

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Michele Nascimento Melo

**MAPEAMENTO DIFUSO NO AUXÍLIO DA REDUÇÃO DOS
IMPACTOS AMBIENTAIS EM UMA USINA HIDRELÉTRICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Planejamento e Gestão de Sistemas Energéticos

Orientador: Germano Lambert-Torres

Co-orientador: Marinaldo Felipe da Silva

Outubro de 2009

Itajubá - MG

*Dedico todo meu empenho
Aos meus pais, Marcos e Helenice;
Aos meus irmãos, Mônica e Mateus;
E ao meu noivo e companheiro de estudos, Álvaro.*

AGRADECIMENTOS

O quão feliz é uma pessoa depende da profundidade de sua gratidão.
(John Miller)

Feliz... Sou muito feliz. É a gratidão a todos que sempre me ajudaram. Só tenho que agradecer a todas estas pessoas.

Agradeço a Deus, pela vida, por tudo que tenho e sou.

Agradeço aos meus pais, Marcos e Helenice, que sempre me apóiam em todos os meus momentos, em todas as minhas lutas.

Agradeço aos meus irmãos, Mônica e Mateus, por me ajudarem ou apenas me ouvirem.

Agradeço ao Álvaro, meu noivo e parceiro de estudos, que está sempre me dando apoio e me ensinando a cada passo deste Mestrado como perseverar.

Agradeço ao meu professor orientador Germano Lambert Torres, por me guiar durante todo o Mestrado e, anteriormente, na Especialização. Agradeço também por ter acreditado em todos nós.

Agradeço a professora Sílvia Rissino, que, além de me ajudar com o seu conhecimento, me dava o apoio técnico com suas idas a Itajubá.

Agradeço aos professores Luiz Eduardo e Marinaldo, que sempre estiveram dando dicas para a melhoria da minha Dissertação.

Agradeço ao professor Júlio Militão, pelo pontapé inicial deste meu caminho.

Agradeço a professora Graça Viana, que ajudou com conselhos, dicas, apoio e dedicação, ao longo de seis anos.

Agradeço a Elaine, uma grande parceira de estudos, que está se tornando cada vez mais parceira para a vida.

Enfim, agradeço a todos que me apoiaram de alguma maneira, com palavras de incentivo ou mesmo de descrença, uma vez que tudo isso me fez superar os obstáculos. E agora eu estou aqui.

RESUMO

Durante a construção de uma usina hidrelétrica, os recursos naturais da região sofrem ações que podem ter resultados adversos, gerando a degradação do meio ambiente. Assim, é imprescindível encontrar-se metodologias de avaliação de impacto ambiental que auxiliem na redução dos danos sobre o meio ambiente com a construção de grandes empreendimentos. Com este objetivo, esta Dissertação apresenta o Mapeamento Difuso de Impactos Ambientais como um método que, com o uso da teoria da Lógica Difusa, utiliza base de conhecimentos qualitativos resultando em um sistema, apresentado em gráfico, onde, com os dados reais, é possível definir o futuro grau de impacto ambiental de uma usina hidrelétrica.

PALAVRAS-CHAVE

Mapeamento Difuso. Impactos Ambientais. Usina Hidrelétrica. Lógica Difusa. Estudos de Impacto Ambiental.

ABSTRACT

During the construction of a hydroelectric power station, the natural resources of the region suffer actions that can have adverse results, generating the degradation of environment. Therefore, it is indispensable to be methodologies of evaluation of environmental impact that assist in the reduction of the damage about environment with the construction of great enterprises. With this objective, this Dissertation presents the Fuzzy Mapping of Environmental Impacts as a method that, with use of the theory of Fuzzy Logic, use base of qualitative knowledges resulting in a system, presented in graphic, where with the real data, it is possible to define the future degree of environmental impact of a hydroelectric power station.

KEYWORDS

Fuzzy Mapping. Environmental Impacts. Hydroelectric Power Station. Fuzzy Logic. Environmental Impact Assessment.

SUMÁRIO

I. Lista de Figuras	08
II. Lista de Tabelas	09
<u>Capítulo 1</u> – Introdução	10
1.1 – Objetivos Gerais	11
1.2 – Objetivos Específicos	11
<u>Capítulo 2</u> – Impacto Ambiental em Usinas Hidrelétricas	12
2.1 – Considerações Iniciais	12
2.2 – Definição de Impacto Ambiental	13
2.3 – Estudo de Impacto Ambiental	14
2.3.1 – História dos Estudos de Impacto Ambiental	14
2.4 – Avaliações de Impactos Ambientais	16
2.5 – Diagnóstico Ambiental	19
2.6 – Fatores Geradores de Impacto	19
2.6.1 – Classificação dos Impactos Ambientais	22
<u>Capítulo 3</u> – Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental	26
3.1 – Considerações Iniciais	26
3.1.1 – Metodologias Espontâneas (<i>Ad Hoc</i>)	26
3.1.2 – Metodologia de Listagem (<i>Check List</i>)	28
3.1.3 – Matrizes de Interações	29
3.1.4 – Redes de Interações	30
3.1.5 – Metodologias Quantitativas	32
3.1.6 – Análise Multicritério	33
3.1.7 – Modelos de Simulação	34
<u>Capítulo 4</u> – Lógica Difusa	36

4.1 – Teoria Fuzzy	36
4.2 – Conjuntos Difusos	36
4.2.1 – Operações sobre Conjuntos Difusos	37
4.3 – Fundamentos de Controle e Mapeamento Difuso	42
4.3.1 – Fuzzificação	43
4.3.2 – Processo de Inferência	45
4.3.3 – Defuzzificação	46
4.4 – Relações Difusas	48
<u>Capítulo 5</u> – Estudos de Impacto Ambiental: Matriz de Decisão, Mapeamento e Modelagem	51
5.1 – Considerações Iniciais	51
5.2 – Matriz de Impactos	52
5.3 – Mapeamento das Variáveis Lingüísticas	56
5.3.1 – Estrutura do Mapeamento	58
5.3.2 – Indicadores Lingüísticos	59
5.3.2.1 – Blocos de Regras	59
5.3.3 – Solo	62
5.3.4 – Água	65
5.3.5 – Ar	66
5.3.6 – Estrutura da Usina Hidrelétrica	71
5.3.7 – Grau de Impacto Ambiental	73
5.4 – Aplicação do mapeamento com auxílio do MATLAB	81
<u>Capítulo 6</u> – Conclusões e Recomendações	84
Referências	85

I. LISTA DE FIGURAS

Organograma 1: Etapas da Avaliação de Impactos Ambientais	17
Figura 1: Exemplo de Redes de Interação	31
Organograma 2: Parâmetros Ambientais pelo Método Battelle	32
Figura 2: Etapas do processo de AMD	33
Figura 3: União de subconjuntos difusos	38
Figura 4: Intersecção de subconjuntos difusos	39
Figura 5: Complemento ou Negação de subconjuntos difusos	40
Figura 6: Igualdade de subconjuntos difusos	41
Figura 7: Processo de um Sistema de Controle	42
Figura 8: Funções: Triangular, Trapezoidal e Gaussiana	44
Figura 9: Centro de Gravidade	47
Figura 10: Máximo Valor	47
Figura 11: Média de Máximos	48
Figura 12: Relação clássica	49
Figura 13: Relação fuzzy e os diversos graus de preferência	49
Figura 14: Relação entre os elementos do Mapeamento	58
Figura 15: Impacto sobre o solo	64
Figura 16: Impacto sobre a água	66
Figura 17: Impacto sobre o ar	71
Figura 18: Impactos relacionados à construção da usina	72
Figura 19: Grau de Impacto Ambiental – RN1 e RN2	77
Figura 20: Grau de Impacto Ambiental – RN1 e RN3	78
Figura 21: Grau de Impacto Ambiental – RN2 e RN3	78
Figura 22: Grau de Impacto Ambiental – RN1 e MA	78
Figura 23: Grau de Impacto Ambiental – RN2 e MA	79
Figura 24: Grau de Impacto Ambiental – RN3 e MA	79
Figura 25: Grau de impacto sem a construção de uma usina hidrelétrica	81
Figura 26: Grau de impacto com a construção de uma usina a fio d'água	82
Figura 27: Grau de impacto com a construção de uma usina com reservatório de acumulação	83

II. LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Alterações gerais resultantes da implantação de usinas hidrelétricas e reservatórios	21
Tabela 2: Características do Impacto Ambiental	22
Tabela 3: Elementos do Impacto Ambiental e suas Possibilidades	23
Tabela 4: Exemplo de Categorias de Gravidade	24
Tabela 5: Exemplo de Níveis de Frequência	25
Tabela 6: Exemplo de Metodologias Espontâneas – Matriz de Delfos	27
Tabela 7: Exemplo de <i>Check List</i>	28
Tabela 8: Exemplo de Matriz de Leopold	30
Tabela 9: Exemplo de Modelo de Simulação de Sistema de Acumulação	34
Tabela 10: Critérios para avaliar a importância de impactos ambientais	53
Tabela 11: Relação entre Fatores geradores, efeitos e impactos ambientais	55
Tabela 12: Indicadores Lingüísticos	59
Tabela 13: Variáveis Lingüísticas	60
Tabela 14: Classes de Fragilidade do Solo	62
Tabela 15: Graus de Proteção por Tipos de Cobertura Vegetal	63
Tabela 16: Algumas características para os diferentes graus de qualidade da água	65
Tabela 17: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar	67
Tabela 18: Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar	68
Tabela 19: Poluição do Ar	68
Tabela 20: Determinação da Classe de Estabilidade da Atmosfera	69
Tabela 21: Tamanho de uma usina hidrelétrica	71
Tabela 22: Modelo de uma usina hidrelétrica	72
Tabela 23: Grau de Impacto	73
Tabela 24: Programas de gestão ambiental para uma usina hidrelétrica	80

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A geração de energia através de uma usina hidrelétrica pode ser considerada uma alternativa não-polvente. Entretanto, os impactos socioambientais provocados pela construção geram polêmica quanto à decisão de se instalar ou não uma usina. Deste modo, a melhor solução é se utilizar métodos de avaliação que definam a real dimensão de um impacto ambiental, para, assim, ser possível minimizar os efeitos de certas ações.

Observando os métodos existentes, pode-se detectar a falta de definição dos danos ambientais inter-relacionados. Com isso, é imprescindível o estudo de novos métodos, que possam dar ênfase neste ponto importante, uma vez que um assoreamento, por exemplo, é causado pela fragilidade do solo, a vegetação local, os poluentes da água e a construção de barragens. Em outras palavras, o grau de um impacto ambiental sobre um determinado recurso natural é influenciado por vários fatores, portanto é necessário observar estas relações.

Assim, esta Dissertação apresenta um modelo alternativo de análise de impacto ambiental sobre uma região influenciada pela construção de uma usina hidrelétrica, baseado no mapeamento de danos ambientais através de proposições condicionais difusas. Este trabalho está estruturado como segue: o Capítulo 2 aborda o “Impacto Ambiental em Usinas Hidrelétricas”, envolvendo as definições de Impacto Ambiental, parte da Legislação existente sobre o tema e o Estudo de Impacto Ambiental. Enfocando os “Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental”, o Capítulo 3 aborda algumas metodologias usuais no Estudo de Impacto Ambiental. Apresentando a teoria em que se baseia o modelo, o Capítulo 4 trata da “Lógica Difusa” e os fundamentos pelos quais foi obtido o método. No Capítulo 5, “Estudos de Impacto Ambiental: Matriz de Decisão, Mapeamento e Modelagem”, é apresentado o método proposto e as etapas utilizadas para sua definição, além de exemplos de proposições condicionais difusas que podem ser utilizadas na delimitação do grau de impacto de uma usina hidrelétrica.

1.1 OBJETIVO GERAL

A presente dissertação tem como objetivo propor uma metodologia onde a teoria da lógica difusa, mais precisamente o mapeamento difuso, é utilizada para identificar os elementos que influenciam em um maior grau de impacto ambiental durante a construção de uma usina hidrelétrica, sendo possível, portanto, reduzir estes impactos através de medidas mitigadoras ou por atos compensatórios. Após a ação de fatores geradores de impactos, é possível descrever a reação dos elementos envolvidos através de dados qualitativos, que podem ser obtidos por uma equipe de especialistas, dando maior precisão dos resultados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta Dissertação são:

1. Estabelecer o impacto ambiental e as metodologias utilizadas para a análise das reações futuras do meio ambiente, após a construção de um empreendimento;
2. Aplicar a teoria da Lógica Difusa no modelamento de impactos ambientais;
3. Propor uma metodologia para tomada de decisão, em relação à construção de uma usina hidrelétrica e os impactos ambientais gerados;
4. Descrever as variáveis lingüísticas utilizadas no mapeamento proposto.

Capítulo 2

IMPACTO AMBIENTAL EM USINAS HIDRELÉTRICAS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A energia é vital para o desenvolvimento econômico de um país. Sem ela não é possível a implantação de complexos industriais, por exemplo. Segundo [58], até a década de 1980, o modelo de planejamento energético mundial adotado era baseado na necessidade de satisfazer a demanda crescente por energia, gerando a implantação de grandes projetos de desenvolvimento, com enorme dispêndio de capitais e de recursos naturais. Ainda de acordo com [58], um exemplo é o setor elétrico brasileiro, que gerou a implantação de grandes usinas hidrelétricas, deixando o país com sobras de energia por alguns anos.

Considerada uma forma renovável de energia, a energia proveniente de usinas hidrelétricas é gerada através do aproveitamento do movimento das águas do rio. Assim, a geração de energia hidrelétrica está relacionada com a vazão do rio, a altura da queda e a concentração dos desníveis existentes ao longo do rio. Este desnível pode ser natural, como em cachoeiras, ou artificial, criado através de barragens. [2][6][33][58]

Segundo dados do [2], a energia hidráulica representa uma parcela expressiva da matriz energética mundial, cerca de 20% de toda eletricidade gerada no mundo. No Brasil, a contribuição da energia hidráulica é significativa, representando aproximadamente 83% de toda energia elétrica produzida no país. Ainda de acordo com [2], estima-se que, pelo menos, 50% da expansão necessária para a geração de energia elétrica para os próximos anos no país seja suprida pela energia hídrica. Entretanto, o aumento da demanda de energia hidrelétrica acarreta graves problemas socioambientais. De acordo com [7],

As usinas hidrelétricas não produzem resíduos como fumaças, gases ou cinzas, contaminadores do meio ambiente, assim mesmo podem causar graves impactos ambientais, dependendo do local em que se situam a barragem e a represa por ela formada.

Assim, é necessário planejar a intervenção ambiental destes empreendimentos para atenuar os resultados potencialmente impactantes que possam ocorrer com a construção de uma usina, oferecendo soluções que possibilitam gerar o máximo de energia com o mínimo de dispêndio de recursos naturais.

2.2 DEFINIÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

O meio ambiente é “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”, assim definido pela Lei de Política Nacional do Meio Ambiente [11]. O conceito jurídico de meio ambiente pode ser distinguido em duas perspectivas principais: uma estrita e outra ampla, de acordo com Milaré, apud [51],

Numa visão estrita, o meio ambiente nada mais é do que a expressão do patrimônio natural e suas relações com o ser vivo. Tal noção, é evidente, despreza tudo aquilo que não seja relacionado com os recursos naturais. Numa concepção ampla, que vai além dos limites estreitos fixados pela Ecologia, o meio ambiente abrange toda a natureza original (natural) e artificial, bem como os bens culturais correlatos.

Esta teoria define que os bens culturais são integrantes dos recursos ambientais como meio artificial ou humano. Logo, o dano ambiental “engloba uma realidade mais vasta: não somente prejuízos causados à natureza (o dano ecológico *stricto sensu*), mas também aqueles causados aos meios cultural e artificial” [51]. Tem-se também a definição de Impacto Ambiental, de acordo com [17], onde o Impacto Ambiental consiste em

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

Considera-se assim o impacto ambiental como “uma alteração drástica e de natureza negativa da qualidade ambiental” [51]. Também podendo ser definida como o resultado da ação contínua e desordenada do homem, destruindo o equilíbrio de um ecossistema.

2.3 ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

De acordo com [20], Estudos Ambientais são

Todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

Tendo a finalidade de conciliar desenvolvimento e proteção ambiental, o Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EIA) é um importante instrumento de planejamento e controle ambiental, elaborado antes da instalação da obra potencialmente causadora de degradação. A predição de impactos envolve a avaliação das possíveis conseqüências nas diferentes características socioeconômicas e biofísicas da região, apresentando os procedimentos que devem ser tomados para minimizar os efeitos da devastação, através de projetos de proteção ambiental ou pela compensação financeira, além de outras informações necessárias para a tomada de decisão. Devido a sua importância, existem diretrizes e atividades técnicas mínimas que devem ser seguidas, para definir e analisar os impactos ecológicos decorrentes das fases de implantação e operação da atividade.

Segundo o Artigo 6º da [17], o Estudo de Impacto Ambiental deverá possuir, no mínimo, o Diagnóstico ambiental da área afetada pelo projeto; a Análise dos impactos ambientais, através de identificação, previsão da extensão e interpretação da importância; a Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos e a Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento. Assim, o Estudo de Impacto Ambiental resulta em um relatório baseado na descrição de todas as prováveis conseqüências da atividade projetada e na prevenção aos riscos iminentes ao meio ambiente, sugerindo alternativas consideradas mais apropriadas para diminuir os impactos negativos.

