por definição, a alternativa não-dominada é igual ou superior ao seu par - a alternativa dominada. Quando as exigências são rígidas, isto é, quando os valores limites não permitem nenhum grau de tolerância ( $p^*, q^* = (1,0)$ ), obtém-se o chamado quadro de preferência Forte (onde estão indicados os pares de alternativas que apresentam uma relação de dominância irrestrita. Por outro lado, quando o decisor está disposto a admitir algum grau de tolerância, permitindo que um ou mais critérios sejam desconsiderados, os valores limites recebem valores relaxados ( $p_i, q_i = (< 1, > 0)$ ). Estas relações de dominância relaxada são indicadas no quadro de preferência fraco.

Por exemplo, sob a ótica do empreendedor (E1), o quadro de preferência Forte está representado na figura 6.6 (a), onde, obedecendo aos princípios de rigidez máximo, apenas dois pares de alternativas sobressaem-se: (A03,A04) e (A11,A06).

Ao mudarmos os valores limites, isto é, ao desconsiderarmos o critério C6 (perda de recursos naturais - o que seria compatível com a ótica do exemplo), com peso 0,10, e admitirmos a possibilidade de que, para o critério desconsiderado, possa haver um desconforto de 20 %, os valores limites relaxados passarão a ser:

$$p_i = 1,00 - 0,10 = 0,90 \text{ e}$$

$$q_i = 0,00 + 0,20 = 0,20.$$

Agora, o quadro de preferência figura 6.6 (b) alterou-se e incorporou um novo par de alternativas aos já detectados - o par (A01,A02).

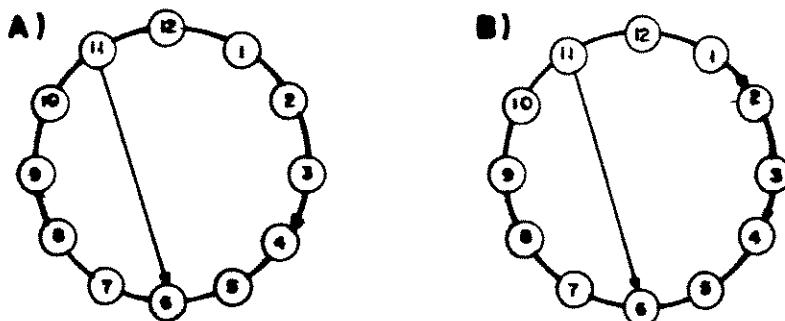


Figura 6.6: Gráficos de preferências (a) Forte, (b) fraco.

Seria importante notar que, na comparação entre as alternativas, uma nova componente foi utilizada com o intuito de superar as incertezas na obtenção dos dados, bem como de não promover-se uma rigorosidade exagerada ao considerar-se uma alternativa superior a outra, em casos onde esta superioridade for desprezível. Optamos por admitir que uma diferença entre alternativas de até 10 % da escala considerada é desprezível e as alternativas podem ser consideradas iguais. Isto se justifica devido à fase de projeto que estamos enfocando, já que na fase de pré-inventário não se dispõe, ainda, de dados que permitam obtenção de parâmetros exatos.

### Hierarquização das alternativas selecionadas

Utilizando-se o algoritmo Electre II para cada conjunto de pesos encontraram-se diferentes resultados das hierarquizações. Adotamos dois conjuntos de valores limites para cada enfoque, isto é, para cada conjunto de pesos, perfazendo um total de 12 resultados - 12 hierarquizações (o anexo 3 contém as listagens com os parâmetros de entrada - pesos, avaliação das alternativas e resultados obtidos para todas as 12 tentativas). Para o caso do exemplo, a hierarquização correspondente encontra-se na figura 6.7.

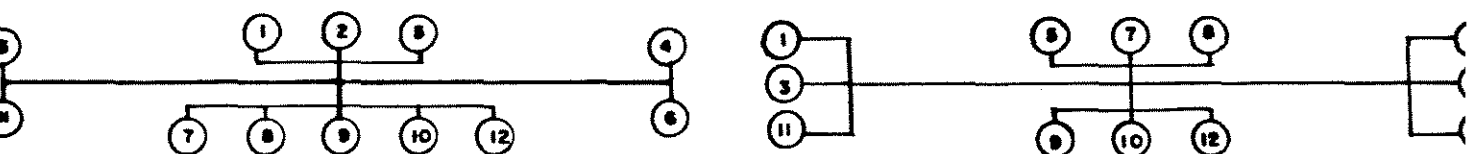


Figura 6.7: Hierarquização para enfoque E1 e valores limites fracos (0,90,0,10).

### Estudo de freqüência e de sensibilidade

Para o estudo de caso foram encontradas doze soluções, para os doze casos de variações realizadas. Pode-se observar que, em todas as tentativas as alternativas A03 e A11 permaneciam em primeiro lugar e A01 e A06 em último. As

restantes em posições intermediárias, sendo que, ao passo que o grau de tolerância aumentava, surgiam novas relações de dominância, permitindo incorporar novos pares de alternativas aos quadros de preferência. O gráfico de barras da figura 6.8 indica a freqüência com todas as alternativas aparecem em primeira e em última posição.

É justificado que a preferência recaia sobre A03 e A11. Situada na Serra Geral, a alternativa A03 - Itirapina (26), apresenta desvantagens em relação ao custo e ao assoreamento e está situada em uma APA - Área de Proteção Ambiental que permite atividade antrópica controlada. Por outro lado, encontra-se em melhor posição no que tange a perda de recursos naturais e o tempo de enchimento, apresentando os melhores valores para os critérios vias de acesso e população deslocada. Já a alternativa A11 - Natividade da Serra (136), localizada na Serra do Mar, apresenta somente para o critério assoreamento uma posição de nítida desvantagem. Para os critérios custos, perda de recursos e população reassentada apresenta uma situação relativa intermediária. Destaca-se com os melhores valores no que diz respeito ao tempo de enchimento, à situação das vias de acesso e não pertence a unidades de conservação. O gráfico de barras que se segue indica a freqüência com que as alternativas apareceram em primeiro lugar e em último lugar na classificação.