2.3.1 História dos Estudos de Impacto Ambiental

Como o impacto ambiental é “uma alteração drástica e de natureza negativa da qualidade ambiental” [51], a necessidade de haver o Estudo de Impacto Ambiental

(*Environmental Impact Assessment – EIA*), durante a instalação de indústrias, passou a ser difundida no final da década de 60, através de congressos internacionais, tendo como objetivo discutir a necessidade de uma política ambiental de prevenção às alterações sócio-ambientais. [52]

Um exemplo disto é a Conferência de Estocolmo (*United Nations Conference on the Human Environment*), ocorrida em 1972, onde se deu ênfase para a necessidade de se conviver com o meio ambiente, evitando destruí-lo, ou ainda, como afirma o relatório *Our Common Future*, elaborado pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (*World Commission on Environment and Development*), é imprescindível um modelo de desenvolvimento que satisfaça as necessidades atuais, sem afetar as das gerações futuras. [58]

No Brasil, o Estudo de Impacto Ambiental começou a ser discutido após a elaboração dos estudos “*Environmental, Health, and Human Ecologic Considerations in Economic Development Projects*”, publicado em 1974 pelo Banco Mundial e “*Las Evaluaciones de Impacto Ambiental*” (1977), procedente do Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales – CIFCA, que são considerados pontos de referência dos estudos de impactos ambientais, uma vez que, a partir destes estudos, técnicos e cientistas das Centrais Elétricas de São Paulo (CESP) principiaram à análise das conseqüências provocadas pela construção de usinas hidrelétricas. [52]

Entretanto, somente com a promulgação da Lei nº 6803, de 02 de julho de 1980, o Estudo de Impacto Ambiental foi considerado como procedimento administrativo para obtenção do licenciamento de um empreendimento. No Artigo 10, § 3º, foram inseridos os estudos especiais de alternativas e de avaliações de impacto, tendo como objetivo a prevenção e monitoramento dos danos ambientais para o estabelecimento de zoneamento urbano. No entanto, a lei mencionada se limitava a exigir esses estudos para autorizar a implantação de pólos petroquímicos, cloroquímicos, carboquímicos, bem como instalações nucleares. [10]

Por meio da Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, a Avaliação de Impactos Ambientais foi instituída como um dos instrumentos de preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental das áreas atingidas por um projeto, contudo a lei

não determinava seu conceito, conteúdo mínimo, hipótese de incidência e momento de preparação. Ainda assim, houve um grande progresso em relação à Lei de Zoneamento Industrial (Lei 6803/80), uma vez que não limitou a avaliação a apenas uma área. [10][11]

Em 1986, a Resolução CONAMA/001 legalizou institucionalmente os Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) e os Relatórios de Impacto Ambiental (RIMAs), atribuindo ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – a aprovação de projetos de atividades modificadoras do meio ambiente, como as usinas de geração de eletricidade, após análise destes estudos. Esta Resolução aumentou o campo de atuação do Estado, que passou a agir integralmente na implantação dos projetos, inclusive confrontando a alternativa tecnológica escolhida com outras existentes, comparando o provável impacto ambiental. [17]

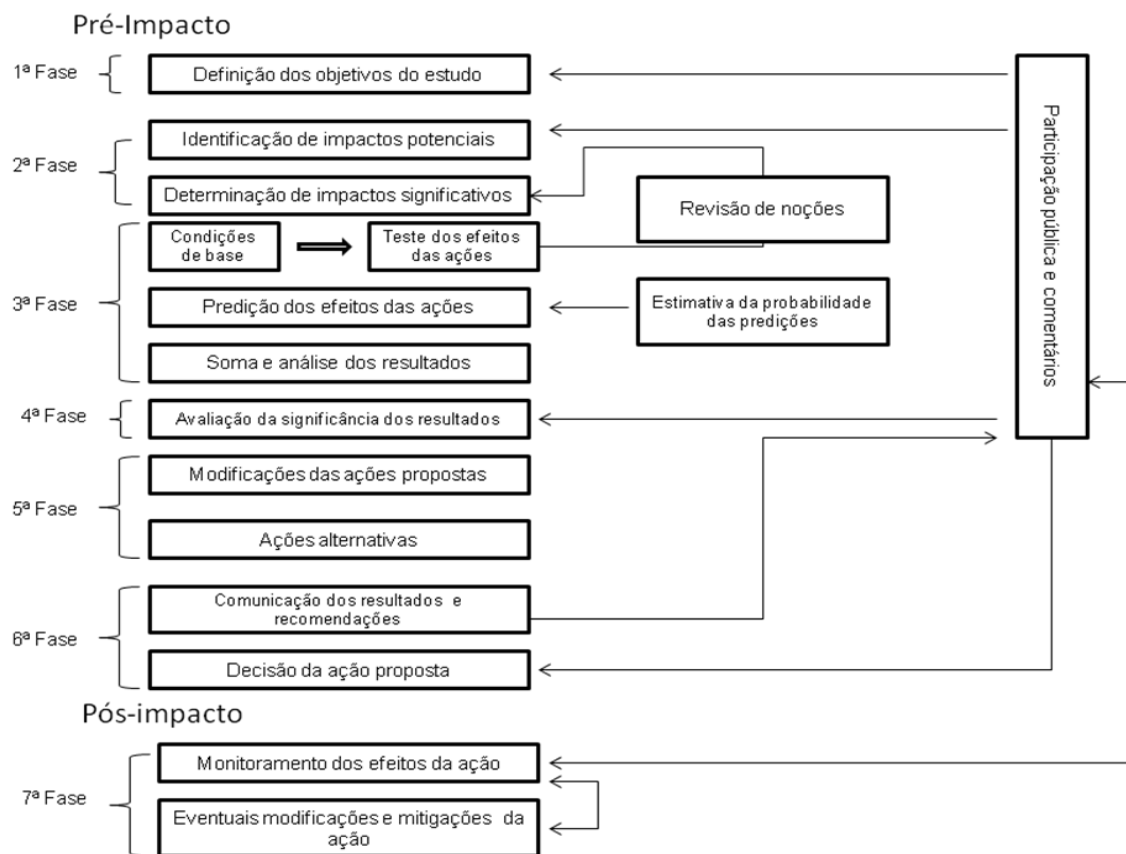
De acordo com [58], a maneira como se tratará a questão ambiental em um empreendimento vem se tornando cada vez mais importante na avaliação dos projetos, principalmente pelo crescente poder de pressão da sociedade civil organizada. Ainda segundo [58], esta valorização se reflete na introdução de novos métodos para a avaliação da complexidade do meio ambiente. Dentre as técnicas citadas pelos autores, os sistemas nebulosos (*fuzzy*) aparecem como uma modelagem mais adequada de problemas tais como a decisão tendo em conta variáveis quantitativas e qualitativas.

2.4 AVALIAÇÕES DE IMPACTOS AMBIENTAIS

A avaliação de impactos pode ser definida como um “processo quantitativo e/ou qualitativo que caracteriza e avalia os efeitos das intervenções (carga) ambientais na análise de inventário”, conforme [58]. A Avaliação de Impactos Ambientais envolvem três etapas indispensáveis: identificação dos impactos, predição e avaliação. Entretanto, estas etapas possuem dificuldades intrínsecas, como a determinação espaço-temporal dos impactos, estabelecendo, assim, um extenso diagnóstico das possíveis interações; e o caráter diferenciado dos efeitos, que torna difícil a determinação de um padrão de medição de impacto. A valoração subjetiva, como a atribuição de parâmetros de importância aos impactos, torna a difícil à etapa de avaliação de impactos ambientais. A

existência de limitações quanto a esses dados qualitativos exige um aprimoramento do processo de avaliação. [38]

Uma representação dinâmica do encaminhamento da avaliação de impactos ambientais está presente no Organograma 1, apresentado por Westman, seguindo, de certo modo, as tendências atuais. Este autor considera apenas a avaliação de impactos ecológicos, não examinando atentamente os impactos sociais ocasionados por um projeto de grande porte. Entretanto, este esquema apresenta avanços com a incorporação da opinião pública, reduzindo, assim, o nível de subjetividade presente na avaliação.



Organograma 1: Etapas da Avaliação de Impactos Ambientais

Fonte: Westman apud Magrini, 1990, p. 89

Observando o organograma acima, constata-se que o autor acrescenta as fases de definição de objetivos e de monitoramento (primeira e sétima fases) na execução da avaliação, sendo denominadas Pré e Pós-impacto, respectivamente. Para [38],

Enquanto a primeira induz à ampliação e ao aprimoramento da discussão dos objetivos do estudo sob as diferentes óticas dos atores envolvidos antes do início do processo, a segunda propicia uma realimentação fundamental para a avaliação que opera, freqüentemente, com um elevado grau de incerteza.

A segunda fase é a Avaliação propriamente dita, seguindo da Revisão de Conceitos que abrangem da terceira a sexta fase. Percebe-se que todas as fases, de algum modo, atravessam a fase da Participação Pública e Comentários, obtidos através de Audiências Públicas, favorecendo uma discussão sobre os benefícios e impactos originários de um projeto. O dinamismo deste esquema encontra-se na possibilidade de retornar as fases para se obter melhores resultados, sem a necessidade de finalizar a seqüência para se fazer este retorno.

Portanto, esta seqüência para obtenção dos impactos ambientais, apresentada por Westman, envolve uma série de etapas que beneficiam a predição dos impactos e, conseqüentemente, impede os possíveis danos originados de um projeto.

Na predição, existem grandes limitações instrumentais quanto à previsão do comportamento de ecossistemas complexos. São cinco os métodos mais comuns para se efetuar a predição, segundo Westman, apud [38]:

- Estudos de casos, excedendo os efeitos de uma atuação semelhante sobre um ecossistema similar ou sobre a própria região afetada pelo projeto;
- Modelos conceituais ou quantitativos, para executar as previsões das inter-relações do meio ambiente;
- Bioensaios de estudos de microcosmo, simulando as implicações das perturbações sobre os elementos de determinado ambiente sob condições controladas;
- Estudos de perturbações no campo, para avaliar o resultado destas influências sobre o meio;
- Considerações teóricas, que favoreçam a predição dos efeitos através da teoria ecológica em vigência.

Por meio da predição, os impactos ambientais de determinado projeto ou programa podem ser identificados, analisados e sintetizados através de métodos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

2.5 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Para minimizar o impacto gerado por um determinado empreendimento, neste caso, uma usina hidrelétrica, deve-se obter um diagnóstico ambiental, retratando a atual qualidade ambiental da área de abrangência, para que se perceba a dinâmica e interações existentes no meio, para, assim, avaliar os possíveis efeitos que surgiram com a implantação da usina. Segundo [17], o diagnóstico ambiental deve apresentar:

Completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:

- a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;
- b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;
- c) o meio sócio-econômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio-economia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

Portanto, o diagnóstico ambiental abrange todos os componentes ambientais de uma determinada área, visando à caracterização da qualidade ambiental para embasar o projeto do empreendimento, com o objetivo de prevenir, controlar e corrigir os problemas ambientais que poderão ser gerados. Inserido neste diagnóstico, há a demarcação das áreas atingidas e as potencialmente influenciadas pelo empreendimento. Esta classificação é importante na definição das medidas mitigadoras para o estudo de minimização dos prováveis impactos.

2.6 FATORES GERADORES DE IMPACTO

Em um Estudo de Impacto Ambiental, especificamente durante o diagnóstico ambiental, devem ser observados todos os aspectos relevantes quanto aos danos que

poderão ser gerados pela usina hidrelétrica na bacia hidrográfica onde será inserida. Estes estudos específicos deverão considerar a Área Direta e Indireta e, quando especificado, a Área de Abrangência Regional, baseando-se em três aspectos principais: o Meio Físico, Meio Biótico e o Meio Socioeconômico. O Meio Físico abrange a geologia e a geomorfologia do solo da região, o clima, os recursos hídricos, entre outros, enquanto o Meio Biótico envolve os ecossistemas terrestres e aquáticos. O Meio Socioeconômico é um aspecto de difícil análise por envolver a dinâmica municipal da região. [72]

A Área de Influência Direta é a área sujeita aos impactos diretos da implantação e operação do empreendimento, sendo delimitada em função das características sociais, econômicas, físicas e biológicas da região, considerando a área de inundação do reservatório na sua cota máxima, acrescida da área de preservação permanente, assim como outras áreas contínuas com relevância ecológica. Em estudos socioeconômicos, considera-se a extensão territorial dos municípios que apresentarão uma parcela de área inundada.

Já a Área de Influência Indireta é a área potencialmente ameaçada pelos impactos indiretos da implantação e operação do empreendimento. Compreende os sistemas socioambientais que podem ser impactados por alterações geradas na área de influência direta. Em relação aos meios físico-bióticos, será analisada parte da bacia hidrográfica em que se insere a usina hidrelétrica. Já no sistema socioeconômico, avalia-se o conjunto de municípios com áreas alagadas e pelos pólos municipais de atração à região.

Por fim, a Área de Abrangência Regional é aquela que representa a caracterização regional dos estudos, sendo utilizada para se distinguir os impactos cumulativos, com o objetivo de situar, no contexto da bacia hidrográfica, os prováveis impactos decorrentes do aproveitamento hidrelétrico. [72]

Determinados impactos são considerados inevitáveis a toda implantação de usinas hidrelétricas. Estes impactos podem ser observados na Tabela 1 abaixo. Porém, é possível minimizar seus efeitos degradantes sobre a área atingida, através de Estudos eficientes sobre a inter-relação destes impactos.

Tabela 1: Alterações gerais resultantes da implantação de usinas hidrelétricas e reservatórios

Meio Físico	<i>Geologia e Geomorfologia</i>	Instabilidade de taludes naturais Elevação do lençol freático Indução de sismicidade Inundação de jazidas
	<i>Solo</i>	Dinamização dos processos erosivos Redução de área de solo Alteração na capacidade de uso
	<i>Recursos Hídricos</i>	Mudanças de condições lóticicas para lânticas Alteração na qualidade da água Mudança nas comunidades planctônicas e bentônicas
	<i>Clima</i>	Aumento da evaporação Elevação da umidade relativa do ar Alteração na velocidade do vento Alteração no micro-clima
Meio Biológico	<i>Vegetação</i>	Eliminação da vegetação natural ou implantada Alterações estruturais e funcionais da vegetação remanescente Proliferação de macrófitas Mudança nas comunidades fitoplanctônicas e fitobentônicas
	<i>Fauna</i>	Alteração na composição e nicho ecológico da fauna aquática e terrestre Extinção de espécies Mudança nas comunidades zooplanctônicas e zoobentônicas
Meio Sócio-Econômico	<i>Organização Social</i>	Inundação de núcleos urbanos e terras agrícolas Migração das populações Crescimento desordenado das populações Desemprego Alteração de infra-estrutura regional e recursos comunitários Alteração do uso e ocupação do solo Mudança nas relações intermunicipais
	<i>Estrutura de Produção</i>	Interrupção ou desorganização de atividades econômicas Perda de áreas produtivas Isolamento de pólos de produção, abastecimento e comercialização Diminuição do território municipal
	<i>Saúde Pública</i>	Aparecimento de focos de moléstias Importação de novas doenças Aumento de acidentes
	<i>Educação</i>	Estrangulamento da rede escolar
	<i>Patrimônio Cultural</i>	Inundação de bancos genéticos Inundação de sítios de interesse cultural, histórico, arqueológico, paisagístico e de lazer

Fonte: CESP (1996) e BAHIA (1984) modificado apud LIMA, 2003, p. 14.

Como pode ser observado na Tabela 1, podem ocorrer várias alterações nas áreas em que se implanta uma usina hidrelétrica. O alagamento para a obtenção das barragens é a ação que gera a maioria destas alterações, uma vez que há a perda de áreas com a inundação, que podem ser terras agricultáveis ou de valor histórico, cultural e biológico, assim como as casas e vilas ribeirinhas [58].

Através da análise das alterações provocadas pela implantação de usina hidrelétrica, é possível obter um modelo para minimizar estes impactos, atribuindo valores para cada tipo de dano e sua influência ao meio ambiente e a sociedade em geral. Alguns destes danos já apresentam características quantitativas, como a área de inundação, entretanto existem também aqueles que são somente quantificáveis qualitativamente, com a atribuição de valores, como, por exemplo, alteração na capacidade de uso dos solos.

2.6.1 Classificação dos Impactos Ambientais

Os impactos ambientais podem ser classificados de acordo com determinadas características pertinentes ao dano e seus respectivos efeitos ao longo do tempo. Algumas destas classificações podem ser observadas abaixo nas Tabelas 2 e 3, sendo a primeira baseada nos estudos de Moreira, apud [41] e a segunda conforme Rohde apud [41], assim como será apresentada a classificação de acordo com [29].

Tabela 2: Características do impacto ambiental

CARACTERÍSTICA	TIPO	DESCRIÇÃO
Valor	<i>Impacto Positivo</i>	Quando a ação resulta em melhoria da qualidade do meio ambiente.
	<i>Impacto Negativo</i>	Quando a ação resulta numa perda da qualidade do meio ambiente.
Ordem	<i>Impacto Direto</i>	Quando resulta de uma simples relação de causa e efeito.
	<i>Impacto Indireto</i>	Quando é uma reação secundária em relação à ação.
Espaciais	<i>Impacto Local</i>	Quando a ação afeta apenas ao próprio local ou imediações.
	<i>Impacto Regional</i>	Quando um efeito vai além do local onde se deu a ação.
	<i>Impacto Estratégico</i>	Quando o impacto ambiental tem importância coletiva.
Temporais	<i>Impacto Imediato</i>	Quando o efeito surge no instante que se dá a ação.
	<i>Impacto a Médio ou Longo Prazo</i>	Quando o efeito se manifesta depois de ocorrido um certo tempo após a ação.
	<i>Impacto Temporário</i>	Quando o efeito permanece depois de um tempo determinado, após a execução da ação.
	<i>Impacto Permanente</i>	Decorrido uma ação, os efeitos não param de se manifestar num espaço de tempo conhecido.
Reversibilidade	<i>Impacto Reversível</i>	Possibilidade de o fator ambiental afetado retornar às suas condições originais, com intervenção do homem ou naturalmente.
	<i>Impacto Irreversível</i>	Quando cessada a ação, o fator ambiental ao retorna às suas condições originais.

Fonte: MOREIRA (1992) modificado apud LIMA, 2003, p. 10.

Tabela 3: Elementos do Impacto Ambiental e suas Possibilidades

ELEMENTOS DOS IMPACTOS	POSSIBILIDADES
<i>Desencadeamento</i>	Imediato, diferenciado, escalonado.
<i>Frequência ou Temporalidade</i>	Contínua, descontínua.
<i>Extensão</i>	Pontual, areal-extensivo, linear, espacial.
<i>Magnitude (escala)</i>	Grande, média, pequena.
<i>Importância</i>	Alta, moderada, fraca.
<i>Acumulação</i>	Linear, quadrática, exponencial.
<i>Sinergia</i>	Presente, ausente.
<i>Distribuição do ônus / benefícios</i>	Socializados, privatizados.

Fonte: ROHDE (1988) apud LIMA, 2003, p. 11, modificado.

Como se pode concluir pelas Tabelas 2 e 3, o impacto pode ser classificado dependendo, basicamente, do resultado sobre o meio ambiente, o espaço afetado, o tempo de ação e reação, a conversão às condições iniciais e, principalmente, a importância deste dano sobre o ambiente.

De acordo com [29], a classificação de um impacto pode ser considerada qualitativa, quantitativa absoluta e quantitativa relativa, dependendo da maneira como se determina a categoria do impacto. A classificação qualitativa está relacionada com:

- **Gênero** (natural ou antrópico);
- **Modo** (direto ou indireto);
- **Resultado** (positivo ou negativo);
- **Reversibilidade** (reversível, parcialmente reversível ou irreversível);
- **Decorrencia** (emergência ou imprevisto, desgaste ou falha de manutenção, falha de sistema ou operacional, falha de equipamento ou projeto, decorrente da própria atividade);
- **Mitigabilidade** (mitigável – a causa ou efeito pode ser minimizada ou eliminada, sem que seja necessário parar a atividade produtiva permanentemente – ou não-mitigável – só é possível minimizar ou eliminar se houver a paralisação das atividades permanentemente);
- **Capacidade de Detecção** (difícil, moderado ou fácil).

Os impactos ambientais têm a seguinte classificação quantitativa absoluta. Neste tipo de classificação, há a presença de valores exatos ou aproximados para determinar a categoria do impacto:

- **Espacial** (local, regional ou global, podendo ser dada em unidades de medida de superfície);
- **Temporal** (temporário – pequeno, médio, longo prazo – ou permanente, podendo ser dado em unidades de tempo).

Para classificar um impacto de forma quantitativa relativa, é necessário determinar parâmetros para cada aspecto ambiental. São determinadas, deste modo, as seguintes categorias:

Tabela 4: Exemplo de Categorias de Gravidade

DEFINIÇÃO	CATEGORIA	DESCRIÇÃO
<i>Catastrófica</i>	I	Morte, perda do sistema ou danos ambientais severos.
<i>Crítica</i>	II	Ferimentos graves, doença ocupacional grave, danos grandes no sistema ou no meio ambiente. Consumo significativo de recursos naturais: geração elevada de poluição.
<i>Marginal</i>	III	Ferimentos leves, doenças no trabalho não importantes, danos pequenos nos sistemas ou ao meio ambiente. Consumo moderado de recursos naturais: geração moderada de poluição e rejeitos.
<i>Desprezível</i>	IV	Menos do que a categoria de pequenos ferimentos, doenças do trabalho não importantes ou não causa danos em sistemas ou ao meio ambiente. Consumo desprezível de recursos naturais; não causa poluição significativa.

Fonte: SOARES (2001) apud FLORIANO, 2004, p. 75.

- **Gravidade ou Importância** – É um valor relacionado a um fato, dependendo da intensidade do dano gerado e suas conseqüências. Pode-se observar na Tabela 4, as categorias o qual se pode classificar a gravidade.
- **Urgência ou Iminência** – É a indicação do tempo necessário para se evitar determinada ocorrência. Esta categoria depende da iminência de um risco, o

prazo para a ocorrência e para a ação, que deverá combater determinado impacto.

- **Intensidade ou força envolvida** – É o grau com que determinado fato ocorre em relação ao seu padrão. Pode ser classificado como severo (impacto ambiental adverso causando danos irreversíveis, críticos ou de difícil reversão), leve (impacto ambiental adverso causando danos reversíveis ou contornáveis) e dano mínimo (quando o impacto ambiental causa danos mínimos ou imperceptíveis).
- **Frequência ou Incidência** – É o número de ocorrências possíveis de um fato em um determinado intervalo de tempo, podendo ser também uma razão em relação ao padrão normal de ocorrência. A Tabela 5 apresenta um exemplo de níveis de frequência.

Tabela 5: Exemplo de Níveis de Frequência

DEFINIÇÃO	NÍVEL	DESCRIÇÃO
Freqüente	A	Ocorre freqüentemente (ou alta probabilidade), ou ocorre permanentemente quando iniciada a atividade.
Provável	B	Irá ocorrer várias vezes na vida do sistema ou do item.
Ocasional	C	Irá ocorrer algumas vezes ao longo da vida do sistema ou do item.
Remota	D	Não se espera que ocorra (embora haja alguma expectativa) ao longo da vida do item ou sistema.
Improvável	E	Pode-se assumir que não irá ocorrer ao longo da vida do sistema ou do item.

Fonte: SOARES (2001) apud FLORIANO, 2004, p. 77.

- **Tendência ou inclinação** – É a predição do tempo da manutenção ou da alteração de um fato, relacionando-se ao risco ao dano futuro. Quanto maior o risco de a situação piorar, maior o grau que lhe deve ser atribuído; quanto maior a tendência da situação melhorar, menor a graduação.

As usinas hidrelétricas utilizam recursos naturais renováveis, entretanto provoca múltiplos impactos no meio ambiente, por isso é imprescindível que o projeto de implantação deste tipo de empreendimento tenha como princípio a determinação dos possíveis impactos, verificando suas características e conseqüências, para que possa evitar que os problemas gerados excedam os benefícios obtidos.

Capítulo 3

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os métodos de avaliação de impacto ambiental são mecanismos estruturados que visam comparar, analisar e sintetizar as informações sobre os impactos de um determinado projeto. No entanto, a utilização destas técnicas é bastante limitada devido à dificuldade de previsão da atuação deste impacto sobre um sistema complexo como o ecossistema, afastando-se do objetivo principal do Estudo de Impacto Ambiental que é “evitar que um projeto justificável sob o prisma econômico ou em relação aos interesses imediatos de seu proponente, se revele posteriormente nefasto ou catastrófico para o meio ambiente”, de acordo com Milaré, apud [27]. Assim, definir o método a ser aplicado consiste em determinar os procedimentos técnicos, lógicos e operacionais que irão permitir a avaliação de um impacto sobre uma determinada região a fim de impedir maiores danos.

Para se obter melhores resultados em um estudo de impacto ambiental, é necessária à incorporação de critérios básicos para a utilização de um método, para tornar mais eficaz a interpretação do ambiente, permitindo a identificação de possíveis alternativas de prevenção. Dentre esses critérios, podem ser citados a integração dos aspectos físicos, biológicos e sócio-econômicos na avaliação e o uso de mecanismos que permitam somar os impactos parciais, obtendo o impacto total sobre o local. [5]

3.1.1 Metodologias Espontâneas (*Ad Hoc*)

Estes métodos são baseados no conhecimento empírico de especialistas na área em questão, sendo elaborados para um projeto específico. Consistem em reuniões de técnicos e cientistas para se obter, em menor tempo possível, respostas sobre os possíveis impactos ambientais das ações do projeto. Os resultados obtidos são sintetizados por meio de tabelas, matrizes ou dissertação.

Estas metodologias, ao serem empregadas isoladamente, obtêm-se uma avaliação de impactos ambientais de forma simples e objetiva, sendo adequadas para casos com falta de informações. Tem como principal vantagem uma estimativa rápida da avaliação de impactos. Entretanto, não há uma análise mais detalhada das influências nas variáveis ambientais envolvidas. Um exemplo desta metodologia é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Exemplo de Metodologias Espontâneas – Matriz de Delfos

INAS	ALAS																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1. Implantação do Loteamento	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S
2. Ocupação em área de encosta superior a 45%	S	S	S	S	N	N	N	S	N	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S	S
3. Ocupação em área de vale fluvial	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	N	S	N	S	N	S	N	S	S
4. Ocupação da área de entorno da Reserva Ecológica Darcy Ribeiro	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	S	S	S	N	S	N	S	N	S	S
5. Ocupação embaixo de linha de transmissão de energia da CERJ	N	N	N	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N
6. Ocupação em área de solo incipiente	S	S	S	S	N	N	N	S	N	N	S	N	S	S	N	N	S	N	N	N
7. Ocupação em anfiteatro de cabeceira	S	S	S	S	N	N	N	S	N	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	S
8. Captação de água pluvial fora dos padrões técnicos	S	S	S	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N
9. Ocupação em área de mata secundária	S	S	S	N	S	S	S	S	N	N	N	N	S	N	S	N	S	S	N	S
SOMA DO TOTAL DE SIM	7	7	7	6	4	4	3	8	1	2	6	2	7	2	6	1	8	2	4	6

Alas:

- | | | |
|--|--|--|
| 1. erosão do solo | 8. diminuição da qualidade dos recursos hídricos | 14. destruição das obras de engenharia |
| 2. assoreamento do sistema da calha fluvial | 9. mudança do perfil sócio-econômico | 15. desmatamento |
| 3. risco de movimento de massa | 10. mudança da infra-estrutura urbana | 16. geração de empregos diretos e indiretos |
| 4. risco de vida | 11. diminuição da área de uso rural | 17. alteração da hidrologia de encosta |
| 5. inundações | 12. aumento na arrecadação de impostos | 18. risco à saúde (linha de transmissão) |
| 6. estresse da fauna | 13. perda da biodiversidade | 19. incremento da população na área da bacia do rio Jacaré |
| 7. interrupção da zona de transição da Reserva Ecológica Darcy Ribeiro | | 20. afugentamento da fauna |

Fonte: BRANDÃO et al. Anais X Simpósio Brasileiro Geografia Física Aplicada.

Por ser um método para simples previsão de impactos, é mais utilizado na fase anterior ao estudo, como uma orientação sobre os aspectos que devem ser observados durante a avaliação. [5] [70]

3.1.2 Metodologia de Listagem (*Check-List*)

Os métodos de listagem ou *check-list* são fundamentados nas relações padronizadas de fatores ambientais. Através destas relações, obtêm-se os impactos decorrentes de um projeto. A listagem representa um dos métodos mais utilizados na avaliação de impacto ambiental, durante a fase inicial do estudo.

A partir do diagnóstico ambiental de especialistas dos meios físico, biótico e sócio-ambiental, os danos ambientais são identificados e enumerados. Os especialistas relacionam os impactos positivos e negativos, originários das etapas de implantação e operação do empreendimento, conforme pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7: Exemplo de *Check List*

Intervenções Ambientais – INAS	Alterações Ambientais - ALAS
<ul style="list-style-type: none"> - implantação do loteamento - ocupação em área de encosta superior a 45% - ocupação em área de vale fluvial - ocupação da área de entorno da Reserva Ecológica Darcy Ribeiro - ocupação embaixo de linha de transmissão de energia da CERJ - ocupação em área de solo incipiente - ocupação em anfiteatro de cabeceira - captação de água pluvial fora dos padrões técnicos - ocupação em área de mata secundária 	<ul style="list-style-type: none"> - erosão do solo - assoreamento do sistema da calha fluvial - risco de movimento de massa - risco de vida - inundações - estresse da fauna - interrupção da zona de transição da Reserva Ecológica Darcy Ribeiro - diminuição da qualidade dos recursos hídricos - mudança do perfil sócio-econômico - mudança da infra-estrutura urbana - diminuição da área de uso rural - aumento na arrecadação de impostos - perda da biodiversidade - destruição das obras de engenharia existentes - desmatamento - geração de empregos diretos e indiretos - alteração da hidrologia de encosta - risco à saúde (linha de transmissão) - incremento da população na área da bacia do rio Jacaré - afugentamento da fauna

Fonte: BRANDÃO et al. Anais X Simpósio Brasileiro Geografia Física Aplicada.

Apesar de ser uma técnica de identificação, a *Check-list* pode incorporar escalas de valoração e ponderação dos fatores ambientais, mas sem evidenciar as inter-relações existentes no meio ambiente. [5] [38] [70]

3.1.3 Matrizes de Interações

São técnicas bidimensionais onde se relacionam as ações propostas e os fatores ambientais atingidos. Foram criadas para suprir as deficiências do método de *check-list*, uma vez que faz uma relação entre os impactos e os efeitos ambientais. A matriz de Leopold, elaborada em 1971, é uma das mais conhecidas, cujo objetivo é avaliar os impactos associados a vários tipos de implantação de projetos. Um exemplo desta matriz está ilustrado na Tabela 8.

Esta matriz constitui-se de 100 colunas, representando os projetos, e 88 linhas, relativos aos elementos ambientais, onde são assinaladas as possíveis interações que resultam em impactos.

As matrizes de interações possuem uma escala variável entre 1 e 10 para identificar cada impacto pela sua magnitude e importância, para, assim, defini-lo como positivo ou negativo. Os atributos de impacto podem ser definidos com escalas nominais (alto, médio, baixo) ou ordinais (primeiro, segundo, terceiro grau), possibilitando uma melhor análise quantitativa. No caso do exemplo, a definição varia de neutro a forte, tendo também a definição espacial como regional.

A valoração da magnitude faz referência ao grau de alteração provocada pela ação sobre o meio ambiente, portanto, define-se de forma relativamente objetiva. Já a definição de valores sobre a importância é subjetiva, por ser estimada por um peso relativo ao fator afetado pelo projeto. Esta estimativa é uma das dificuldades encontradas nos métodos matriciais, assim como em outras técnicas quantitativas.

O método permite uma grande abrangência dos resultados, abordando fatores biofísicos e sociais. Dados qualitativos e quantitativos são observados, fornecendo uma boa orientação quanto ao prosseguimento dos estudos ambientais.

Tabela 8: Exemplo de Matriz de Leopold

Tecnologia	Emissões e Impactos	Efeitos Ambientais										
		Expressão	Patrimônio cultural	Organização espacial	Infra-estrutural/ regional	Atividade econômica	Flora	Fauna	Clima	Solo	Água	Ar
Construção da rodovia	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Erosão/ Assoreamento	R		x	x	x	x	x		x	x	X
	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Desmatamento	R					x			x		
	<input checked="" type="checkbox"/> Recursos naturais	R		x		x				x		
	<input checked="" type="checkbox"/> Alteração dos recursos hídricos	R			x	x	x	x			X	
	<input type="checkbox"/> Queimada	R					x			X		
	<input type="checkbox"/> Despejo de esgoto sanitário	R								x	X	
	<input checked="" type="checkbox"/> Materiais particulados	R	x				x	x	X	x		x
	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Ruídos	R						x				
	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Efeitos visuais	R	x	x	x	x						
	<input type="checkbox"/> Acidente/Atropelamento	R						x				
	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Movimentos populacionais	R		x	x	x						

Neutro Moderado Forte R – Regional G- Global

Fonte: LIMA FILHO et al, 1999, p. 1.

Um dos problemas deste método é que apenas algumas ações, características e condições ambientais podem ser consideradas para cada projeto, sendo necessário obter matrizes para cada situação a ser analisada. Outro aspecto desvantajoso é que não é possível identificar as inter-relações entre os impactos, levando a subestimativa da influência de uma ação sobre o meio. [5] [38] [70]

3.1.4 Redes de Interações

As Redes de Interações apresentam uma melhoria em comparação com as técnicas anteriores por estabelecer o encadeamento de impactos ambientais ocasionados

por uma determinada intervenção, utilizando método gráfico. São baseados em relações de causa-condição-efeito. A rede mais conhecida é a de Sorensen, elaborada para analisar os tipos de solos em regiões costeiras.

O objetivo destas redes é relacionar as ações praticadas e os conseqüentes impactos gerados, separando-os por ordens. Com isso, proporcionam uma boa visualização dos impactos secundários e de demais ordens. Indicam também as ações mitigadoras e os mecanismos de controle que deverão ser utilizados na prevenção de maiores impactos. Um exemplo de redes de interação é apresentada na Figura 1.