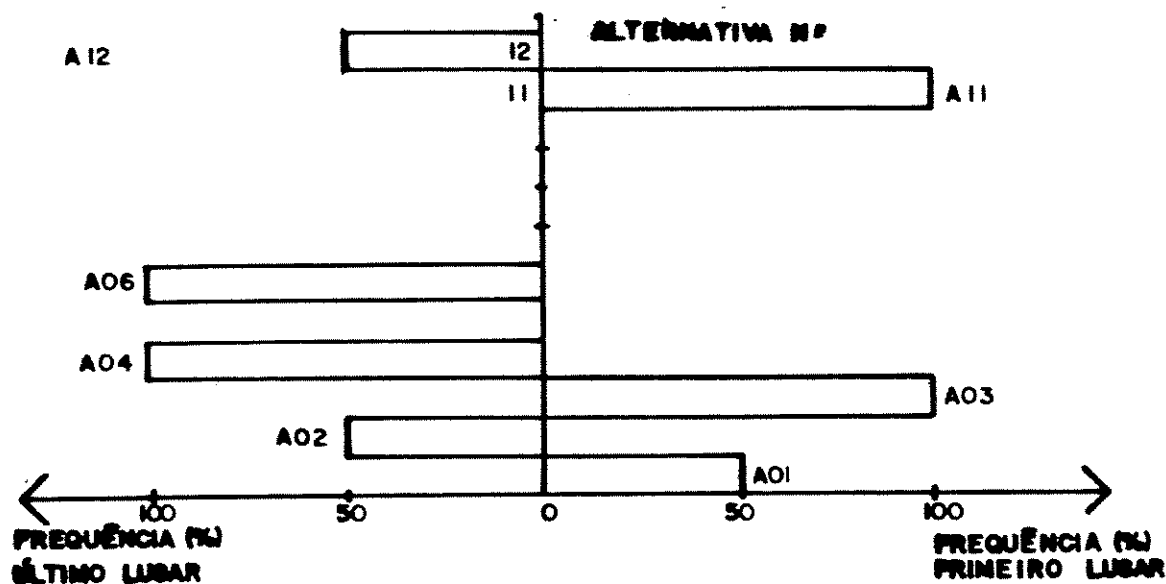


Figura 6.8: Indicação de freqüência: (a) primeiro lugar; (b) último lugar.

Para o decisor, a clara preponderância de A03 e A11 sobre as outras em todos os quadros circunstanciais previstos é um argumento importante na tomada de decisão. Se for necessário conceder em alguns dos pontos de vista (critérios) adotados, a alternativa A1 pode vir a ser escolhida.

### Sugestões e recomendações

Os resultados, mesmo sujeitos a diferentes enfoques, apresentaram uma grande semelhança. Na nossa opinião o método apresenta pontos a serem trabalhados posteriormente. As alternativas que, nos quadros de preferência, não apresentam, claramente, uma relação não-dominada/dominada são deslocadas para um patamar intermediário. O método de análise multicriterial poderia ser aperfeiçoado no sentido de encontrarem-se instrumentos que permitam melhor situar aquelas alternativas, talvez combinando-se métodos discretos e contínuos. Outro problema parece ser a falta de mecanismos que considerem o quanto uma alternativa é superior à outra. O método detecta se alternativa X é superior à alternativa Y, sem considerar de quanto é essa superioridade. Seria interessante, para um critério de grande importância, havendo uma alternativa que, neste critério, apresente resultados claramente muito superior às outras, encontrar meios de levar em consideração esta superioridade sem que o método passe a ser um método "uni-criterial".

A metodologia poderia sofrer modificações no que diz respeito à escolha de funções que melhor representem "critério X escala". Seria necessário um estudo detalhado para cada critério, o que ultrapassaria o escopo do trabalho proposto. Também seria interessante abordar o problema segundo o ponto de vista regional: algumas características das alternativas dependem, claramente, da região onde elas se encontram (por exemplo: o tempo de enchimento é diretamente relacionado com a pluviosidade, a estabilidade dos taludes depende do tipo de solo, as características de retenção dos reservatórios dependem da geomorfologia). Outra sugestão para aperfeiçoar a metodologia seria elaborar uma tentativa de comparação à base monetária.

Outra maneira de analisar a sensibilidade dos resultados da hierarquização, face à variação dos pesos, seria uma análise de elasticidade, como mostrou *Singer*,

1983, no desenvolvimento de um modelo de índice de qualidade de água. O estudo de elasticidade mostraria as alternativas que apresentam acentuadas mudanças em suas posições relativas nas hierarquizações obtidas.

Estas observações devem ser entendidas como indicações para estudos que dessem continuidade ao presente trabalho, de modo a aperfeiçoar tanto o método, quanto a metodologia empregados.

# Conclusão

O método de seleção multicriterial apresentado, possibilita incorporar, sistematicamente, aspectos sócio-ambientais relevantes, ultrapassando a tradicional ótica técnico-econômica, no processo de seleção de alternativas. Através da simulação de diferentes enfoques de abordagem do problema, são obtidas várias soluções, o que permite detectar, no caso da existência de numerosas alternativas de solução para determinado problema, aquelas alternativas menos viáveis (que poderão ser descartadas) e aquelas que apresentam maior viabilidade. Deste modo, pode-se reduzir, significativamente, o universo de alternativas a serem investigadas posteriormente, permitindo melhor aplicação dos recursos disponíveis, tanto financeiros quanto de tempo.

O método foi aplicado em um estudo de pré-inventário para determinar a viabilidade da implantação de usinas hidrelétricas reversíveis em sítios pré-determinados. As limitações do método devem-se à necessidade de arbitrar tanto os critérios em si, quanto o modo empregado para sua avaliação, isto é, os parâmetros e as escalas utilizadas. A dificuldade consiste em, partindo-se de uma postura teórica, tentar adotá-la, na prática, dentro de um quadro de limitações, que não controlamos. Mesmo assim, o exercício de sistematização realizado pretendeu contribuir para uma postura modernizadora, no âmbito da engenharia civil, no sentido de encontrar soluções que minimizem modificações prejudiciais ao meio sócio-ambiental, sem desconsiderar pontos de vista técnico-econômicos.

Talvez pareça pouco provável que uma análise de comparação entre projetos, já na fase de pré-inventário, utilize pontos de vista sócio-ambientais. Entretanto,

já existem alguns exemplos de sociedades contemporâneas que optaram por um tipo de desenvolvimento econômico que agrida menos a natureza (por exemplo: a opção de sociedade Sueca por fonte de energia não-nuclear, as leis ambientais rígidas do Estado da Califórnia). Há possibilidades de que isto se realize no contexto de um cenário em futuro não muito distante, onde serão priorizados projetos com menos impactos ambientais. Especialmente quando, já nos dias atuais, há consenso na comunidade internacional sobre a importância da conservação ambiental, os decisores precisam, forçosamente, prever as consequências ambientais relativas de obras a serem implantadas.

Se, cada vez mais, o processo de tomada de decisão sobre o aproveitamento de recursos hídricos, for realizado considerando, fortemente, a perspectiva ambiental, se a visão imediatista tradicional ceder lugar a uma postura que considere as variáveis tempo e espaço dentro de um contexto mais amplo, poderá, ainda, acontecer que a interferência do homem na natureza diminua e que ele interaja simbioticamente com a natureza, preservando sistemas naturais dos quais depende para existir.



# Bibliografia

- [1] BAJAY, S. V.  
*Planejamento Energético e Sociedade*. Revista Brasileira de Energia, V.1, N.º1, 45-53, 1989.
- [2] BATISTA MARTIN, N. et alli  
*Economia Agrícola Paulista: Características e Potencialidades*. Inf. Econ., V.21, p.201, 1991, suplemento 01/1991.
- [3] BRAGA, Benedito P. F.; ROCHA, Jose M. M.  
*Localização do polo petroquímico do Rio de Janeiro - uma análise multiobjetiva*. Águas e Energia Elétrica. DAEE. São Paulo, 13: 54-60, 1988.
- [4] CIARLINI, R. M.; FILHO, W. J.  
*Pumped-storage development in Brazil*. Water Power & Dam Construction: part one: 59-65, january 1981; part two: 11-14. february 1981; part three: 40-42, march 1981.
- [5] COHON, L. Jared  
*Multiobjective Programming and Planning*. London, Academic Press, Inc., 1978. 333p. Mathematics in Science and Engineering, 140.
- [6] COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS, Comissão Técnica de Barragens e o Meio Ambiente.  
*Problemas Ambientais de Reservatórios*. novembro de 1983.
- [7] DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica – Assessoria de Recursos Hídricos do DAEE  
*Atuação do DAEE no campo da Energia Elétrica*. Águas e Energia Elétrica. DAEE. São Paulo, 15: 23-28, 1989.

- [8] DUCKSTEIN, L. et alli  
*Multicriterion Analysis of Hydropower Operation*. Journal of Energy Engineering, 115(3): 132-153, 1989.
- [9] FRICKE, Glacir T.; SINGER, Eugenio.  
*Análise multicriterial da bacia do Rio Piracicaba através das metodologias Electre I e Electre II*. 15.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belém. Vol.2, pg193, setembro de 1989.
- [10] FROMM, E.  
*Haben oder Sein*. Deutsche Taschenbuch Verlag, Stuttgart, 8.ª edição, 1981.
- [11] GARDE, R. J.; RANGA RAJU, K. G.  
*Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. John Wiley & Sons, New Delhi, second edition, 1985.
- [12] GOICOECHEA, Ambrose; HANSEN, Don R.; DUCKSTEIN, Lucien  
*Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*. John Wiley & Sons.
- [13] Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado dos Negócios do Interior, Coordenadoria de Ação Regional, Instituto Geográfico e Cartográfico  
*Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo*. Escala 1:250.000, 1983.
- [14] Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Coordenadoria de Pesquisa de Recursos Naturais  
*Áreas Naturais sob Proteção no Estado de São Paulo*. Escala 1:1.000.000, 1989.
- [15] HAIMES, Yacov Y.; HALL, Warren A.; FREEDMAN, Herbert T.  
*Multiobjective Optimization in Water Resources Systems*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1975. 194p. (Development in Water Science, 3).
- [16] HARRIS, V.; SINGER, E.  
*Reduzindo a Subjetividade da Ponderação de Critérios na Análise Multicriterial para Recursos Hídricos*. IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, 10 - 14 de novembro de 1991.

- [17] HARRIS, V.; SANTOS, R.; SINGER, E.  
*Impacto Ambiental na Fase de Pré-Inventário I. Seleção de Parâmetros.* 5.º  
Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Lisboa, 11 -  
14 de março de 1992 (trabalho aceito e a ser publicado no simpósio acima).
- [18] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.  
*Inventário de Usinas Hidrelétricas Reversíveis junto às Serras Geral e da  
Mantiqueira no Estado de São Paulo - Fase de Pré-Inventário.* Relatório  
N.º 13.197, Vol.I-VI, 1979.
- [19] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.  
*Inventário de Usinas Hidrelétricas Reversíveis junto à Serra do Mar no Es-  
tado de São Paulo - Fase de Pré-Inventário.* Relatório N.º 15.384, Vol.I-IV,  
1981.
- [20] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.  
*Inventário de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Estado de São Paulo -  
Fase de Pré-Inventário.* Relatório N.º 17.316, Vol.I, 1982.
- [21] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.  
*Unidades de Conservação Ambiental e Áreas Correlatas no Estado de São  
Paulo.* Comunicação técnica 1780. São Paulo, 1988.
- [22] JAMIESON D.G.  
*An Integrated, Multi-functional approach to Water Resources Management.*  
Journal of Hydrological Sciences, 31(4):501-514, 1986.
- [23] JORGE, F. N. de; PEREIRA, N. A. M.  
*Condicionantes do meio físico na implantação de usinas hidrelétricas re-  
versíveis no Estado de São Paulo.* III Congresso Brasileiro de Energia. Rio  
de Janeiro, outubro de 1984.
- [24] KALHAMMER, F.R.  
*Energy-Storage Systems.* Scientific American, 241(6), Dec. 79.
- [25] KEENEY, R. L.  
*Evaluation of Proposed Storage Sites.* Operatios Research, V.27, N.º1,  
january-february 1979.

- [26] LAFONTAINE, O.  
*Die Gesellschaft der Zukunft*. Hoffmann und Campe, Hamburg, 1988.
- [27] MEADOWS, D. L. et alli.  
*Limites do Crescimento*. Perspectiva, São Paulo, 2.<sup>a</sup> edição, 1978.
- [28] Ministério das Minas e Energia, Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.  
*Manual de Estudos de Efeitos Ambientais dos Sistemas Elétricos*. junho de 1986.
- [29] Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, Fundação IBGE, Departamento de Cartografia  
*Cartas do Brasil*. Escala 1:50.000. 1971.
- [30] MULLARKEY, James M.  
*Acumulação bombeada - Origem: Brasil. O recurso hidroelétrico do futuro*. Promon Engenharia S.A.
- [31] NACHTNEBEL, H. P.  
*Wasserwirtschaftliche Planung bei Mehrfacher Zielsetzung*. Wien, Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau, 1988. (Wiener Mitteilungen, Band 78).
- [32] PAES MACHADO, E.  
*Poder e Participação Política no Campo*. Editora Cerifa, São Paulo, 1987. 152 p.
- [33] PINGUELLI ROSA, Luiz et alli.  
*Impactos de Grandes Projetos Hidrelétricos e Nucleares - Aspectos Econômicos, Tecnológicos, Ambientais e Sociais*. São Paulo. Editora Marco Zero, 1988. 199p.
- [34] QUINTAS, Oswaldo S. et alli.  
*Concentração de carga e alguns problemas*. Águas e Energia Elétrica. DAEE. 5(15): 51-51, 1989.
- [35] ROY, Bernard; VINCKE, Philippe  
*Multicriteria analysis: survey and new directions*. European Journal of Operational Research. 8: 207-218, 1981.

- [36] RUCKELHAUS, W. D.  
*Toward a Sustainable World*. Scientific American, september, 1989.
- [37] SAATY, Thomas L.  
*A scaling method for priorities in hierarchical structures*. Journal of mathematical Psychology. 15(3): 234-281, 1977.
- [38] SAATY, Thomas L.  
*The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill, 1980. 283p.
- [39] SCHREIBER, Gerhard P.  
*Usinas hidrelétricas*. São Paulo, Edgard Blüchner, 1977.
- [40] SINGER, Eugenio da Motta  
*Development and Application of a New Methodology for Water Quality Indices: a Multicriterion Approach*. Ph.D. Dissertation, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, USA. 1983.
- [41] SILVEIRA, Reolando  
*Usinas reversíveis: uma possibilidade adicional de energia elétrica*. I Congresso e I Mostra Brasileira de Meio Ambiente. São Paulo. 17.03.1981.
- [42] SINUANY-STERN, Zilla  
*Ranking of Sports Teams via the AHP*. Journal of the Operational Research Society. 39(7):661-667.1988.
- [43] TOYNBEE, J. A.; IKEDA, D.  
*Escoge la Vida*. Emecé editora, Buenos Aires. 1984.