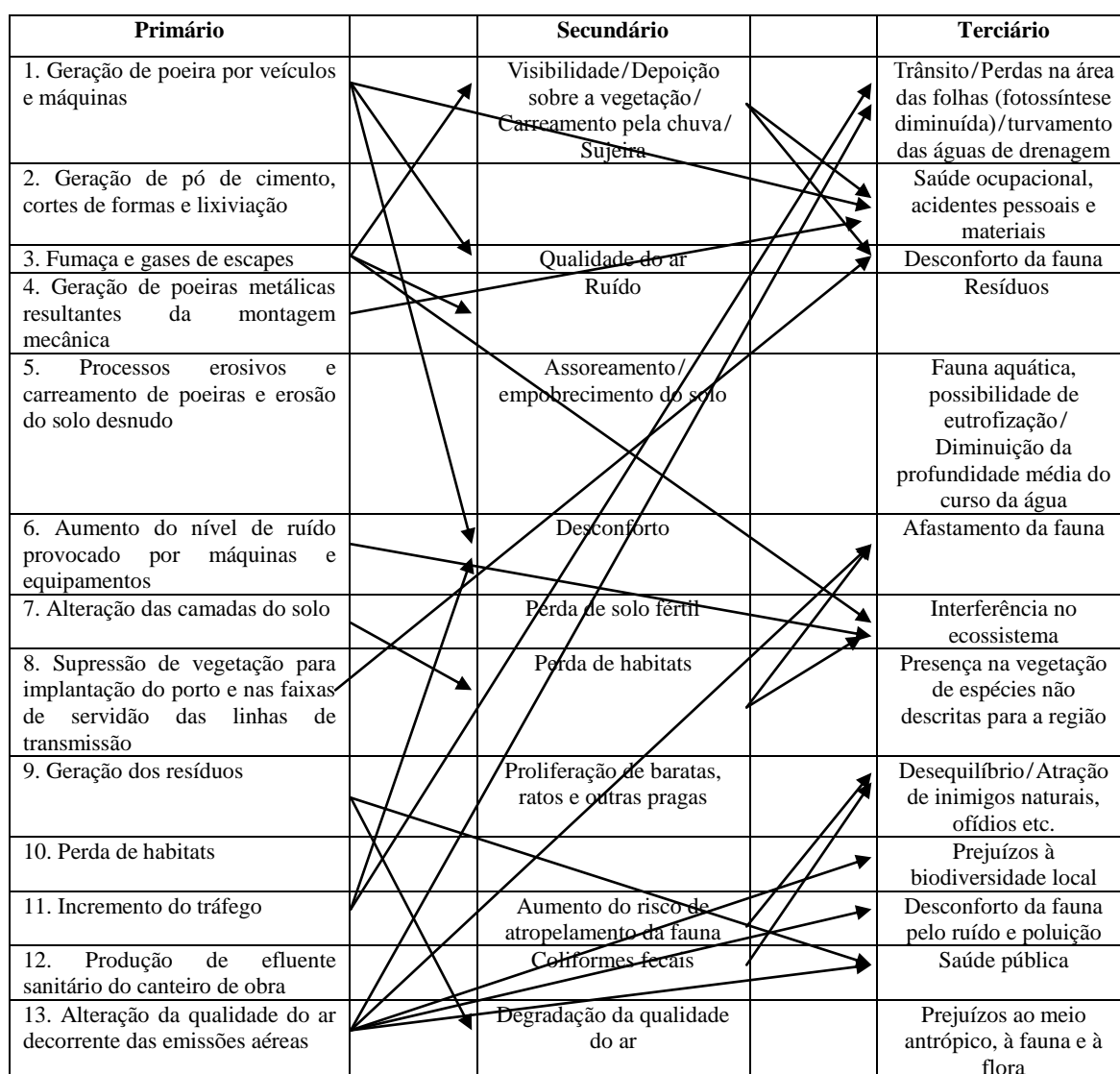


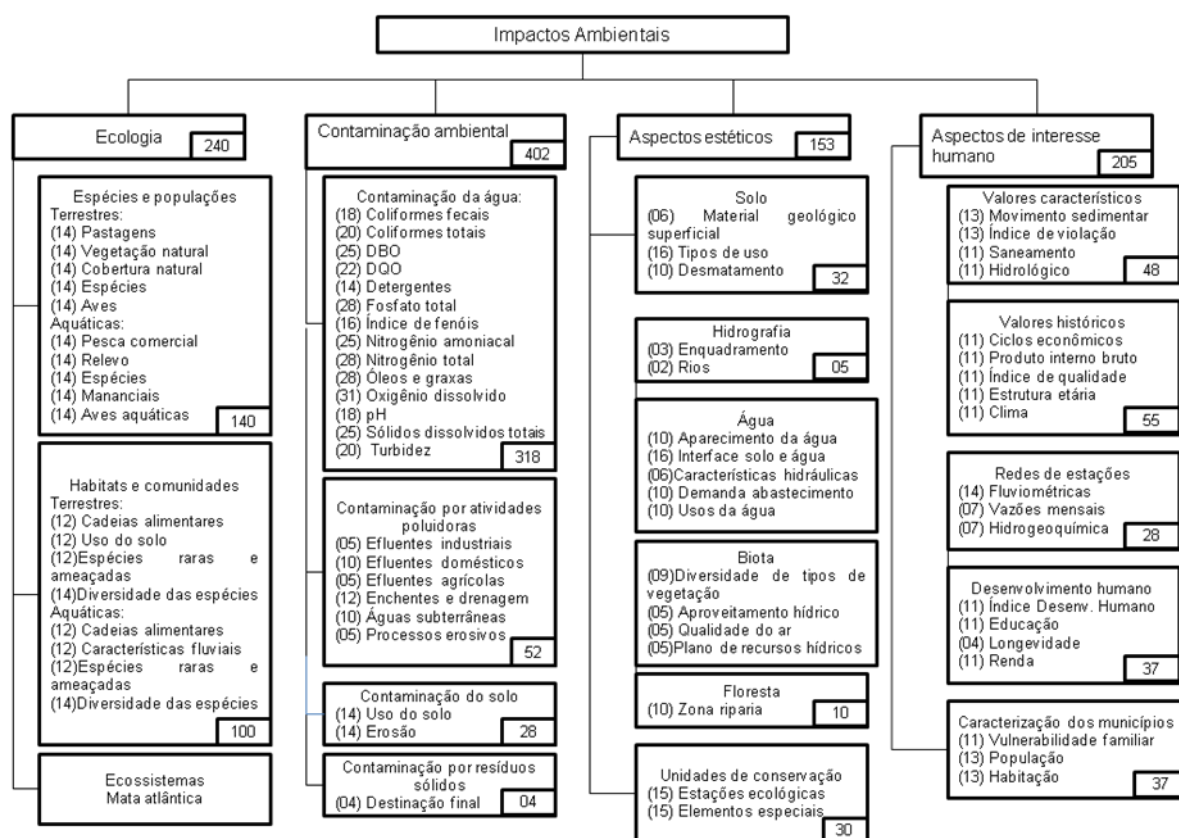
Figura 1: Exemplo de Redes de Interação

Fonte: MRS Estudos Ambientais LTDA apud Facuri, 2004, p. 199.

É necessário elaborar uma rede para cada alternativa a ser considerada, assim como, para as diversas fases de implantação e operação da atividade, portanto é um método extenso, o que provoca a não-distinção de impactos de curto e longo prazo. Entretanto, a principal desvantagem continua sendo os problemas conceituais relativos à determinação da importância e das escalas dos impactos. [5] [38] [70]

3.1.5 Metodologias Quantitativas

Os métodos quantitativos pretendem associar valores às considerações qualitativas, estabelecidas durante a avaliação de impactos. O método Battelle, ou Sistema de Avaliação Ambiental, foi desenvolvido em 1972 para auxiliar na avaliação das alterações ambientais em projetos hídricos, envolvendo tanto micro quanto macro empreendimentos. Um exemplo deste método pode ser observado no organograma abaixo.



Organograma 2: Parâmetros Ambientais pelo Método Battelle

Fonte: KLING, 2005, p. 23.

Este método emprega, fundamentalmente, indicadores ou parâmetros de qualidade ambiental, expressos em gráficos, representando o estado de determinado segmento ambiental. Estes indicadores possuem variação de valores, geralmente de 0 a 1, relativo ao peso para cada fator confrontado a um julgamento subjetivo.

O método oferece um sistema de alerta para identificar os impactos mais significativos para que sejam submetidos a uma análise qualitativa mais minuciosa. Entretanto, este método apresenta falhas quanto à identificação das influências mútuas dos impactos e requer um trabalho preparatório bastante extenso para se definir os gráficos para cada indicador de estado ambiental. [5] [70]

3.1.6 Análise Multicritério

Consiste em um conjunto de técnicas quantitativas para auxiliar na tomada de decisão, dada uma multiplicidade de critérios, permitindo a objetivação dos valores associados às variáveis ou a subjetividade intrínseca em decisões baseadas em múltiplos critérios. As etapas do método são apresentadas na Figura 2.

Ao agregar os problemas envolvidos na análise de múltiplos objetivos e as incertezas relativas aos possíveis impactos, este método incorpora as etapas do processo de avaliação de impacto ambiental, como a definição das ações potenciais a serem avaliadas, a formulação dos critérios de análise e a avaliação das ações relacionada a cada critério.

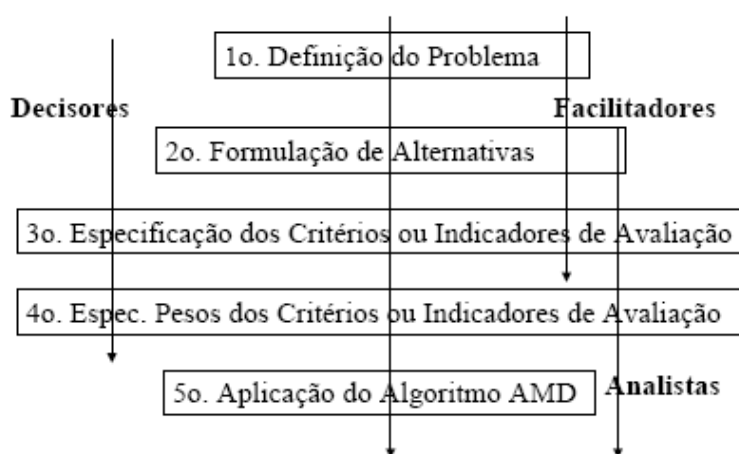


Figura 2: Etapas do processo de AMD

Fonte: JANNUZZI, 2005, p. 17.

Este método permite uma análise sistematizada, envolvendo critérios qualitativos e quantitativos, ao utilizar instrumentos probabilísticos e de análise de sensibilidade, além de acrescentar aspectos teóricos e técnicos aos processos de negociação.

Deve-se observar, entretanto, que a fragmentação e a compartimentalização do ambiente ressaltam excessivamente os componentes ambientais, sem valorizar as inter-relações do sistema ambiental. [38] [45]

3.1.7 Modelos de Simulação

São modelos matemáticos dinâmicos, baseados nas teorias da inteligência artificial, destinados a estudar as complexas relações entre os fatores físicos, biológicos e socioeconômicos, a partir de um conjunto de pressupostos, como ilustra a Tabela 9.

Tabela 9: Exemplo de Modelo de Simulação de Sistema de Acumulação

Fonte energética renovável	Fonte energética não renovável
10 REM (Crescimento a partir de fonte renovável)	10 REM (Crescimento a partir de fonte não renovável)
20 CLS	20 CLS
25 SCREEN 1,0: COLOR 0,0	25 SCREEN 1,0: COLOR 0,0
30 LINE (0,0)-(319,180),1,B	30 LINE (0,0)-(319,180),1,B
40 J=45	40 E=160
50 Q=.1	50 Q=.1
60 K=.1	60 K=.001
70 K3=8.000001E-03	70 K1=.001
80 K4=.03	80 K4=.03
100 PSET(T,180-Q),2	100 PSET(T,180-Q),2
110 JR=J/(1+K*Q)	120 PSET(T,180-Q),1
120 DQ=K3*JR*Q-K4*Q	130 DQ=E*K1*Q-K4*Q
130 Q=Q+DQ	140 DE=-K*E*Q
140 T=T+1	150 Q=Q+DQ
150 IF T<319 GO TO 100	160 E=E+DE
	170 T=T+1
	180 IF T<319 GO TO 100

Fonte: Rodrigues modificado apud Facuri, 2004, p. 202.

Os modelos matemáticos de simulação são ferramentas que permitem a geração de cenários, a partir dos quais se pode orientar o processo de tomada de decisão, fornecer avaliações e propor soluções para a melhoria do empreendimento. Desenvolvidos desde os anos 70, são destinados a representar a estrutura e o comportamento de parâmetros ambientais.

São capazes de processar variáveis qualitativas e quantitativas, incorporando medidas de magnitude e importância de determinados impactos ambientais. É possível adequar-se a diferentes processos de decisão, facilitando o envolvimento de vários participantes neste processo. O uso de modelos permite que os impactos previstos no futuro sejam levados em consideração nas decisões.

Entretanto, existe um limite quanto ao número de variáveis a serem analisadas, estabelecendo uma necessidade de se selecionar os dados mais qualificados para sustentar o modelo. [5] [70]

Capítulo 4

LÓGICA DIFUSA

4.1 TEORIA FUZZY

Descrever matematicamente situações reais para a solução de problemas é algo complexo, já que algumas informações dependem de conceitos vagos de um especialista, tendo, portanto, uma imprecisão intrínseca. Através dos conjuntos e lógica difusos, o conhecimento pode ser expresso de forma computável, tornando possível à compreensão do universo de relações em que envolve o problema.

A lógica difusa foi estruturada em 1965 pelo Dr Lotfi A. Zadeh, com o objetivo de solucionar problemas definidos por conceitos vagos, destacando-se na área de tomadas de decisões e controle. Segundo [61], “a lógica difusa é um método para raciocínio com expressões lógicas que descrevem a pertinência a conjuntos difusos”. Portanto, a lógica difusa possibilita o modelamento de um sistema, representando-o de forma mais realista e flexível ao admitir valores lógicos intermediários entre a afirmação e a negação de uma proposição. De acordo com Shaw e Simões [65], a lógica fuzzy pode ser considerada uma “forma de gerenciamento de incertezas”, através da tradução do conhecimento humano para termos fuzzy, tornando-se, assim, compreensíveis para o sistema.

4.2 CONJUNTOS DIFUSOS

Enquanto na teoria clássica dos conjuntos, um elemento pertence ou não a um conjunto, a teoria dos conjuntos difusos, também conhecido por teoria dos conjuntos nebulosos, se baseia na existência de um grau de pertinência para cada elemento em um determinado conjunto. Conforme definição de [77],

Um conjunto difuso A em X é caracterizado por uma função característica $f_A(x)$, o qual associa com cada ponto em X um número real no intervalo $[0,1]$, com o valor de $f_A(x)$ em x representando o “grau de pertinência” de x em A .

Onde X é um espaço de pontos ou um conjunto em geral, denominado Universo de Discurso. O Universo de Discurso é o intervalo onde se encontram todos os valores possíveis de entrada em um sistema difuso. Assim, um conjunto difuso se caracteriza por uma função de pertinência, definida dentro do intervalo $[0,1]$, representando o quanto um elemento pertence ou não ao conjunto. Pode-se concluir que o conjunto difuso (*fuzzy set*) generaliza o conceito representado pelos conjuntos clássicos ou abruptos (*crisp sets*). Deste modo, a lógica fuzzy estende a lógica booleana por permitir que valores dentro do intervalo representem esta proposição. A definição de conjuntos difusos, apresentada por Zadeh, pode ser reescrita para tratar de pontos discretos, como podemos ver na definição abaixo.

Definição 4.2.1:

Seja X um conjunto arbitrário, enumerável ou não, onde $x \in X$ e $A \subseteq X$, então o conjunto difuso A é um conjunto de pares ordenados $\{(x, \mu(x))\}$, $\forall x \in X$, onde $\mu(x)$ é o grau de pertinência de x em A .

Os Conjuntos Difusos são matematicamente construídos pela associação de cada elemento do domínio X a um valor, que irá representar o *Grau de Pertinência* deste elemento ao conjunto. Este grau representa o quanto o elemento é compatível com o conceito simbolizado pelo conjunto, segundo [37]. Em outras palavras, o quanto o elemento está adequado às características representadas pelo conjunto.

O grau de pertinência $\mu(x)$ não pode ser confundido com a probabilidade de um acontecimento. Na verdade, ele representa uma medida de compatibilidade de um objeto com o conceito representado pelo conjunto difuso. Este valor é a definição mais importante para se entender a teoria fuzzy, já que esta teoria se baseia na ponderação de elementos, identificados com o termo lingüístico que representa o conjunto.

4.2.1 Operações sobre Conjuntos Difusos

A generalização da teoria clássica dos conjuntos para a teoria fuzzy gera como consequência à necessidade de estudar as operações sobre os conjuntos. As operações com os conjuntos clássicos se baseiam no elemento abrupto. Já nas operações sobre

conjuntos difusos, o mais importante são as funções de pertinência. Assim, há quatro operações usuais entre conjuntos ordinários ao domínio dos conjuntos difusos: [43] [44] [50] [54] [74]

- **União**

Definição 4.2.1.1:

Sejam A e B subconjuntos difusos de X , sua união é um subconjunto difuso $A \cup B$, definido por:

$$A \cup B = \text{Max}[\mu_A(x), \mu_B(x)] = A(x) \vee B(x), \forall x \in X$$

Onde o conectivo \vee é utilizado para representar uma disjunção lógica¹. Assim, a função de pertinência da união de dois conjuntos A e B com funções de pertinência $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$, respectivamente, é definida como o máximo das duas funções de pertinência individuais. A operação de união difusa é equivalente ao “OU” da álgebra booleana, tendo como representação gráfica a Figura 3.

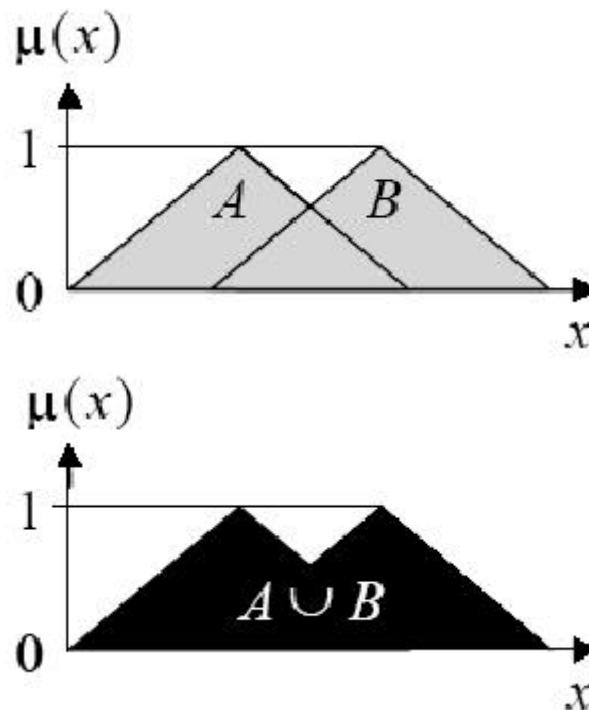


Figura 3: União de subconjuntos difusos

Fonte: Minicurso Fuzzy

¹ É um operador lógico, cujas expressões não apresentam necessariamente simultaneidade.

Assim, de acordo com [75], a união de dois conjuntos fuzzy pode ser caracterizada por ser o “contorno que inclui ambos os conjuntos fuzzy”, sendo sempre maior que cada conjunto individualmente.

- **Intersecção**

Definição 4.2.1.2:

Sejam A e B subconjuntos difusos de X , sua intersecção é um subconjunto difuso $A \cap B$, definido por:

$$A \cap B = \text{Min}[\mu_A(x), \mu_B(x)] = A(x) \wedge B(x), \forall x \in X$$

Onde \wedge é utilizado para representar uma conjunção lógica². Conclui-se que a função de pertinência da intersecção de dois conjuntos A e B com funções de pertinência $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$, respectivamente, é determinada como o mínimo das duas funções de pertinência individuais, sendo equivalente ao “E” da álgebra booleana, ilustrada na Figura 4.