## ANEXO 1: UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

1. **Áreas naturais tombadas (ANT):** São áreas ou monumentos naturais cuja conservação é de interesse público, seja pelo seu valor histórico, ambiental, arqueológico, geológico, turístico ou paisagístico. Podem ser instituídas em terras públicas ou particulares e, uma vez inscritas no Livro do Tombo, essas áreas passam a ter restrições quanto ao seu uso, de modo a garantir a conservação de suas características originais.

Legislação: Decreto Lei Federal nº 25, de 30/11/87; Decreto Estadual nº 14.374, de 10/03/72.

2. **Áreas de proteção ambiental (APA):** Respeitando os princípios constitucionais que regem o exercício do direito de propriedade, o Poder Executivo, nos níveis federal, estadual, ou municipal, poderá criar APAS, estabelecendo normas que limitem ou proíbam a implantação ou o desenvolvimento de atividades que afetem as características ambientais dessas áreas, suas condições ecológicas ou ainda ameacem extinguir as espécies da biota regional.

Nesse sentido, a APA é uma Unidade de Conservação que visa a proteção da vida silvestre e a manutenção de bancos genéticos, bem como dos demais recursos naturais, através da adequação e orientação das atividades humanas, promovendo a melhoria da qualidade de vida da população.

Trata-se de uma forma de conservação que disciplina o uso e a ocupação do solo, através de zoneamento ambiental, procedimentos de controle e fiscalização, programas de educação e extensão ambiental, cujo encaminhamento se dá em articulação com os órgãos de poder executivo, com as universidades, os municípios envolvidos e as comunidades locais.

A implantação das APAS federais é da competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), ligado ao Ministério do Interior, e das APAS estaduais da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Legislação: Leis Federais nº 6.902, de 27/04/81 e nº 6.938, de 31/08/81; Decreto federal nº 88.351, de 01/06/83.

3. **Áreas de relevante interesse ecológico (ARIE):** A criação de uma ARIE tem como finalidade a proteção de uma área natural de grande valor ecológico e extensão relativamente pequena (sempre inferior a 5.000 ha), regulamentando e disciplinando a utilização de seus recursos ambientais.

A principal diferença entre uma APA e uma ARIE é que nesta última a extensão protegida é muito menor, porém as restrições às atividades humanas são muito maiores.

Legislação: Lei Federal nº 6.938, de 31/08/81; Decreto federal nº 89.336, de 31/01/84.

4. **Áreas sob proteção especial (ASPE):** São áreas ou bens assim definidos pelas autoridades competentes, em terras de domínio público ou privado, cuja conservação é considerada prioritária para a manutenção da qualidade do meio ambiente, do equilíbrio e da preservação da biota nativa. Podem ser definidas por resolução da autoridade ambiental federal, estadual ou municipal. Essa mesma autoridade é responsável pela coordenação das ações necessárias à sua implantação e conservação. As ASPES se caracterizam como uma primeira medida de proteção de áreas ou bens que após estudos mais aprofundados poderão ser incluídos em outras categorias de conservação mais restritivas.
5. **Estações ecológicas (EE):** São áreas representativas de ecossistemas naturais, destinadas à realização de pesquisas básicas e aplicadas de Ecologia, à proteção do ambiente natural e ao desenvolvimento da educação conservacionista.

Toda Estação Ecológica deve ter, no mínimo, 90 % de sua área destinados à preservação integral da biota. Na área restante poderá ser autorizada a realização de pesquisas ecológicas que venham a acarretar modificações no ambiente natural.

Podem ser criadas pelos governos federal, estadual ou municipal, em terras de seu domínio.

Legislação: Decreto nº 84.973, de 29/07/80; Decreto federal nº 6.902, de 27/04/81; Lei federal nº 6.938, de 31/08/81; Decreto federal nº 88.351, de 01/06/83.

6. **Parques:** São áreas de extensão considerável, contendo formações ou paisagens de características naturais relevantes, onde espécies de plantas ou animais, sítios geomorfológicos ou habitats são de grande interesse científico, educacional ou recreativo.

Geralmente abrangem mais de 1.000 ha, suscetíveis de manejo em estado natural ou quase natural. Qualquer exploração dos recursos naturais dos parques é proibida, e suas terras devem pertencer ao poder público.

São áreas de preservação permanente, devendo estar sempre abertas à visitação pública para a recreação, turismo ecológico e educação ambiental.

Legislação: Código Florestal - Lei federal nº 4.771, de 15/09/65; Decreto federal nº 84.017, de 21/09/79; Decretos estaduais nº 21.712, de 16/11/81; nº 25.341, de 04/06/86 e nº 41.626, de 30/01/63; Lei estadual nº 6.884, de 29/08/62.

7. **Reservas biológicas (RBIO):** São áreas que se caracterizam por conter ecossistemas ou comunidades frágeis, de grande importância graças a sua diversidade biológica. Sua finalidade é a conservação dos recursos genéticos de fauna e flora, visando o desenvolvimento do estudo e da pesquisa científica.

Seu tamanho é variável, sendo determinado pela área requerida para os objetivos a que se propõe. A propriedade dessas áreas deve ser do poder público e em geral somente são acessíveis a visitas de caráter educativo.

Legislação: Código Florestal - Lei federal nº 4.771, de 15/09/65; e Lei de Proteção à Fauna - Lei federal nº 5.197, de 03/01/67.



8. **Reservas florestais (RFLO):** Esta categoria de manejo é transitória. Geralmente são áreas extensas, não habitadas, de difícil acesso e ainda em estado natural.

Seus recursos naturais não se encontram suficientemente identificados e avaliados a ponto de permitir que sejam manejados. Busca-se então, através da criação das reservas, proteger seus recursos para um uso futuro e impedir ou reter qualquer atividade que ameace sua integridade, até que as áreas sejam melhor conhecidas e então estabelecidos objetivos de manejo permanente, como, por exemplo, transformá-las em Estações Ecológicas, Parques Estaduais ou Reservas Biológicas.

Enquanto isso não ocorre, as Reservas Florestais permanecem protegidas pela legislação estadual e administradas pelo Instituto Florestal (CPRN/SMA).