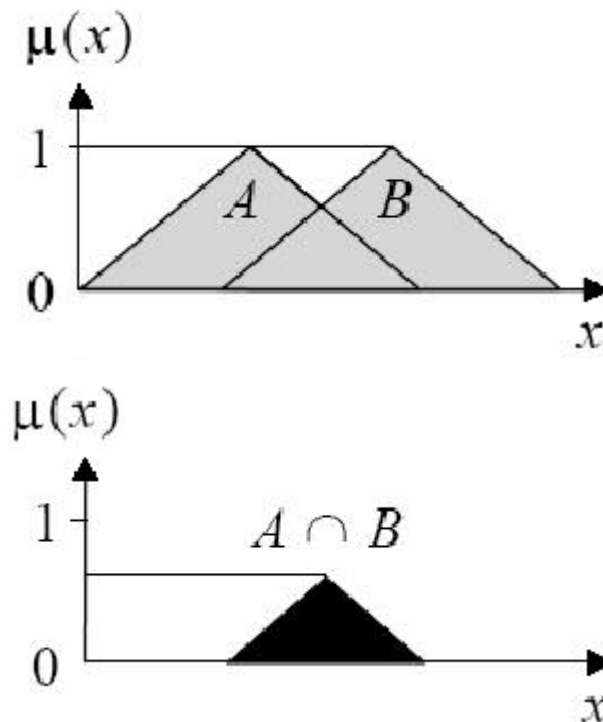


Figura 4: Intersecção de subconjuntos difusos

Fonte: Minicurso Fuzzy

² É um operador lógico que representa a simultaneidade da verdade ou falsidade de duas expressões.

Pode-se observar, através da representação gráfica, que a intersecção equivale a parte comum dos conjuntos fuzzy. [75]

- **Complemento**

Definição 4.2.1.3:

Seja A um subconjunto difuso de X , seu complemento (ou negação) é um subconjunto difuso \bar{A} , definido por:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = \{1 - \mu_A(x)\}, \forall x \in X$$

Em outras palavras, $\bar{A} = \{(x, 1 - \mu_A(x)); x \in X\}$. Segundo [75], o complemento de um conjunto fuzzy caracteriza-se por ser “um conjunto de todos os elementos do universo do discurso que não pertencem ao conjunto especificado”. Logo, a função de pertinência do complemento de A com função de pertinência $\mu_A(x)$ é definida como a negação da função de pertinência especificada, como ilustrada na Figura 5.

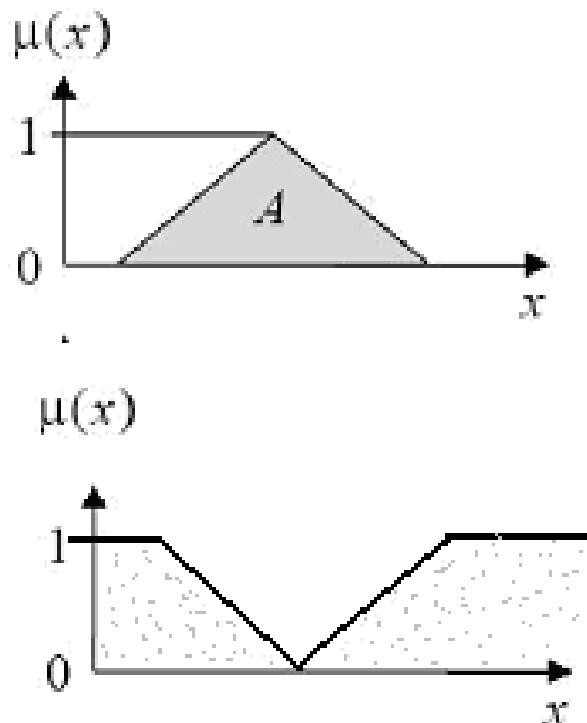


Figura 5: Complemento ou Negação de subconjuntos difusos

Fonte: Definição de Weber e Klein

- **Igualdade**

Definição 4.2.1.4:

Sejam A e B subconjuntos difusos de X , A e B serão iguais se, para todo x pertencente a X ,

$$\mu_A(x) = \mu_B(x)$$

Pode-se provar esta definição através da seguinte demonstração:

Seja $A \subseteq X$, então o conjunto difuso A é igual a $\{(x, \mu_A(x)); x \in X\}$.

Assim como, seja $B \subseteq X$, então $B = \{(x, \mu_B(x)); x \in X\}$.

Logo,

$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in X$$

A igualdade é equivalente ao “CONTÉM ou ESTÁ CONTIDO” da álgebra booleana, apresentada na Figura 6.

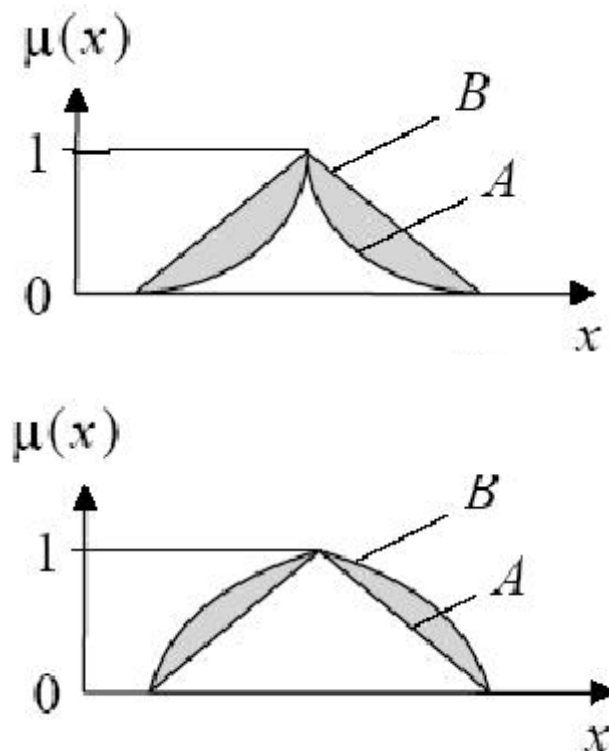


Figura 6: Igualdade de subconjuntos difusos

Fonte: Minicurso Fuzzy

4.3 FUNDAMENTOS DE CONTROLE E MAPEAMENTO DIFUSO

O controle difuso é fundamentado pelos conceitos de lógica difusa, com o objetivo de fornecer um instrumento de interpretação mais próximo do real. Já o mapeamento tem como objetivo relacionar um conjunto de dados a outros. As ações de controle são especificadas pelas regras lingüísticas (mapeamento dos dados). Os controladores clássicos trabalham com sistemas, cujos modelos matemáticos são bem definidos. Contudo, os controladores difusos não têm necessidade desta precisão, já que as regras do controle são baseadas diretamente no conhecimento do especialista. Para [61], o controle difuso pode ser definido como “uma metodologia para construir sistemas de controle em que o mapeamento entre os parâmetros de entrada e saída com valores reais é representado por regras difusas”. Assim, o controle difuso apresenta as seguintes etapas:

1. Transformação dos dados numéricos em variáveis difusas (*Fuzzificação*);
2. Aplicação dos operadores difusos e da implicação (*Processo de Inferência*);
3. Transformação do resultado difuso em um resultado numérico (*Defuzzificação*).

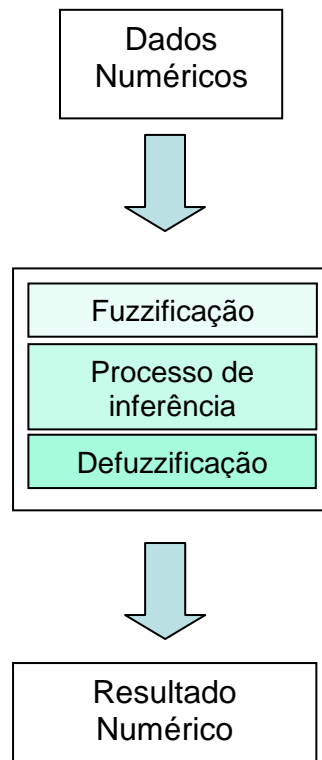


Figura 7: Processo de um Sistema de Controle

Fonte: Definição de Russel e Norvig

Considerando a Figura 7, a primeira etapa consiste em associar para cada valor de entrada uma função de pertinência, obtendo assim o grau de verdade da proposição. Na segunda, são aplicados os operadores fuzzy, para definir o grau máximo e mínimo de pertinência do conjunto. Posteriormente, cria-se a hipótese de implicação, definindo o peso no resultado e remodelando a função. Na última etapa, todas as saídas são combinadas em um único conjunto fuzzy, obtendo, assim, um valor numérico dentro do intervalo estipulado pelo sistema de controle difuso.

Portanto, através das implementações da lógica difusa, é possível que estados indeterminados possam ser tratados por dispositivos de controle [54]. Destas etapas, a que é utilizada para o mapeamento é o processo de inferência, que é baseado na manipulação de uma base de conhecimentos, através da adoção de um conjunto de regras.

4.3.1 Fuzzificação

Fuzzificar é associar um valor numérico para cada variável de entrada, fundamentando-se nas funções de pertinência que as diferenciam, obtendo um significado para o computador. Para [65], “fuzzificação é um mapeamento do domínio de números reais – discretos, em geral – para o domínio fuzzy. Este processo atribui valores lingüísticos, definidos por funções de pertinência, às variáveis de entrada”. Assim, fuzzificar também seria descrever a forma como será feita a transição do sistema booleano para o fuzzy, sendo definidas as funções de pertinência para as classes e os graus de associação são estabelecidos entre 0 e 1. De acordo com [75], a Fuzzificação pode seguir três estratégias básicas:

- Dados de entrada quaisquer são convertidos em uma função singular fuzzy em um universo apropriado de discurso.
- Dados de entrada quaisquer são convertidos em um vetor fuzzy baseado em conhecimento especialista das características dos instrumentos de medida, conversão A/D e normalização.

- Dados de entrada quaisquer são randomicamente distribuídos, podendo ser convertidos em um vetor fuzzy com forma arbitrária.

As funções de pertinência mais encontradas na prática são triangulares, trapezoidais e gaussianas, apresentadas na Figura 8. Geralmente, as triangulares e gaussianas são utilizadas em casos em que se deseja exprimir pertinência crescente à esquerda e decrescente à direita, enquanto as funções trapezoidais podem ser usadas em situações similares, mas somente quando se quer aumentar a faixa de pertinência máxima. [54]

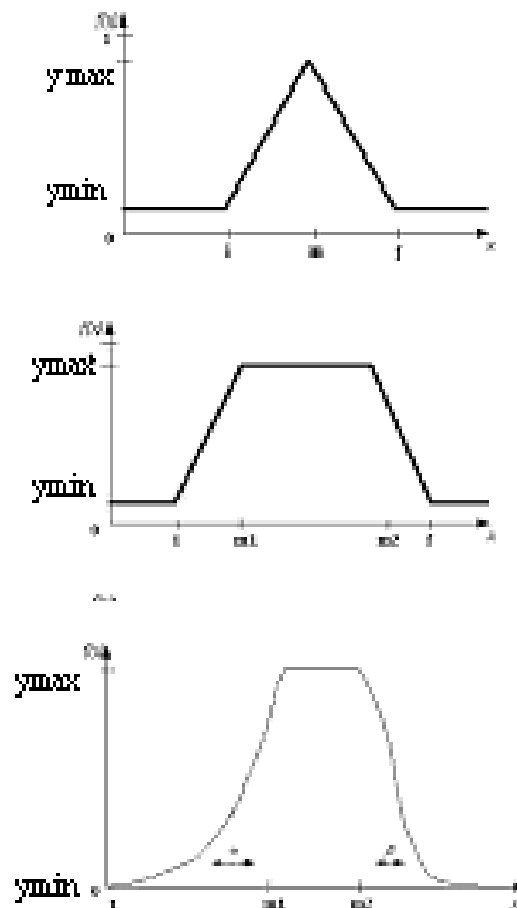


Figura 8: Funções: Triangular, Trapezoidal e Gaussiana

Fonte: Minicurso Fuzzy

A principal diferença entre as funções triangulares e as gaussianas é que a primeira apresenta pontos não diferenciáveis, tendo, assim, uma expressão analítica mais simples, tornando-se computacionalmente eficiente. As curvas gaussianas são

aplicadas principalmente em situações em que se delimitam pontos extremos, a partir dos quais a pertinência permanece constante. [54]

Para desenvolver um sistema baseado em lógica difusa, deve-se decidir como cada variável de entrada será categorizada e associar uma função de pertinência para cada categoria. As propriedades semânticas do conceito são representadas pelos contornos de um conjunto difuso. Assim, quanto mais próxima estiver a curva do comportamento real do fenômeno, será mais precisa a representação do problema pelo modelo difuso. [54]

4.3.2 Processo de Inferência

O Processo de inferência é baseado na manipulação de uma base de conhecimentos, através da adoção de um conjunto de regras. De acordo com [54], pode-se definir a inferência difusa como “o processo pelo qual obtemos as conclusões ou saídas de um dado sistema, pela avaliação dos níveis de compatibilidade das entradas com as condições impostas pela referida base de regras”. Nesta etapa, o sistema de inferência aplica operações de conjuntos difusos, resultando em um conjunto difuso de saída, que resultará em um valor numérico, após a fase de defuzzificação.

O procedimento mais comum para representar o conhecimento humano é através de expressões naturais como:

SE premissa (antecedente) ENTÃO conclusão (conseqüente).

Pode-se citar como exemplo a expressão abaixo:

Se <fragilidade do solo é alta> , então <erosão é alta>

Estas expressões estruturam uma regra, tal que, se um fato é conhecido (premissa, hipótese), então é possível inferir ou deduzir a conclusão (conseqüência). Logo, fazer uma inferência difusa significa aplicar regras do tipo “*Se X, então Y*”, de forma que X e Y sejam noções difusas. Estas regras também são conhecidas como

proposições difusas. Dessa forma, podem-se implementar sistemas, e interpretá-las matematicamente, a partir do conhecimento humano.

Sobre as variáveis lingüísticas que compõem uma proposição difusa, tem-se que, segundo [65], “uma variável lingüística u no universo de discurso U é definida em um conjunto de termos $T(U)$ com cada valor sendo um número fuzzy definido em U ”. Pode-se ter o seguinte exemplo de variável lingüística:

Se u for fragilidade do solo, então seu conjunto de termos $T(U)$ poderia ser:

$$T(\textit{fragilidade do solo}) = \{\textit{muito baixa, baixa, média, forte, muito forte}\}$$

onde universo de discurso U depende do tipo de solo e os termos *muito baixa, baixa, média, forte, muito forte* são as variáveis lingüísticas da grandeza *fragilidade do solo*.

Diversos processos de inferência são utilizados em aplicações representativas do funcionamento real de um sistema. Dentre eles, se destaca a inferência pelo método Mamdani, também conhecido por MAX-MIN, onde a implicação nas regras utiliza a função MIN para conjunção dentro de cada regra e a composição dos resultados é feita pela função MAX. Outros métodos que merecem destaque são: o método de Takagi-Sugeno; de Tsukamoto e de Larsen. [43] [54]

4.3.3 Defuzzificação

Nesta etapa, os resultados obtidos pelas operações difusas são expressos em valores booleanos, associando os elementos ao subconjunto onde obteve maior grau de pertinência. Conforme [54], o processo de defuzzificação pode ser definido como “uma função que associa a cada conjunto um elemento (do conjunto abrupto adjacente) que o represente”. Assim, a defuzzificação tem como objetivo gerar grandezas abruptas para representar a informação obtida pelas operações difusas.

Um dos métodos mais utilizados se baseia no método de determinação do centróide, ou seja, encontrando o centro de gravidade. Conhecido como **COG** (*Center of Gravity*) ou **COA** (*Center of Area*), este método fornece um valor que corresponde à

abscissa do baricentro do gráfico da função de pertinência. Em outras palavras, conforme [75], o Centro da Área está sobre o “eixo que divide a figura em duas áreas iguais”. Assim, o COA considera toda a forma do conjunto fuzzy. Um exemplo é a Figura 9. Para [54], este método apresenta várias características importantes. Podem ser citadas as seguintes:

- *Continuidade em relação à topologia da função de pertinência, ou seja, uma “pequena” deformação na configuração do conjunto difuso corresponde a uma “pequena” mudança no valor condensado;*
- *Uniformidade de aplicação a conjuntos discretos e contínuos;*
- *Simplicidade de cálculo.*

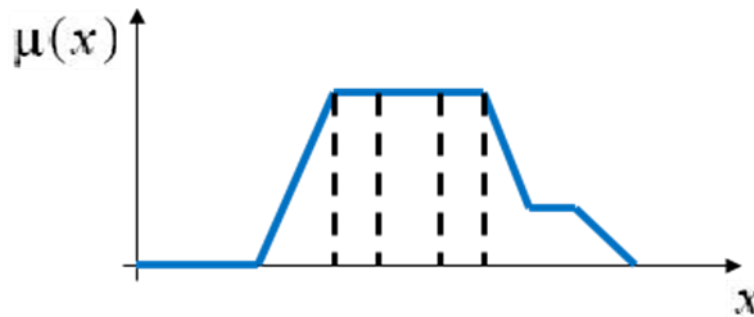


Figura 9: Centro de Gravidade

Fonte: Lambert-Torres; Silva.

Outra metodologia de defuzzificação é o **Máximo Valor**, apresentado na Figura 10. Este defuzzificador escolhe, como valor de saída, o y , cujo valor de pertinência $\mu(y)$ é máximo. Entretanto, este método funciona quando $\mu(y)$ tem apenas um ponto máximo.

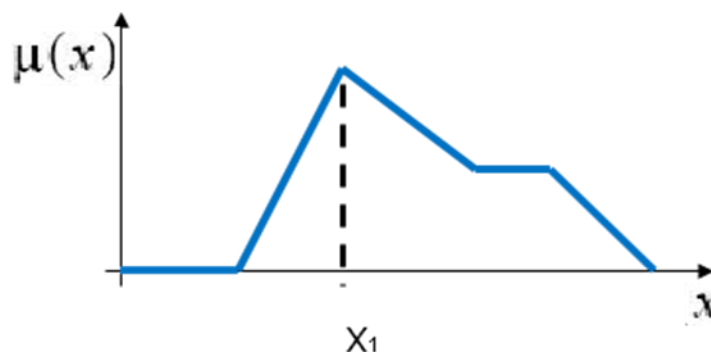


Figura 10: Máximo Valor

Fonte: Lambert-Torres; Silva.