## ANEXO 2: QUADROS DE CLASSIFICAÇÃO

Critério C1 – Minimização do custo do kW instalado

Alt. N.º	Custo	valor de escala
[-]	[US\$/kW]	[-]
A1	650,00	1,6
A2	649,57	1,6
A3	652,76	1,5
A4	717,04	0,0
A5	589,48	3,0
A6	596,20	2,8
A7	581,13	3,2
A8	579,04	3,2
A9	557,62	3,7
A10	502,21	5,0
A11	598,49	2,8
A12	630,17	2,0

**Critério C2 – Minimização do assoreamento nos reservatórios**

Critério C02 – Manutenção					
Alt. N.º	sedimentos retidos	área inundada	sed.ret./área inund.	nota	média
[-]	[ton/ano]	[km <sup>2</sup> ]	[(ton/ano)/km <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
A1 (S)	2652	2,42	1.096	0,9	<b>1,3</b>
(I)	509	2,20	231	1,6	
A2 (S)	53	1,40	38	2,4	<b>1,6</b>
(I)	3.433	1,89	1.816	0,7	
A3 (S)	30	1,36	22	2,6	<b>2,1</b>
(I)	488	1,55	315	1,6	
A4 (S)	47	1,32	36	2,4	<b>2,1</b>
(I)	282	1,68	168	1,8	
A5 (S)	13	0,96	14	3,8	<b>3,7</b>
(I)	295	9,77	30	3,5	
A6 (S)	66	1,15	57	2,2	<b>1,8</b>
(I)	432	1,22	354	1,4	
A7 (S)	29	1,20	24	2,5	<b>2,5</b>
(I)	28	1,12	25	2,5	
A8 (S)	23	0,99	23	2,6	<b>2,2</b>
(I)	77	0,46	167	1,8	
A9 (S)	2	1,30	2	3,8	<b>3,8</b>
(I)	4	2,73	1	3,8	
A10 (S)	8	0,78	10	3,0	<b>2,4</b>
(I)	176	1,03	171	1,8	
A11 (S)	13	1,29	10	3,0	<b>1,6</b>
(I)	8.392	1,00	8.392	0,1	
A12 (S)	86	0,89	97	2,0	<b>2,3</b>
(I)	11	0,60	18	2,5	

Manutenção Reservatório Superior							
Alt. N.º	bacia contribuinte		volume		razão ( $V_{Rs}/V_a$ )	eficiência de retenção	sedimentos retidos
	área (veg.)	sed. erodido	Res ( $V_{Rs}$ )	afluente ( $V_a$ )			
[-]	[ha]	[ton/ano]	$10^6 \text{ m}^3$	$10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$	[-]	[%]	[ton/ano]
A1	200 (capoeira)	80					
	100 (cult. anual)	2.500					
	454 (campo)	182					
	<b>754</b>	<b>2.762</b>	<b>30,02</b>	<b>5,23</b>	<b>5,74</b>	<b>96</b>	<b>2.652</b>
A2	132 (campo)	53					
	<b>132</b>	<b>53</b>	<b>23,22</b>	<b>1,35</b>	<b>17,59</b>	<b>100</b>	<b>53</b>
A3	19 (floresta)	0,08					
	74 (campo)	30					
	<b>93</b>	<b>30</b>	<b>26,61</b>	<b>0,83</b>	<b>32,06</b>	<b>100</b>	<b>30</b>
A4	78 (campo)	31					
	40 (floresta)	0,16					
	40 (silvicultura)	16					
	<b>158</b>	<b>47</b>	<b>23,37</b>	<b>1,03</b>	<b>22,69</b>	<b>100</b>	<b>47</b>
A5	154 (floresta)	0,62					
	30 (campo)	12					
	<b>184</b>	<b>13</b>	<b>19,27</b>	<b>1,67</b>	<b>11,57</b>	<b>100</b>	<b>13</b>
A6	269 (floresta)	1,10					
	168 (campo)	67					
	<b>435</b>	<b>68</b>	<b>26,76</b>	<b>3,85</b>	<b>6,95</b>	<b>97</b>	<b>66</b>
A7	210 (floresta)	0,84					
	70 (campo)	28					
	<b>280</b>	<b>29</b>	<b>25,95</b>	<b>2,24</b>	<b>11,58</b>	<b>100</b>	<b>29</b>
A8	219 (floresta)	0,88					
	55 (campo)	22					
	<b>271</b>	<b>23</b>	<b>16,01</b>	<b>2,20</b>	<b>7,27</b>	<b>100</b>	<b>23</b>
A9	437 (floresta)	2					
	<b>437</b>	<b>2</b>	<b>44,02</b>	<b>10,72</b>	<b>4,11</b>	<b>95</b>	<b>2</b>
A10	360 (floresta)	2					
	14 (campo)	6					
	<b>374</b>	<b>8</b>	<b>17,44</b>	<b>5,55</b>	<b>3,14</b>	<b>95</b>	<b>8</b>
A11	129 (floresta)	0,52					
	32 (campo)	12					
	<b>161</b>	<b>13</b>	<b>41,29</b>	<b>1,10</b>	<b>37,54</b>	<b>100</b>	<b>13</b>
A12	876 (floresta)	3					
	219 (campo)	88					
	<b>1.095</b>	<b>91</b>	<b>14,50</b>	<b>6,91</b>	<b>2,10</b>	<b>95</b>	<b>86</b>

Manutenção Reservatório Inferior							
Alt. N.º	bacia contribuinte		volume		razão ( $V_{Ri}/V_a$ )	eficiência de retenção	sedimentos retidos
	área (veg.)	sed. erodido	Res ( $V_{Ri}$ )	afluente ( $V_a$ )			
[-]	[ha]	[ton/ano]	$10^6 \text{ m}^3$	$10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$	[-]	[%]	[ton/ano]
A1	100 (café)	90					
	100 (capoeira)	40					
	1.000 (campo)	400					
	<b>1.200</b>	<b>530</b>	<b>29,97</b>	<b>7,46</b>	<b>4,02</b>	<b>96</b>	<b>509</b>
A2	130 (cult.anual)	3.250					
	130 (capoeira)	52					
	779 (campo)	312					
	<b>1.039</b>	<b>3.614</b>	<b>23,30</b>	<b>6,23</b>	<b>3,74</b>	<b>95</b>	<b>3.433</b>
A3	1.140 (floresta)	5					
	1.277 (campo)	511					
	<b>2.417</b>	<b>516</b>	<b>26,62</b>	<b>9,03</b>	<b>2,95</b>	<b>94,50</b>	<b>488</b>
A4	181 (floresta)	0,72					
	72 (silvicultura)	29					
	653 (campo)	261					
	<b>906</b>	<b>291</b>	<b>23,30</b>	<b>3,77</b>	<b>6,18</b>	<b>97</b>	<b>282</b>
A5	923 (floresta)	3,7					
	77 (reflorest.)	31					
	693 (campo)	277					
	<b>1.693</b>	<b>312</b>	<b>43,67</b>	<b>18,69</b>	<b>2,34</b>	<b>94,50</b>	<b>295</b>
A6	1.801 (floresta)	7,2					
	1.125 (campo)	450					
	<b>2.926</b>	<b>457</b>	<b>27,59</b>	<b>21,35</b>	<b>1,29</b>	<b>94,50</b>	<b>432</b>
A7	201 (floresta)	0,8					
	67 (campo)	27					
	<b>268</b>	<b>28</b>	<b>26,02</b>	<b>1,96</b>	<b>13,28</b>	<b>100</b>	<b>28</b>
A8	777 (floresta)	3,1					
	194 (campo)	78					
	<b>971</b>	<b>81</b>	<b>15,76</b>	<b>6,07</b>	<b>2,60</b>	<b>94,50</b>	<b>77</b>
A9	1.135 (floresta)	4					
	<b>1.135</b>	<b>4</b>	<b>43,84</b>	<b>26,65</b>	<b>1,65</b>	<b>94</b>	<b>4</b>
A10	9.403 (floresta)	38					
	392 (campo)	157					
	<b>9.795</b>	<b>195</b>	<b>17,47</b>	<b>121,73</b>	<b>0,14</b>	<b>90</b>	<b>176</b>
A11	98.400 (floresta)	394					
	24.600 (campo)	9.840					
	<b>123.000</b>	<b>10.234</b>	<b>55,81</b>	<b>775,71</b>	<b>0,07</b>	<b>82</b>	<b>8.392</b>
A12	2.728 (floresta)	11					
	<b>2.728</b>	<b>11</b>	<b>14,46</b>	<b>40,90</b>	<b>0,35</b>	<b>93</b>	<b>11</b>