Quando $\mu(y)$ apresenta mais de um ponto máximo, o método que pode ser utilizado é a **Média de Máximos**, ilustrado na Figura 11. Neste método, encontram-se os pontos cuja função de pertinência apresenta valor máximo e calcula-se a média aritmética, quando discreto, ou a abscissa do ponto médio do segmento máximo, quando contínuo. Segundo [54], este método é computacionalmente mais leve do que o COG.

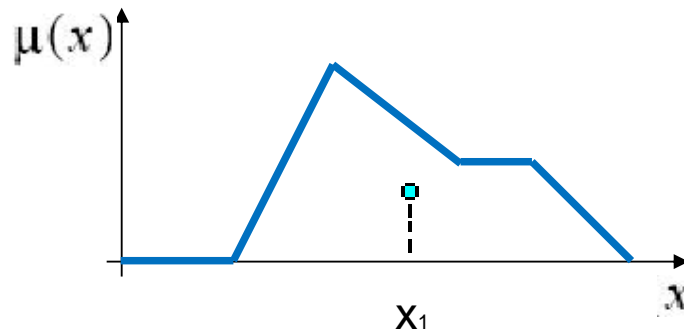


Figura 11: Média de Máximos

Fonte: Lambert-Torres; Silva.

4.4 RELAÇÕES DIFUSAS

Compreender os fenômenos ocorridos no meio ambiente requer estudos sobre as interações existentes entre os elementos envolvidos, principalmente quando as mudanças ocorrem devido à ação humana, como na instalação de uma usina, gerando impactos ambientais. Esta interação pode ser estudada através do conceito matemático de relação, pertencente à teoria dos conjuntos. Matematicamente, uma relação é a correspondência existente entre conjuntos não-vazios, sendo, assim, um subconjunto de um produto cartesiano.

Definição 4.4.1:

*Sejam A e B dois conjuntos não vazios, denomina-se **produto cartesiano** de A por B o conjunto formado pelos pares ordenados nos quais o primeiro elemento pertence a A e o segundo pertence a B .*

$$A \times B = \{(x, y) \mid x \in A, y \in B\}$$

Definição 4.4.2:

*Sejam A e B dois conjuntos, denomina-se **relação R** de A em B qualquer subconjunto de $A \times B$.*

$$R \text{ é relação de } A \text{ em } B \Leftrightarrow R \subset A \times B$$

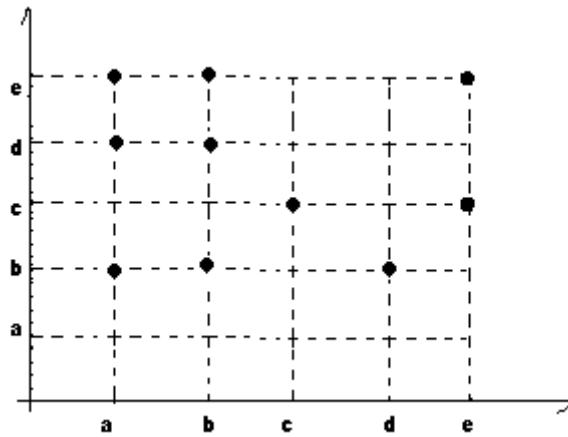


Figura 12: Relação clássica

As definições apresentadas na Figura 12 se referem a relações binárias clássicas. Entretanto, podem ser generalizadas considerando que qualquer relação clássica R , sobre $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ é qualquer subconjunto do produto cartesiano $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$.

Definição 4.4.3:

Uma **relação fuzzy** R entre dois conjuntos A e B com $A \in X$ e $B \in Y$ é definida como um conjunto fuzzy no produto cartesiano $X \times Y$, dada por

$$R = \{ \mu_R(x, y) \mid (x, y) \} \text{ para todo } (x, y) \in X \times Y$$

onde $\mu_R(x, y): X \times Y \rightarrow [0,1]$ é a função de pertinência da relação fuzzy, sendo representada na Figura 13

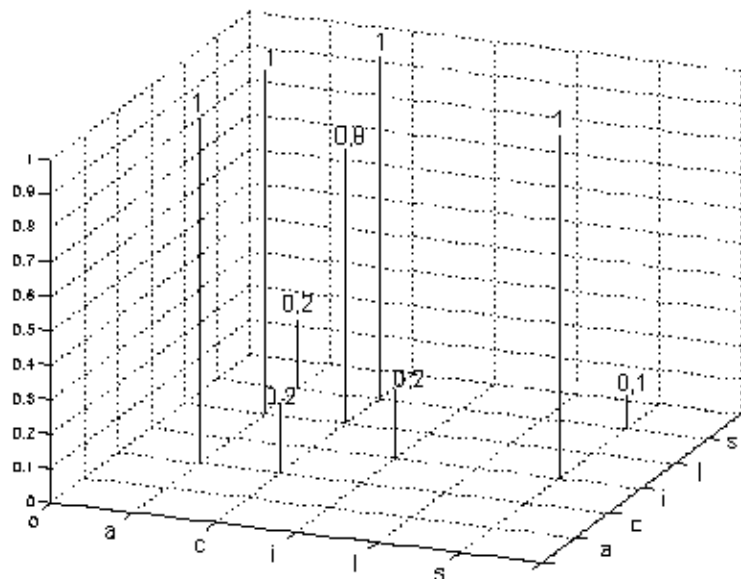


Figura 13: Relação fuzzy e os diversos graus de preferência

Fonte: Barros, 2001, p. 14.

Uma relação fuzzy expressa um relacionamento parcial ou impreciso entre elementos de determinados conjuntos ao indicar o grau deste relacionamento, podendo ser representada através de uma matriz. A relação fuzzy sobre $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ é muito utilizada para obter a eficiência de um controlador fuzzy. De acordo com [65], “a relação fuzzy é uma base de conhecimento, ou seja, o depósito de toda a inteligência relacionada a um dado sistema”. Comparando com a teoria clássica, a teoria fuzzy apresenta maior robustez na representação de uma relação, uma vez que, além de apresentar se há ou não relação, aponta o grau de pertinência de cada elemento. [4]

Capítulo 5

ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL: MATRIZ DE DECISÃO, MAPEAMENTO E MODELAGEM

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Durante o desenvolvimento de um modelo para detectar e minimizar um impacto ambiental, é necessário determinar as características do local onde será implantado o empreendimento para, assim, formalizar as regras que mapeiam a região, gerando melhor qualidade do estudo.

De acordo com [57], a avaliação dos impactos “consiste em dar magnitude e amplitude aos impactos previstos, a fim de poder determinar a ordem de prioridade de prevenção, de mitigação ou de compensação”. Assim, o modelo a ser apresentado faz uso de elementos da lógica difusa para dar a valoração do impacto, uma vez que os modelos e simulações “têm sido úteis para quantificar parâmetros físicos, químicos ou biológicos do meio ambiente” [57]. Conforme [63], o Impacto ambiental pode ser causado por uma ação humana que implique na:

- Supressão de certos elementos do ambiente;
- Inserção de certos elementos no ambiente e
- Sobrecarga (introdução de fatores de estresse além da capacidade de suporte do meio, gerando desequilíbrio).

Assim, a análise do impacto ao meio ambiente na construção de uma usina hidrelétrica tem que ser eficiente, uma vez que esta construção resulta na supressão, na inserção e na sobrecarga. Um método que apresenta esta eficiência é a matriz de impactos que, de acordo com [63], pode ser definida como um quadro que mostra as correlações entre as ações ou atividades do empreendimento analisado e os componentes ou elementos ambientais, ou entre as ações ou atividades do empreendimento analisado e os aspectos e/ou impactos ambientais.

5.2 MATRIZ DE IMPACTOS

A matriz de impacto (ou de prioridade) é uma ferramenta que permite a tomada de decisão ao valorar diferentes critérios de avaliação, dando prioridade a alternativas delimitadas. De acordo com [32], “uma decisão precisa ser tomada sempre que estamos diante de um problema que possui mais que uma alternativa para sua solução”. Deste modo, esta matriz se baseia neste princípio: a busca de uma solução para um problema através do mapeamento de um sistema onde os elementos se interagem.

A construção da matriz depende da definição dos critérios a serem utilizados, apresentando os elementos como “desempenhos, valores ou níveis de aceitabilidade de cada alternativa segundo cada critério. Estes valores podem ter uma escala natural de medida (por exemplo, custos) ou uma escala subjetiva (por exemplo, conforto de um carro)” [49]. Em relação aos impactos ambientais, o valor ou grau deve ser definido através do significado de um impacto para a sociedade, envolvendo o fator ambiental afetado, assim como outros impactos. Este grau de impacto adquire regras para seu estabelecimento, segundo o Decreto Federal nº 4340 no Artigo 31:

Para os fins de fixação da compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei Federal nº 9985, de 2000, o órgão ambiental licenciador estabelecerá o grau de impacto a partir dos estudos ambientais realizados quando o processo de licenciamento ambiental, sendo considerados os impactos negativos, não-mitigáveis e passíveis de riscos que possam comprometer a qualidade de vida de uma região ou causar danos aos recursos naturais. [9]

Assim como disposto na Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000, Artigo 36, Parágrafo 1º,

Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório – EIA/RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral, de acordo com o disposto neste artigo e no regulamento desta Lei.

§ 1º O montante de recursos a ser destinado pelo empreendedor para esta finalidade não pode ser inferior a meio por cento dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento, sendo o percentual fixado pelo órgão ambiental licenciador, de acordo com o grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento. [13]

A Lei e o Decreto tratam, principalmente, da compensação ambiental. Este ressarcimento pode ser com a criação de reservas ambientais, assim como em valores monetários. Geralmente em impactos gerados pelas usinas, os empreendedores desenvolvem programas ambientais como reflorestamentos, manejos de fauna, reassentamentos e outros, como forma de compensação. O grau de impacto ambiental que pode ser gerado por um determinado empreendimento pode ser classificado por:

Tabela 10: Critérios para avaliar a importância de impactos ambientais

Duração	Extensão	Magnitude ou Intensidade			
		Fraca	Média	Forte	Muito Forte
Momentânea	Pontual	Fraca	Fraca	Fraca	Média
Momentânea	Local	Fraca	Fraca	Média	Média
Temporária	Pontual	Fraca	Fraca	Média	Média
Temporária	Local	Fraca	Fraca	Média	Forte
Momentânea	Regional	Fraca	Média	Média	Forte
Permanente	Pontual	Fraca	Média	Média	Forte
Temporária	Regional	Fraca	Média	Forte	Forte
Permanente	Local	Fraca	Média	Forte	Forte
Permanente	Regional	Média	Forte	Forte	Forte

Fonte: Sanchez, 2006, p.297.

No caso da definição dos impactos ambientais gerados por uma usina hidrelétrica, é possível utilizar uma matriz de prioridades devido a essa possibilidade de se usar fatores quantitativos e qualitativos qualitativamente, uma vez que determinados elementos ambientais podem ser expressos através de dados numéricos, assim como outros devem ser descritos por informações qualitativas, sendo, portanto, subjetivos. Assim, a matriz a ser determinada apresentará valores difusos, quantificando, deste modo, fenômenos complexos ou mal definidos, diminuindo as dificuldades em relação à determinação das interações deste ambiente.

Baseando-se no método de matriz de prioridade, é possível determinar impactos gerados com a implantação de usinas hidrelétricas. Este método se fundamenta nas seguintes etapas [32]:

1. Definição do tema;
2. Escolha de pesos e critérios;

3. Construção da matriz decisória;
4. Obtenção de resultado da matriz;
5. Avaliação e conclusão.

De acordo com [32], a vantagem principal da matriz de prioridade é permitir “a priorização das alternativas, à medida que estabelece uma função objetivo que quantifica em termos numéricos o valor, por vezes subjetivo, agregado de cada alternativa”. Entretanto, ainda segundo [32], o método tem dificuldade em trabalhar com impactos múltiplos inter-relacionados. Como solução deste problema, os autores já citados afirmam que a teoria dos conjuntos difusos pode ser tratada como uma ferramenta para a estruturação de métodos que necessitam de julgamento de valor, como o Apoio Multicritério à Decisão - AMD, uma vez que estes valores nem sempre podem ser expressos de forma segura e precisa [32]

Segundo [53], “um conjunto fuzzy pode ser caracterizado por uma lista na qual os elementos do conjunto são discriminados, juntamente com seus respectivos graus de pertinência ao conjunto”. Assim, como o conjunto universo representante de áreas, onde poderão ocorrer impactos ambientais, podem ser considerados finitos, pode-se concluir que é possível tabular os impactos ambientais que serão gerados.

Conforme [65], a mapa (ou tabela) de regras fuzzy é “a base de conhecimento, onde as entradas da matriz de regras são preenchidas durante a identificação do sistema fuzzy, quando tipicamente um operador humano auxilia na identificação da operação e controle do processo”. Assim, ainda de acordo com [65], pode-se definir o mapa de regras fuzzy como “um arranjo representando todas as combinações de variáveis de entrada e saída, em termos de seus conjuntos fuzzy lingüísticos”.

Deste modo, após definir os dados a serem considerados, é possível construir uma matriz de decisão, para melhor representar a relação entre cada informação obtida, sendo que seus elementos são os valores de influência de cada elemento segundo cada critério. Estes valores podem ter uma escala natural de medida ou uma escala subjetiva.

Tabela 11: Relação entre Fatores geradores, efeitos e impactos ambientais

Fatores geradores												Efeitos ambientais	Impactos Ambientais						
Implantação da infra-estrutura de apoio e das obras principais								Enchimento do reservatório		Operação da usina	Meio Físico		Meio biótico						
Desmatamento/ terraplanagem para acessos	Ampliação e melhoria da infra-estrutura	Implantação de canteiro	Implantação de alojamentos e via residencial	Execução das obras civis	Deposição de material excedente em bota-foras	Montagem eletromecânica	Implantação de linha de transmissão	Transporte de materiais e insumos	Desocupação da área a ser submersa	Desmatamento e limpeza da área de inundação	Enchimento		Operação da usina	Alteração da qualidade das águas	Alteração da qualidade do ar	Alteração da qualidade do solo	Destruição de habitats terrestres	Alteração das populações animais	Alteração dos ecossistemas aquáticos
*	*	#	*	#	#	#	#		*	*	*	*	Perda/ alteração de habitats	°	-	°	+	+	+
*	*	#	*	#		#	*		*	*	*	*	Interferências nas comunidades animais (caça e pesca)				+	+	+
*	#	*	*	#			*		#	*	*	*	Fuga de animais para as áreas adjacentes				+	+	
										*	*	*	Interferência com as comunidades ícticas na área do reservatório	°				-	+
										*	*	*	Interferência com as comunidades ícticas à jusante	°				-	+
*		#	*						*	*	*	*	Criação de novos ambientes					+	+
*										*	*	#	Proliferação de vetores	-				+	
*	#	#	*	*						*	*	#	Alteração da topografia		+				
#										*	*	*	Geração de resíduos sólidos			+			
										#	*	*	Geração de efluentes líquidos	°					+
#										*	*	*	Aumento da erosão	°		+			°
#										*	*	*	Aumento do assoreamento	+		+			°
											*	*	Alteração do nível freático	+					°
*													Alteração características do solo			+			
*	#	#	*				*		*	*	*	#	Supressão da vegetação e habitats		°	°	+	+	+

Classificação de Aspectos
 * Aspectos significativos
 # Aspectos pouco significativos
 □ Aspectos não significativos

Classificação de Impactos
 + Impacto muito considerável
 ° Impacto considerável
 - Impacto pouco considerável

Fonte: Sanchez, 2006, p.209 e 210, com modificações.

Na Tabela 11, é apresentada uma matriz de impacto, relacionando os fatores geradores, efeitos e impactos ambientais, sendo estes valorados de maneira subjetiva. Para o mapeamento a ser apresentado, será utilizado os impactos ambientais sobre o meio físico, não levando em consideração o meio biótico e socioeconômico.

5.3 MAPEAMENTO DAS VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS

Para se obter o mapeamento através de proposições difusas que representam os impactos ambientais gerados pela construção de uma usina hidrelétrica, torna-se indispensável entender a definição de variáveis lingüísticas. Estas variáveis se apresentam, segundo [54], como “tijolos das proposições difusas”, tendo como características:

1. Têm conteúdo variável (como em uma linguagem de programação);
2. Assumem valores lingüísticos (ALTO, BAIXO, MÉDIO, QUENTE);
3. Possuem identificação nominal.

Os valores lingüísticos apresentam menor precisão que a representação numérica, portanto o conceito de variável lingüística se caracteriza por quantificar de forma aproximada os fenômenos complexos ou mal definidos. Assim, as variáveis lingüísticas representam um conceito que pode assumir um conjunto de valores, como, por exemplo, a erodibilidade do solo.

As proposições difusas são regras que representam a relação entre idéias ou conceitos, onde a premissa é verdadeira, mas a conclusão depende do grau de verdade da proposição. De acordo com [54],

Uma proposição difusa expressa relações entre variáveis lingüísticas e conjuntos difusos, podendo apresentar composições por meio de conectivos e transformadores. A avaliação de proposições consiste em aferir o nível de “verdade” ou pertinência apresentado em relação a uma dada situação.

Freqüentemente, as proposições difusas que mais encontramos podem ser classificadas em *condicionais* e *incondicionais*. As condicionais são do tipo

SE P_1 (premissa), ENTÃO P_2 (conseqüente).

Onde:

- P_1 é uma proposição difusa composta por termos do tipo <variável lingüística> É <predicado>, sendo denominada premissa;
- P_2 é uma proposição apresentando, normalmente, a mesma forma acima, sendo denominada conseqüente;
- SE, ENTÃO são elementos sintáticos que significam que “ P_2 tem, no mínimo, o mesmo grau de verdade que P_1 ”.

Um exemplo que pode ser citado das proposições condicionais difusas é:

Se PROT_VEG é MUITO_BAIXA, então EROSÃO é ALTA.

onde PROT_VEG significa a proteção da cobertura vegetal quanto à fragilidade do solo.

As incondicionais são expressões difusas sem a presença dos elementos sintáticos SE / ENTÃO, sendo formadas por meio de operadores difusos, de subexpressões da forma <variável lingüística> É <predicado>, onde <predicado> poderá conter transformadores difusos. A expressão abaixo exemplifica as proposições incondicionais difusas:

<Tipo_de_Solo> É <Bom>.

onde TIPO_DE_SOLO representa a erodibilidade do solo em relação à composição do solo.

Assim, a proposição difusa enfatiza o conceito lingüístico, tornando-os computacionalmente implementáveis. A vantagem é que se consegue eliminar a subjetividade de um conceito, como, por exemplo, o grau de impacto ambiental, que

depende do nível de esgotamento dos recursos naturais da região (RN), assim como da degradação do meio ambiente (MA), envolvidos no processo.

5.3.1 Estrutura do Mapeamento

A estrutura do mapeamento proposto é a ilustrada na Figura 14.

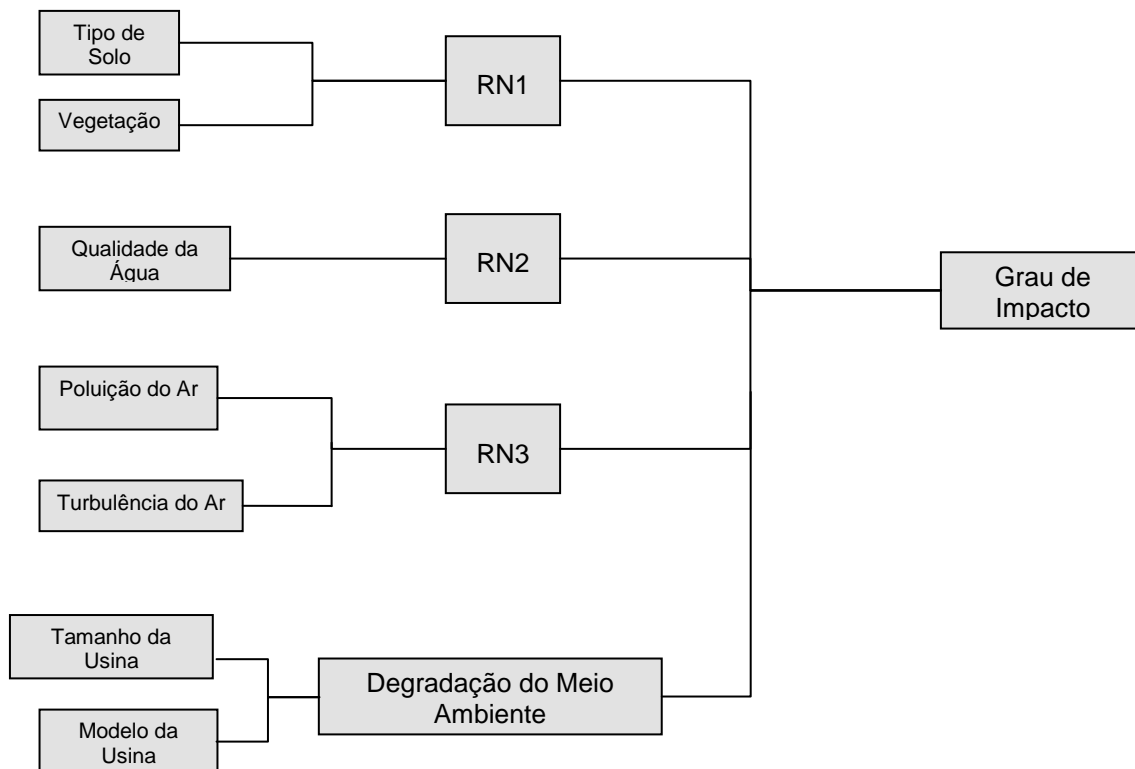


Figura 14: Relação entre os elementos do Mapeamento

Fonte: Dados Primários

onde cada grau de elemento de entrada tem influência no grau de impacto para o meio ambiente. Assim, ao se obter as informações na área onde se construirá uma usina hidrelétrica e acrescentá-las no modelo, resulta-se no grau de impacto. Com isso, é possível minimizar o impacto, considerando em que elemento foi apresentado mais riscos ao meio ambiente e fazendo ações preventivas ou corretivas. Portanto, quanto mais dados relevantes se tem de cada elemento, mais preciso fica o modelo.

5.3.2 Indicadores Lingüísticos

Os indicadores lingüísticos escolhidos para mapear o grau de impacto ambiental são os apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Indicadores Lingüísticos

NOMENCLATURA	ABREVIACÃO
Tipos de Solo	TIPO_SOLO
Tipos de Cobertura Vegetal	PROT_VEG
Grau de Qualidade da Água	QUAL_AGUA
Poluição do Ar	POL_AR
Turbulência do Ar	TURB_AR
Tamanho de uma Usina Hidrelétrica	TAM
Modelo de uma Usina Hidrelétrica	MOD
Recurso Natural – Solo	RN1
Recurso Natural – Água	RN2
Recurso Natural – Ar	RN3
Degradação do Meio Ambiente	MA
Grau do Impacto de uma Usina Hidrelétrica sobre o Meio Ambiente	GRAU_DE_IMPACTO

Fonte: Dados Primários

Para a definição dos indicadores, levou-se em consideração o objetivo do modelo que é o resultado dos impactos da construção de uma usina sobre o Meio Físico. Entretanto, é possível definir outros parâmetros, dependendo do objetivo, como, por exemplo, o alagamento e a transferência da população ribeirinha, como aspecto socioeconômico.

5.3.2.1 Blocos de Regras

O bloco de regras é a estrutura do mapeamento já apresentado, acrescido das definições dos parâmetros e os resultados que podem ser obtidos, sendo utilizados neste mapeamento os seguintes blocos de regras apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Variáveis Linguísticas

INDICADORES DE ENTRADA	GRAU ADOTADO	INDICADORES DE SAÍDA
TIPO_DE_SOLO	MUITO_BAIXA	RN1: INESGOTÁVEL INESGOTÁVEL_AI ESGOTÁVEL
	BAIXA	
	MÉDIA	
	FORTE	
	MUITO_FORTE	
PROT_VEG	MUITO_ALTA	
	ALTA	
	MÉDIA	
	BAIXA	
	MUITO_BAIXA	
QUAL_AGUA	OTIMO	RN2: INESGOTÁVEL INESGOTÁVEL_AI ESGOTÁVEL
	BOM	
	REGULAR	
	RUIM	
	PESSIMO	
POL_AR	ALTISSIMO	RN3: INESGOTÁVEL INESGOTÁVEL_AI ESGOTÁVEL
	MUITO_ALTO	
	ALTO	
	MEDIO	
	BAIXO	
	MUITO_BAIXO	
TURB_AR	EXT_INSTAVEL	
	INSTAVEL	
	LIG_INSTAVEL	
	NEUTRA	
	LIG_ESTAVEL	
	ESTAVEL	
TAM	BAIXO	MA: REVERSÍVEL REVERSÍVEL_AI IRREVERSÍVEL
	MÉDIO	
	ALTO	
	MUITO_ALTO	
MOD	BAIXO	
	MÉDIO	
	ALTO	
RN1, RN2 e RN3	INESGOTÁVEIS	
	INESGOTÁVEIS_AI	
	ESGOTÁVEIS	
MA	REVERSÍVEL	
	REVERSÍVEL_AI	
	IRREVERSÍVEL	

Fonte: Dados Primários

Sendo que os indicadores de saída têm por definição para as variáveis relacionadas a recursos naturais:

- Inesgotáveis (INESGOTÁVEL), quando a utilização de recursos naturais for desprezível quanto ao esgotamento;
- Inesgotáveis, se houver Ação Imediata (INESGOTÁVEL_AI), se a utilização de recursos não acarretará esgotamento, se acontecer ações para recuperação imediatas, quando ocorrer algum impacto;
- Esgotáveis (ESGOTÁVEL), quando há a probabilidade de esgotamento das reservas naturais.

Para as variáveis lingüísticas de impactos ambientais relacionados a estrutura de usinas hidrelétricas:

- Reversível (REVERSÍVEL), quando a degradação ambiental tem recuperação;
- Reversível com ações imediatas (REVERSÍVEL_AI), somente se alguma ação for feita será possível recuperar o impacto;
- Irreversível (IRREVERSÍVEL), se não há ação que possa recuperar a região.

Para as variáveis lingüísticas relacionados ao grau de impacto, resulta-se em:

- Baixo (BAIXO), quando a utilização de recursos naturais é desprezível quanto ao esgotamento e a degradação ao Meio Ambiente é desprezível e reversível;
- Médio (MEDIO), quando a utilização de recursos naturais é considerada sem haver possibilidade de esgotamento das reservas naturais e a degradação ao Meio Ambiente é reversível, porém com ações imediatas.
- Alto (ALTO), quando há probabilidade de escassez dos recursos naturais e a degradação no Meio Ambiente impacta com probabilidade de irreversibilidade.

5.3.3 Solo

A capacidade de erosão das margens e do leito fluvial, assim como o transporte e deposição da carga do rio, dependem da velocidade e turbulência das águas, bem como do volume e das partículas transportadas. Esta erosão pode ser ocasionada de três formas: pelas ações corrasiva, corrosiva e pelo impacto hidráulico. As mudanças originadas implicam em alterações na profundidade média, largura do rio, velocidade média das águas, rugosidade do leito e concentração de sedimentos [24]. Assim, é importante estudar a erosão dos solos para resolver problemas oriundos desse processo. Um dos aspectos necessários para se entender a dinâmica erosiva é a definição de solo. Segundo [55],

O solo é formado por um conjunto de corpos naturais e tridimensionais, resultante da ação integrada do clima e organismos sobre o material de origem, condicionado pelo relevo em diferentes períodos de tempo, o qual apresenta características que constituem a expressão dos processos e dos mecanismos dominantes da sua formação.

Devido à formação do solo depender do material de origem, as propriedades do solo estão intrinsecamente relacionadas ao estudo de erosão, porque, associadas a outros fatores, determinam maior ou menor susceptibilidade à erosão. Apoiado em pesquisas desenvolvidas no Instituto Agrônomo de Campinas (SP) e no Instituto Agrônomo do Paraná, além de outros estudos, como de Bertoni e Lombardi Neto, e das observações de campo, [60] estabeleceu as classes de fragilidade ou erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, encontradas na Tabela 14.

Tabela 14: Classe de Fragilidade do Solo

CLASSES DE FRAGILIDADE	TIPOS DE SOLOS
1- Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo textura argilosa.
2- Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo textura média/ argilosa.
3- Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/ argilosa.
4- Forte	Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/ arenosa e Cambissolos.
5- Muito Forte	Podzolizados com cascalhos, Litólicos e Areias Quartzosas.

Fonte: Ross, 1994.

Outro fator que determina a erodibilidade do solo é o grau de proteção aos solos pela cobertura vegetal. A conservação das florestas às margens dos rios dificulta a erosão hídrica, sobretudo em declives acentuados. Entretanto, com a construção de uma usina hidrelétrica, tem-se como consequência a inundação de grandes áreas, para abrigar o reservatório, gerando lagos onde há a decomposição das árvores pela água. Resulta também na destruição de árvores a margem do rio pela jusante do reservatório.

Por conseguinte, é necessário o estudo sobre o tipo de cobertura vegetal existente na área da construção da usina, assim como obter o grau de proteção determinado pela presente vegetação. A classificação pelo grau de proteção por tipos de cobertura vegetal também foi definida por [60]. A Tabela 15 apresenta esta graduação, obedecendo à ordem decrescente da capacidade de proteção.

Tabela 15: Graus de Proteção por Tipos de Cobertura Vegetal

GRAUS DE PROTEÇÃO	TIPOS DE COBERTURA VEGETAL
1- Muito Alta	Florestas/ Matas naturais, Florestas cultivadas com biodiversidade.
2- Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso. Formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa). Mata homogênea de Pinus densa. Pastagens cultivadas sem pisoteio de gado.
3- Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/ terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas. Pastagens com baixo pisoteio. Silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
4- Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta-do-reino, laranja) com solo exposto entre ruas. Culturas de ciclo curto (arroz, algodão, trigo, feijão, soja, milho) com cultivo em curvas de nível/ terraceamento.
5- Muito Baixa a Nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/ gradeação, solo exposto a longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross, 1994.

Com os dados apresentados nas Tabelas, é possível determinar as proposições difusas que representarão os impactos ambientais gerados por um projeto hidrelétrico, garantindo que o valor da compensação ambiental, citado no Decreto, seja proporcional ao impacto gerado. Assim, as proposições difusas que representam o nível de esgotamento do recurso natural solo são:

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_BAIXA e PROT_VEG é MUITO_ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_BAIXA e PROT_VEG é ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_BAIXA e PROT_VEG é MÉDIA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_BAIXA e PROT_VEG é BAIXA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_BAIXA e PROT_VEG é MUITO_BAIXA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é BAIXA e PROT_VEG é MUITO_ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é BAIXA e PROT_VEG é ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é BAIXA e PROT_VEG é MÉDIA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se TIPO_DE_SOLO é BAIXA e PROT_VEG é BAIXA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se TIPO_DE_SOLO é BAIXA e PROT_VEG é MUITO_BAIXA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MÉDIA e PROT_VEG é MUITO_ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MÉDIA e PROT_VEG é ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se TIPO_DE_SOLO é MÉDIA e PROT_VEG é MÉDIA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se TIPO_DE_SOLO é MÉDIA e PROT_VEG é BAIXA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MÉDIA e PROT_VEG é MUITO_BAIXA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é FORTE e PROT_VEG é MUITO_ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é FORTE e PROT_VEG é ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se TIPO_DE_SOLO é FORTE e PROT_VEG é MÉDIA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é FORTE e PROT_VEG é BAIXA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é FORTE e PROT_VEG é MUITO_BAIXA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_FORTE e PROT_VEG é MUITO_ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_FORTE e PROT_VEG é ALTA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_FORTE e PROT_VEG é MÉDIA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_FORTE e PROT_VEG é BAIXA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_FORTE e PROT_VEG é MUITO_BAIXA, então RN1 é ESGOTÁVEL.

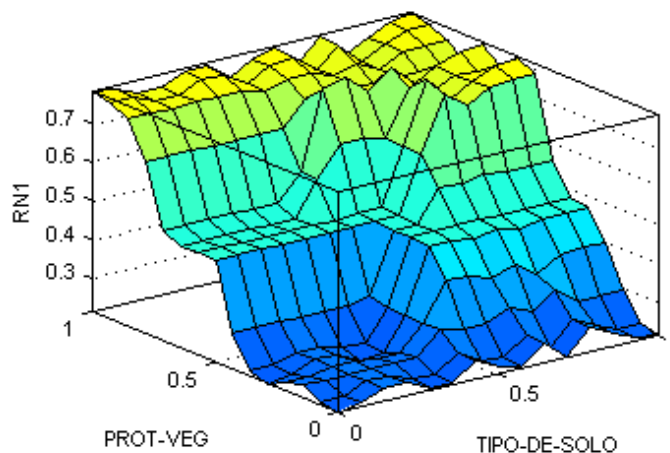


Figura 15: Impacto sobre o solo

Fonte: Dados Primários

A Figura 15 é a representação das proposições apresentadas anteriormente sobre o impacto da construção de uma usina hidrelétrica sobre o solo, envolvendo como parâmetros a estrutura formativa do solo e a vegetação que compõem a região. A mudança das cores representa a definição das variáveis.

5.3.4 Água

De acordo com Philippi Jr et al (2004, p. 63) [57], “o uso da água para a produção de energia elétrica não modifica sua qualidade; no entanto, altera o ambiente e a via aquática”. Portanto, ao se analisar as influências da edificação de uma usina hidrelétrica na qualidade da água, devem ser observados os resíduos gerados pela construção e a consequência do alagamento de áreas, como, por exemplo, a poluição da água com os resquícios de lixos, esgotos e/ou agrotóxicos presentes na área anteriormente ao processo de alagamento. Observando a Tabela 16, pode-se observar alguns elementos que definem o grau de qualidade da água.

Tabela16: Algumas características para os diferentes graus de qualidade da água

Grau de qualidade da água	Tipo	Ocorrência	Características bioquímicas	Modo de degradação biológica	Alguns organismos específicos típicos
I Ótimo	Oligosáprobas	Riachos e lagos de regiões serranas e virgens	Ricas em O ₂ , ausência de substâncias orgânicas	Aeróbia	Bactérias: menos de 100 por ml de água; algas azuis, vermelhas, clorofíceas, diatomáceas; rotíferos, turbelários, larvas de dípteros; peixes que necessitam de grandes quantidades de O ₂ como trutas.
II Bom	β-Mesosáprobas	Muitos lagos e trechos de rios não muito poluídos	Ainda ricas em O ₂ , contém componentes orgânicos	Aeróbia; consumo de oxigênio inferior a 50 %	Bactérias: bem menos que 100.000 por ml de água; algas azuis, clorofíceas e diatomáceas; protozoários, moluscos e larvas de insetos; grande variedade de peixes.
III Regular	α-Mesosáprobas	Estuários de rios, charcos, açudes comprometidos por fertilizantes, águas depuradas	Contém ainda O ₂ , ricas em componentes orgânicos e inorgânicos	Aeróbia; consumo de oxigênio superior a 50 %	Bactérias: menos de 100.000 por ml de água; algas azuis, clorofíceas, diatomáceas, fungos, protozoários; peixes como tencas, carpas, enguias.
IV Ruim	Polisáprobas	Efluentes orgânicos, lodo de depuração	Traços de O ₂ , muito ricas em substâncias orgânicas e inorgânicas	Predominantemente Anaeróbia	Bactérias: bem mais de 1.000.000 por ml de água; entre as quais cocos e bactérias capazes de degradar compostos sulfurados, algas azuis; protozoários, ciliados, larvas de pequenos mosquitos; ausência de peixes.
V Péssimo	Despovoada	Águas que receberam despejos contendo substâncias tóxicas, sobretudo metais pesados.	Presença de substâncias tóxicas; impossibilidade permanente de recuperação da vida aquática		

Fonte: LOUB (1975) apud FELLEBERG, 1980, p. 74; bastante modificado.