### Critério C3 – Minimização do tempo de enchimento do reservatório

Alt. N.º	Tempo de enchimento	valor de escala
[-]	[anos]	[-]
A1	2,94	2,2
A2	3,34	1,8
A3	1,08	4,0
A4	5,22	0,0
A5	0,97	4,1
A6	0,52	4,5
A7	5,03	0,2
A8	1,02	4,0
A9	1,00	4,0
A10	0,20	4,8
A11	0,00	5,0
A12	0,00	5,0

**Critério C4 – Maximização da qualidade de vias de acesso**

Alt. N.º	Tipo de acesso ao local (em asfalto ou terra)	valor de escala	média
[-]	[-]	[-]	[-]
A1 (S)	trafegável até o local	5	
(I)	trafegável até o local	5	<b>5</b>
A2 (S)	trafegável até o local	5	
(I)	trafegável até o local	5	<b>5</b>
A3 (S)	trafegável até o local	5	
(I)	trafegável até o local	5	<b>5</b>
A4 (S)	trafegável até o local	5	
(I)	trafegável até o local	5	<b>5</b>
A5 (S)	1-10 km e sem acessos	4	
(I)	trafegável até o local	5	<b>4,5</b>
A6 (S)	trafegável até o local	5	
(I)	trafegável até o local	5	<b>5</b>
A7 (S)	trafegável até o local	5	
(I)	trafegável até o local	5	<b>5</b>
A8 (S)	1-10 km sem acesso	4	
(I)	trafegável até o local	5	<b>4,5</b>
A9 (S)	1-10 km sem acesso	4	
(I)	trafegável até o local	5	<b>4,5</b>
A10 (S)	1-10 km sem acesso	4	
(I)	trafegável até o local	5	<b>4,5</b>
A11 (S)	trafegável até o local	5	
(I)	já existe reservatório	5	<b>5</b>
A12 (S)	já existe reservatório	5	
(I)	trafegável até o local	5	<b>5</b>

**Critério C5 – Maximização da manutenção das unidades de proteção institucionais e de relevância ambiental**

Alt. N.º	Tipo de unidade de conservação	valor de escala
-	-	-
A1	-	<b>5</b>
A2	-	<b>5</b>
A3	APA estadual (31)	<b>2</b>
A4	APA estadual (31)	<b>2</b>
A5	-	<b>5</b>
A6	APA federal (24)	<b>2</b>
A7	-	<b>5</b>
A8	-	<b>5</b>
A9	Área natural tombada (21) APA federal (23) Estação ecológica (72)	<b>1</b>
A10	Área natural tombada (21) Parque estadual (98)	<b>1</b>
A11	-	<b>5</b>
A12	Área natural tombada (21) Parque estadual (98)	<b>1</b>



**Critério C6 – Minimização das perdas de recursos naturais (cobertura vegetal)**

Alt. N.º	área inundada		tipo de cob. veg.	valor de escala	média
	[ha]	[%]			
A1	48	10	capoeira	3	1
	68	15	cult. anual	1	
	346	75	campo	4	
	<b>462</b>	<b>100</b>	-	-	
A2	30	9	capoeira	3	
	39	12	cult. anual	1	
	240	73	campo	4	
	20	6	café	1	
	<b>329</b>	<b>100</b>	-	-	
A3	52	18	silvicultura	2	
	239	82	campo	4	
	<b>291</b>	<b>100</b>	-	-	
A4	66	22	silvicultura	2	
	178	59	campo	4	
	56	19	cana	1	
	<b>300</b>	<b>100</b>	-	-	
A5	259	24	floresta	1	
	814	76	campo	4	
	<b>1073</b>	<b>100</b>	-	-	
A6	115	49	floresta	1	
	122	51	campo	4	
	<b>237</b>	<b>100</b>	-	-	
A7	232	100	campo	4	
	<b>232</b>	<b>100</b>	-	-	
A8	46	32	floresta	1	
	99	68	campo	4	
	<b>145</b>	<b>100</b>	-	-	
A9	273	68	floresta	1	
	34	8	banana	1	
	96	24	campo	4	
	<b>403</b>	<b>100</b>	-	-	
A10	181	100	floresta	1	
	<b>181</b>	<b>100</b>	-	-	
A11	43	33	floresta	1	
	86	67	campo	4	
	<b>129</b>	<b>100</b>	-	-	
A12	149	100	floresta	1	
	<b>149</b>	<b>100</b>	-	-	

**Critério C7 – Minimização da população a ser reassentada**

Alt. N.º	tipo de agrupamento	valor de escala
[-]	[-]	[-]
A1	-	5
A2	benfeitorias	4
A3	-	5
A4	-	5
A5	benfeitorias	4
A6	localidade com até 10.000 hab. benfeitorias	3
A7	localidade com até 10.000 hab. benfeitorias	3
A8	-	5
A9	-	5
A10	-	5
A11	localidade com até 10.000 hab.	3
A12	-	5

## **ANEXO 3: LISTAGENS: PARÂMETROS E RESULTADOS**

PARA ENFOQUE E6 - VISAO DA COMUNIDADE REGIONAL

ARQUIVO D2VEPE.DAT - PESOS DOS CRITERIOS

CUS .150  
 ASS .130  
 TDE .170  
 ACE .110  
 UDP .180  
 PDB .150  
 POP .110

ARQUIVO D3CONC.DAT - MATRIZ DE CONCORDANCIA

.00	.87	.70	.87	.55	.55	.57	.55	.55	.55	.55	.70
.89	.00	.59	.76	.55	.68	.57	.44	.44	.44	.68	.59
.82	.82	.00	.00	.54	.85	.39	.67	.72	.55	.50	.83
.35	.35	.53	.00	.37	.68	.39	.50	.55	.55	.50	.68
.78	.89	.63	.78	.00	.89	.74	.89	.74	.57	.72	.61
.56	.56	.61	.61	.43	.00	.54	.43	.61	.61	.67	.76
.72	.72	.72	.89	.59	.83	.00	.72	.59	.57	.83	.72
.74	.74	.74	.89	.87	.89	.61	.00	.87	.68	.72	.72
.56	.56	.56	.56	.67	.56	.56	.67	.00	.68	.39	.72
.56	.56	.56	.56	.54	.56	.56	.67	.72	.00	.56	.89
.74	.74	.61	.76	.76	.00	.72	.76	.61	.61	.00	.76
.67	.67	.67	.67	.39	.52	.52	.52	.57	.85	.52	.00

PARA ENFOQUE E6 - VISAO DA COMUNIDADE REGIONAL

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

pw = .89

qw = .20

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1

1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

LOOP NUMERO = 2

1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1

1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

LOOP NUMERO = 2

1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

(CA)	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

(CR)	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

(CF)	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

PARA ENFOQUE E6 - VISAO DA COMUNIDADE REGIONAL

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

pw = .85  
 qw = .30

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1  
 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1  
 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1  
 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(CA)	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
(CR)	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.0	2.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5

PERMANECEM CONSTANTES NA APLICACAO DO METODO:

- MATRIZ DE CLASSIFICACAO DAS ALTERNATIVAS,
- MATRIZ DE DISCORDANCIA E
- MATRIZ DE PREFERENCIA FORTE (ps = 1,0 e qs = 0,0)

MATRIZ DE CLASSIFICACAO DAS ALTERNATIVAS:

GER007	1.600	1.300	2.200	5.000	5.000	3.450	5.000
GER012	1.600	1.600	1.800	5.000	5.000	3.370	4.000
GER026	1.500	2.100	4.000	5.000	2.000	3.640	5.000
GER031	.000	2.100	.000	5.000	2.000	2.990	5.000
MTQ027	3.000	3.700	4.100	4.500	5.000	3.280	4.000
MTQ039	2.800	1.800	4.500	5.000	2.000	2.530	3.000
MTQ053	3.200	2.500	.200	5.000	5.000	4.000	3.000
MTQ057	3.200	2.200	4.000	4.500	5.000	3.040	5.000
MAR065	3.700	3.800	4.000	4.500	1.000	1.720	5.000
MAR077	5.000	2.400	4.800	4.500	1.000	1.000	5.000
MAR136	2.800	1.600	5.000	5.000	5.000	3.010	3.000
MAR141	2.000	2.300	5.000	5.000	1.000	1.000	5.000

MATRIZ DE DISCORDANCIA:

.00	.12	.36	.32	.96	.46	.48	.36	1.00	.68	.56	.56
.50	.00	.50	.50	.84	.54	.36	.50	.88	.68	.64	.64
.75	.75	.00	.00	.75	.26	.75	.75	.68	.70	.75	.20
.75	.75	.80	.00	.82	.90	.75	.80	.80	1.00	1.00	.00
1.00	1.00	1.00	.00	.00	1.00	.50	.50	.50	1.00	1.00	.00
1.00	.75	1.00	.00	.76	.00	.75	1.00	1.00	1.00	.75	.00
1.00	.50	1.00	.00	.78	.86	.00	1.00	1.00	1.00	.96	.00
1.00	1.00	1.00	.00	.60	1.00	.00	.64	.36	1.00	1.00	.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.00	.26	1.00	1.00	.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.00	.56	1.00	1.00	.00
1.00	.50	1.00	.00	.84	.00	.36	1.00	1.00	1.00	.00	.00
1.00	1.00	.88	.66	1.00	.51	1.00	.00	.60	.60	1.00	.00

MATRIZ DE PREFERENCIA FORTE

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PARA ENFOQUE E1 - VISAO DO EMPREENDEDOR

ARQUIVO D2VEPE.DAT - PESOS DOS CRITERIOS

CUS .170  
 ASS .150  
 TDE .170  
 ACE .170  
 UDP .150  
 PDB .100  
 POP .090

ARQUIVO D3CONC.DAT - MATRIZ DE CONCORDANCIA

.00	.85	.68	.85	.51	.51	.58	.51	.51	.51	.51	.68
.91	.00	.59	.76	.51	.66	.58	.42	.42	.42	.66	.59
.85	.85	.00	1.00	.53	.83	.43	.68	.68	.51	.51	.83
.41	.41	.56	.00	.36	.66	.43	.51	.51	.51	.51	.66
.74	.83	.64	.74	.00	.83	.73	.91	.74	.57	.66	.57
.66	.66	.66	.66	.51	.00	.60	.51	.59	.59	.75	.76
.74	.74	.74	.91	.59	.83	.00	.74	.59	.57	.83	.74
.73	.73	.73	.83	.85	.83	.58	.00	.85	.66	.66	.66
.58	.58	.58	.58	.75	.58	.58	.75	.00	.66	.41	.66
.58	.58	.58	.58	.60	.58	.58	.75	.75	.00	.58	.83
.81	.81	.66	.76	.76	1.00	.75	.76	.59	.59	.00	.76
.75	.75	.75	.75	.43	.58	.58	.58	.58	.83	.58	.00



PARA ENFOQUE E1 - VISAO DO EMPREENDEDOR

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

PW = .90

qW = .20

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1

1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

LOOP NUMERO = 2

1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1

1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

LOOP NUMERO = 2

1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1
2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

(CA)	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
(CR)	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5

PARA ENFOQUE E1 - VISAO DO EMPREENDEDOR

ARQUIVO D3NINF.DAT

SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

pw = .85

qw = .20

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1

1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1

LOOP NUMERO = 2

1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1

0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1

LOOP NUMERO = 2

2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1

1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

(CA) 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1

(CR) 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

(CF) 1.0 2.0 1.0 2.0 1.5 2.0 1.5 1.5 1.5 1.5 1.0 1.5

PARA ENFOQUE E2 - VISAO TECNICO-OPERACIONAL

ARQUIVO D2VEPE.DAT - PESOS DOS CRITERIOS

CUS .180  
 ASS .160  
 TDE .160  
 ACE .150  
 UIDF .110  
 PDE .130  
 PDF .110

ARQUIVO D3CONC.DAT - MATRIZ DE CONCORDANCIA

.00	.84	.68	.84	.50	.50	.53	.50	.50	.50	.50	.68
.89	.00	.57	.73	.50	.66	.53	.39	.39	.39	.66	.57
.89	.89	.00	.00	.55	.82	.42	.71	.66	.50	.55	.84
.42	.42	.53	.00	.39	.66	.42	.55	.50	.50	.55	.66
.74	.85	.61	.74	.00	.85	.72	.89	.71	.55	.69	.58
.65	.65	.60	.60	.49	.00	.60	.49	.55	.55	.76	.73
.73	.73	.73	.89	.57	.84	.00	.73	.57	.55	.84	.73
.72	.72	.72	.85	.84	.85	.56	.00	.84	.66	.69	.69
.61	.61	.61	.61	.76	.61	.61	.76	.00	.66	.45	.69
.61	.61	.61	.61	.60	.61	.61	.76	.71	.00	.61	.85
.76	.76	.60	.73	.73	.00	.71	.73	.55	.55	.00	.73
.76	.76	.76	.76	.42	.58	.58	.58	.53	.82	.58	.00

PARA ENFOQUE E2 - VISAO TECNICO-OPERACIONAL

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

PW = .89  
 qw = .20

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1  
 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1  
 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1  
 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(CA)	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
(CR)	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5

ARQUIVO D3NINF.DAT

SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

pw = .85

qw = .25

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1  
 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1  
 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1  
 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

(CA)	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
(CR)	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5

PARA ENFOQUE E3 - VISAO TECNICO-AMBIENTALISTA

ARQUIVO D2VEPE.DAT - PESOS DOS CRITERIOS

CUS .130  
 ASS .160  
 TDE .110  
 ACE .090  
 UDP .180  
 PDB .180  
 POP .150

ARQUIVO D3CONC.DAT - MATRIZ DE CONCORDANCIA

.00	.84	.73	.84	.60	.60	.53	.60	.60	.60	.60	.73
.85	.00	.58	.69	.60	.76	.53	.45	.45	.45	.76	.58
.82	.82	.00	.00	.53	.87	.35	.69	.71	.60	.58	.89
.40	.40	.58	.00	.42	.76	.35	.58	.60	.60	.58	.76
.76	.91	.58	.76	.00	.91	.73	.85	.72	.61	.80	.65
.49	.49	.51	.51	.33	.00	.48	.33	.56	.56	.64	.69
.74	.74	.74	.85	.58	.89	.00	.74	.58	.61	.89	.74
.73	.73	.73	.91	.84	.91	.57	.00	.84	.76	.80	.80
.55	.55	.55	.55	.64	.55	.55	.64	.00	.76	.44	.80
.55	.55	.55	.55	.48	.55	.55	.64	.66	.00	.55	.91
.67	.67	.51	.69	.69	.00	.66	.69	.56	.56	.00	.69
.64	.64	.64	.64	.35	.51	.51	.51	.53	.87	.51	.00

PARA ENFOQUE E3 - VISAO TECNICO-AMBIENTALISTA

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

PW = .89  
 qw = .20

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1  
 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1  
 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1  
 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(CA)	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2
(CR)	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	2.0

PARA ENFOQUE E3 - VISAO TECNICO-AMBIENTALISTA

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

PW = .85  
 qw = .30

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1  
 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1  
 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1  
 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

(CA)	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2
(CR)	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.5	1.5	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	2.0



PARA ENFOQUE E4 - VISAO AMBIENTALISTA

ARQUIVO D2VEPE.DAT - PESOS DOS CRITERIOS

CUS .120  
 ASS .100  
 TDE .100  
 ACE .130  
 UDF .190  
 PDB .190  
 FOP .170

ARQUIVO D3CONC.DAT - MATRIZ DE CONCORDANCIA

.00	.90	.80	.90	.68	.68	.59	.68	.68	.68	.68	.80
.83	.00	.63	.73	.68	.78	.59	.51	.51	.51	.78	.63
.81	.81	.00	.00	.59	.88	.40	.69	.78	.68	.59	.90
.40	.40	.59	.00	.49	.78	.40	.59	.68	.68	.59	.78
.70	.87	.51	.70	.00	.87	.68	.83	.71	.61	.77	.60
.45	.45	.54	.54	.35	.00	.52	.35	.61	.61	.62	.73
.73	.73	.73	.83	.63	.90	.00	.73	.63	.61	.90	.73
.68	.68	.68	.87	.90	.87	.58	.00	.90	.78	.77	.77
.49	.49	.49	.49	.62	.49	.49	.62	.00	.78	.39	.77
.49	.49	.49	.49	.52	.49	.49	.62	.71	.00	.49	.87
.64	.64	.54	.73	.73	.00	.71	.73	.61	.61	.00	.73
.62	.62	.62	.62	.40	.50	.50	.50	.59	.88	.50	.00

PARA ENFOQUE E4 - VISAO AMBIENTALISTA

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

pw = .90  
qw = .20

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1  
1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0  
LOOP NUMERO = 2  
1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1  
0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1  
LOOP NUMERO = 2  
2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1  
1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(CA)	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2
(CR)	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.0	2.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	2.0

PARA ENFOQUE E4 - VISAO AMBIENTALISTA

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES  
 MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

PW = .87  
 qW = .30

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1  
 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1  
 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1  
 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(CA)	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2
(CR)	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.0	2.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	2.0

PARA ENFOQUE E5 - VISAO DA COMUNIDADE LOCAL

ARQUIVO D2VEPE.DAT - PESOS DOS CRITERIOS

CUS	.140
ASS	.070
TDE	.070
ACE	.120
UDP	.170
PDB	.190
POP	.240

ARQUIVO D3CONC.DAT - MATRIZ DE CONCORDANCIA

.00	.93	.86	.93	.72	.72	.60	.72	.72	.72	.72	.86
.76	.00	.62	.69	.72	.79	.60	.48	.48	.48	.79	.62
.83	.83	.001	.00	.62	.86	.43	.69	.79	.72	.62	.93
.43	.43	.60	.00	.55	.79	.43	.62	.72	.72	.62	.79
.64	.88	.45	.64	.00	.88	.69	.76	.62	.55	.81	.57
.40	.40	.50	.50	.33	.00	.57	.33	.55	.55	.64	.69
.69	.69	.69	.76	.62	.93	.00	.69	.62	.55	.93	.69
.69	.69	.69	.88	.93	.88	.62	.00	.93	.79	.81	.81
.52	.52	.52	.52	.64	.52	.52	.64	.00	.79	.45	.81
.52	.52	.52	.52	.57	.52	.52	.64	.74	.00	.52	.88
.57	.57	.50	.69	.691	.00	.74	.69	.55	.55	.00	.69
.64	.64	.64	.64	.43	.50	.50	.50	.60	.86	.50	.00

PARA ENFOQUE E5 - VISAO DA COMUNIDADE LOCAL

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES

MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

pw = .93

qw = .20

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1

1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0

LOOP NUMERO = 2

1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1

0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1

LOOP NUMERO = 2

2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1

1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

(CA) 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2

(CR) 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

(CF) 1.0 2.0 1.0 2.0 1.5 2.0 1.5 1.5 1.5 1.5 1.0 2.0

PARA ENFOQUE E5 - VISAO DA COMUNIDADE LOCAL

ARQUIVO D3NINF.DAT - SUBCONJUNTO DE SOLUCOES NAO-INFERIORES  
 MATRIZ DE PREFERENCIA FRACA

pw = .86  
 qw = .00

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ARQUIVO D3CLAV.DAT - CLASSIFICACAO AVANTE (CA)

LOOP NUMERO = 1  
 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0  
 LOOP NUMERO = 2  
 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2

ARQUIVO D3CLRV.DAT - CLASSIFICACAO REVERSA (CR)

LOOP NUMERO = 1  
 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1  
 LOOP NUMERO = 2  
 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1  
 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2

ARQUIVO D3CLF.DAT - CLASSIFICACAO FINAL (CF)

ALTERNATIVAS:  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

(CA)	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2
(CR)	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
(CF)	1.0	2.0	1.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	2.0