Baseando-se nestes dados apresentados na Tabela 16, podem ser formadas as seguintes proposições:

Se QUAL_ÁGUA é ÓTIMO, então RN2 é INESGOTÁVEL.

Se QUAL_ÁGUA é BOM, então RN2 é INESGOTÁVEL_AI.

Se QUAL_ÁGUA é REGULAR, então RN2 é INESGOTÁVEL_AI.

Se QUAL_ÁGUA é RUIM, então RN2 é ESGOTÁVEL.

Se QUAL_ÁGUA é PÉSSIMO, então RN2 é ESGOTÁVEL.

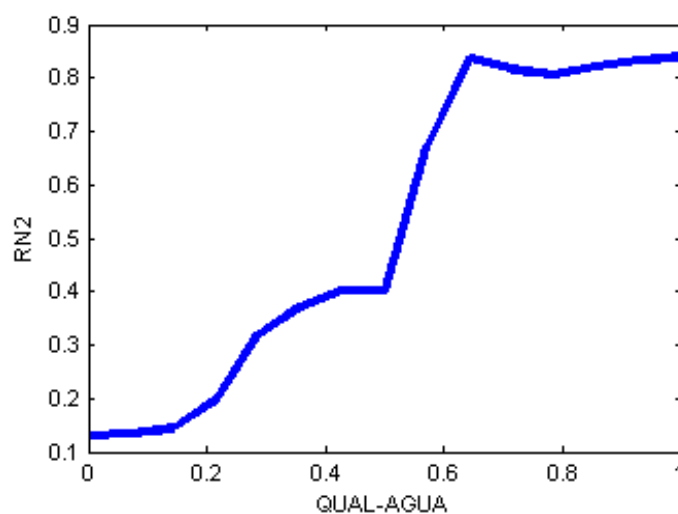


Figura 16: Impacto sobre a água

Fonte: Dados primários

A Figura 16 é a representação das proposições relacionadas ao impacto sobre qualidade da água com a construção de uma usina hidrelétrica.

5.3.5 Ar

De acordo com [57], os poluentes atmosféricos podem ser classificados em função do estado físico, dividindo-se em dois grupos: (a) *material particulado* e (b) *gases e vapores*. No caso da construção de uma usina, os materiais particulados podem ser gerados pela construção da usina, formando poeira. Um exemplo da formação de gases, influenciada por uma usina hidrelétrica, é a liberação de dióxido de carbono pela decomposição das árvores embaixo da água. Conforme [18],

São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Em outras palavras, o padrão de qualidade do ar é baseado nas concentrações máximas de um elemento atmosférico, com o objetivo de garantir a proteção do bem estar das pessoas. Ainda de acordo com [18], agora no Art 2º, existem dois tipos de padrão de qualidade de ar, com os seguintes conceitos:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Os valores relacionados a cada padrão de qualidade de ar, dados pela [18], é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PADRÃO SECUNDÁRIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1)	240	150
	MGA (2)	80	60
Dióxido de Enxofre	24 horas	365	100
	MAA (3)	80	40
Monóxido de Carbono	1 hora (1)	40.000	40.000
	8 horas	35 ppm	35 ppm
		10.000	10.000
		(9 ppm)	(9 ppm)
Ozônio	1 hora (1)	160	160
Fumaça	24 horas (1)	150	100
	MAA (3)	60	40
Partículas Inaláveis	24 horas (1)	150	150
	MAA (3)	50	50

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual.

Fonte: Dados obtidos na Resolução nº 003/CONAMA, obtidos por Ecológica, 2009, p. 1

Na Tabela 18, é apresentado outros parâmetros, sendo estes considerados críticos, de acordo com [18].

Tabela 18: Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar

PARÂMETROS	NÍVEIS		
	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	800	1.600	2.100
Partículas Totais em Suspensão (PTS) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	375	625	875
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)x($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	65.000	261.000	393.000
Monóxido de Carbono (ppm) - 8 h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	400	800	1.000
Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
< Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	1.130	2.260	3.000

Fonte: Dados obtidos na Resolução nº 003/CONAMA, obtidos por Ecológica, 2009, p. 1

Considerando estes padrões apresentados nas Tabelas 17 e 18, é possível obter a seguinte Tabela 19, que será utilizada para a formação das proposições.

Tabela 19: Poluição do Ar

Quantidade de Poluentes	Nível de Poluição	
Ao nível de Emergência	Altíssimo	(ALTISSIMO)
Ao nível de Alerta	Muito alto	(MUITO_ALTO)
Ao nível de Atenção	Alto	(ALTO)
Acima do Padrão Primário e abaixo do nível de atenção	Médio	(MEDIO)
Por volta do Padrão Primário	Baixo	(BAIXO)
Abaixo do Padrão Primário e próximo ao Padrão Secundário	Muito baixo	(MUITO_BAIXO)

Fonte: Dados primários

De acordo com [57], a turbulência da atmosfera desempenha uma ação de transporte, na difusão e diluição da poluição no ar, sendo determinada pela velocidade do vento e pelo gradiente térmico na vertical. Pasquill, apud [57] dividiu as condições de estabilidade em seis classes, a saber:

- Classe A – extremamente instável (EXT_INSTAVEL)
- Classe B – instável (INSTAVEL)
- Classe C – ligeiramente instável (LIG_INSTAVEL)
- Classe D – neutra (NEUTRA)
- Classe E – ligeiramente estável (LIG_ESTAVEL)
- Classe F – estável (ESTAVEL)

Ainda de acordo com [57], a condição de turbulência considerada instável é boa para a dispersão de poluentes.

Tabela 20: Determinação da Classe de Estabilidade da Atmosfera

VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	PERÍODO DIURNO RADIÇÃO SOLAR INCIDENTE			PERÍODO NOTURNO NEBULOSIDADE	
	Forte	Moderada	Fraca	Nublado	Pouco Nublado
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Fonte: LOUB (1975) apud FELLEBERG, 1980, p. 74; bastante modificado.

Assim, as proposições que determinam o grau de impacto sobre o recurso natural ar são as seguintes:

Se POL_AR é ALTÍSSIMO e TURB_AR é EXT_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é ALTÍSSIMO e TURB_AR é INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é ALTÍSSIMO e TURB_AR é LIG_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é ALTÍSSIMO e TURB_AR é NEUTRA, então RN3 é ESGOTÁVEL.

Se POL_AR é ALTÍSSIMO e TURB_AR é LIG_ESTÁVEL, então RN3 é ESGOTÁVEL.

Se POL_AR é ALTÍSSIMO e TURB_AR é ESTÁVEL, então RN3 é ESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_ALTO e TURB_AR é EXT_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_ALTO e TURB_AR é INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_ALTO e TURB_AR é LIG_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é MUITO_ALTO e TURB_AR é NEUTRA, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é MUITO_ALTO e TURB_AR é LIG_ESTÁVEL, então RN3 é ESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_ALTO e TURB_AR é ESTÁVEL, então RN3 é ESGOTÁVEL.

Se POL_AR é ALTO e TURB_AR é EXT_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é ALTO e TURB_AR é INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é ALTO e TURB_AR é LIG_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é ALTO e TURB_AR é NEUTRA, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é ALTO e TURB_AR é LIG_ESTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é ALTO e TURB_AR é ESTÁVEL, então RN3 é ESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MÉDIO e TURB_AR é EXT_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MÉDIO e TURB_AR é INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MÉDIO e TURB_AR é LIG_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MÉDIO e TURB_AR é NEUTRA, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é MÉDIO e TURB_AR é LIG_ESTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é MÉDIO e TURB_AR é ESTÁVEL, então RN3 é ESGOTÁVEL.

Se POL_AR é BAIXO e TURB_AR é EXT_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é BAIXO e TURB_AR é INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é BAIXO e TURB_AR é LIG_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é BAIXO e TURB_AR é NEUTRA, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é BAIXO e TURB_AR é LIG_ESTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é BAIXO e TURB_AR é ESTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é MUITO_BAIXO e TURB_AR é EXT_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_BAIXO e TURB_AR é INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_BAIXO e TURB_AR é LIG_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_BAIXO e TURB_AR é NEUTRA, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_BAIXO e TURB_AR é LIG_ESTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se POL_AR é MUITO_BAIXO e TURB_AR é ESTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

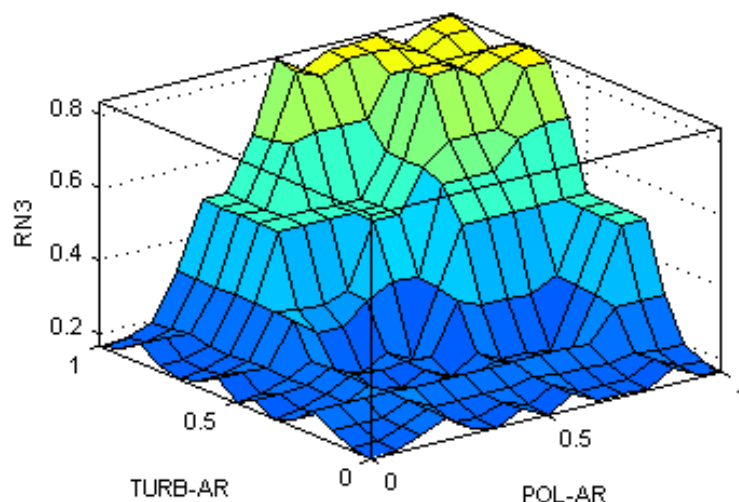


Figura 17: Impacto sobre o ar

Fonte: Dados primários

A Figura 17 representa as proposições difusas sobre o impacto da construção de uma usina hidrelétrica sobre o ar, envolvendo como parâmetros o nível de poluição do ar e a turbulência atmosférica.

5.3.6 Estrutura da Usina Hidrelétrica

Conforme afirmado anteriormente, o grau dos impactos ambientais nas usinas hidrelétricas está diretamente relacionado ao tamanho, modelo e local de implantação destas usinas. As variáveis “tamanho (TAM)” e “modelo (MOD)” serão utilizadas como elementos influenciadores na degradação do meio ambiente (MA), uma vez que o local de implantação já está contido na definição de recursos naturais. Nas Tabelas 21 e 22, são definidas as variáveis “tamanho (TAM)” e “modelo (MOD)” [26].

Tabela 21: Tamanho de uma usina hidrelétrica

CLASSIFICAÇÃO DO TAMANHO	GRAU DO PORTE
Micro Central Hidrelétrica – 1 a 100 KW	Baixo
Mini Central Hidrelétrica – 100 a 1000 KW	Médio
Pequena Central Hidrelétrica – 1 a 30 MW	Alto
Usina Hidrelétrica de Grande Porte – Maior que 30 MW	Muito Alto

Fonte: Informações obtidas na ELETROBRÁS

Tabela 22: Modelo de uma usina hidrelétrica

MODELO	CARACTERÍSTICAS	GRAU
Usina a fio d'água	Não possui capacidade de armazenamento relevante, dispõe somente da vazão natural proporcionada pelo rio.	Baixo
Usina reversível	A energia elétrica é gerada através da utilização de água previamente bombeada para um reservatório de acumulação.	Médio
Usina com reservatório de acumulação	Acumula a água durante o período de cheias para que ela possa ser utilizada durante o período de estiagem.	Alto

Fonte: Informações obtidas na ELETROBRÁS

Assim, podemos expressar o grau de impacto como as proposições difusas abaixo:

- Se TAM é BAIXO e MOD é BAIXO, então MA é REVERSÍVEL.
- Se TAM é BAIXO e MOD é MÉDIO, então MA é REVERSÍVEL_AI.
- Se TAM é BAIXO e MOD é ALTO, então MA é IRREVERSÍVEL.
- Se TAM é MÉDIO e MOD é BAIXO, então MA é REVERSÍVEL.
- Se TAM é MÉDIO e MOD é MÉDIO, então MA é REVERSÍVEL_AI.
- Se TAM é MÉDIO e MOD é ALTO, então MA é IRREVERSÍVEL.
- Se TAM é ALTO e MOD é BAIXO, então MA é REVERSÍVEL_AI.
- Se TAM é ALTO e MOD é MÉDIO, então MA é REVERSÍVEL_AI.
- Se TAM é ALTO e MOD é ALTO, então MA é IRREVERSÍVEL.
- Se TAM é MUITO_ALTO e MOD é BAIXO, então MA é REVERSÍVEL_AI.
- Se TAM é MUITO_ALTO e MOD é MÉDIO, então MA é IRREVERSÍVEL.
- Se TAM é MUITO_ALTO e MOD é ALTO, então MA é IRREVERSÍVEL.

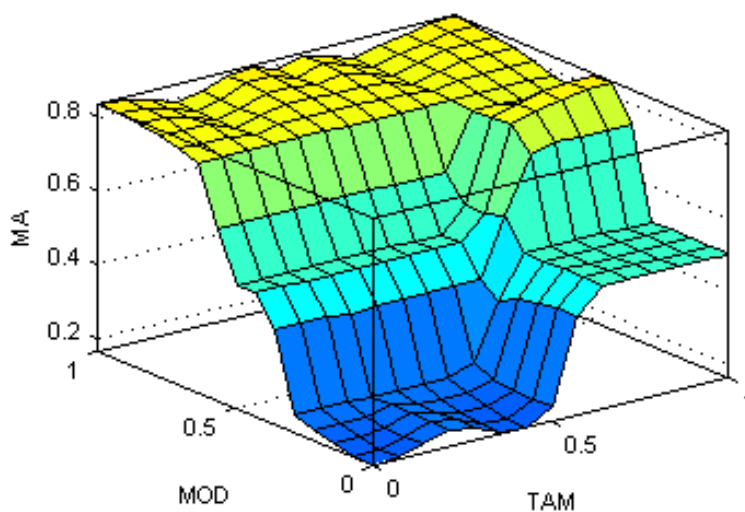


Figura 18: Impactos relacionados à construção da usina

Fonte: Dados primários

Na Figura 18, estão representadas as proposições sobre o impacto da construção de uma usina hidrelétrica sobre a região.

5.3.7 Grau de Impacto Ambiental

Com isto, pode-se concluir que o grau de impacto ambiental (GRAU_DE_IMPACTO) é definido pelas proposições condicionais difusas abaixo, dependendo do consumo dos recursos naturais, assim como da degradação ambiental resultante pela implantação de uma usina hidrelétrica, uma vez que o grau de impacto pode ser definido como:

Tabela 23: Grau de Impacto

GRAU DE IMPACTO	DESCRIÇÃO
Baixo	A utilização de recursos naturais é desprezível quanto ao esgotamento. A degradação ao Meio Ambiente, ou à comunidade, é desprezível e reversível.
Médio	A utilização de recursos naturais é considerada sem haver possibilidade de esgotamento das reservas naturais. A degradação ao Meio Ambiente, ou à comunidade, é reversível, porém com ações imediatas.
Alto	Há probabilidade de escassez dos recursos naturais. A degradação no Meio Ambiente, ou à comunidade, impacta com probabilidade de irreversibilidade.

Fonte: Sistema de Gestão Ambiental – Procedimentos, com modificações

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é MEDIO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é INESGOTAVEL_AI e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é REVERSÍVEL_AI, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Se RN1 é ESGOTÁVEL, RN2 é ESGOTÁVEL, RN3 é ESGOTAVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Devido aos programas computacionais apresentarem gráficos com, no máximo, três dimensões, as Figuras 19 a 24 estão representando as variáveis solo, água, ar e degradação do meio ambiente relacionadas duas a duas, resultando no grau de impacto.

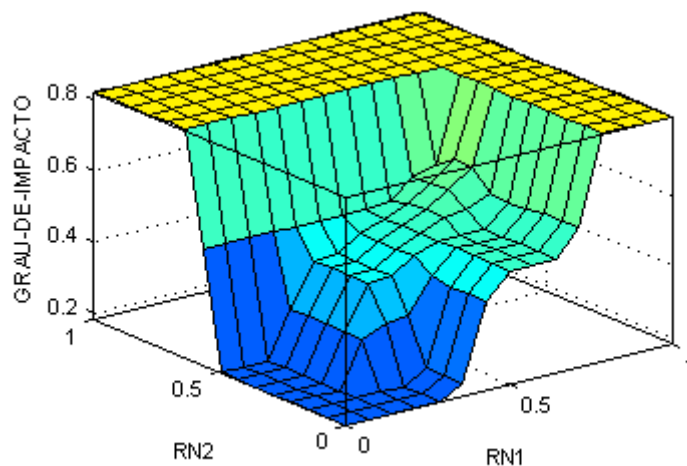


Figura 19: Grau de Impacto Ambiental - Solo (RN1) e Água (RN2)

Fonte: Dados primários

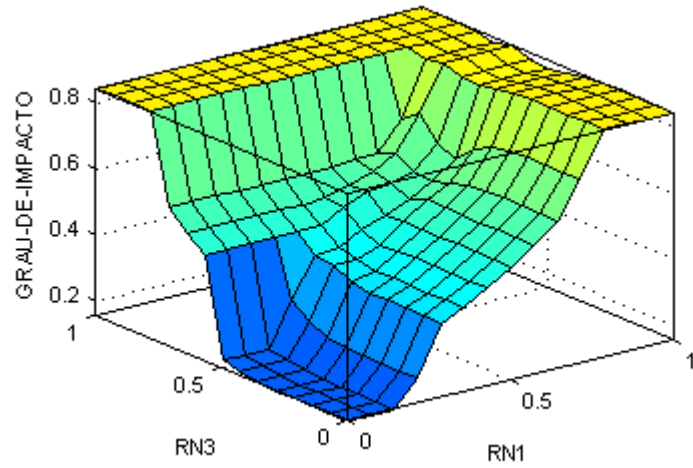


Figura 20: Grau de Impacto Ambiental – Solo (RN1) e Ar (RN3)

Fonte: Dados primários

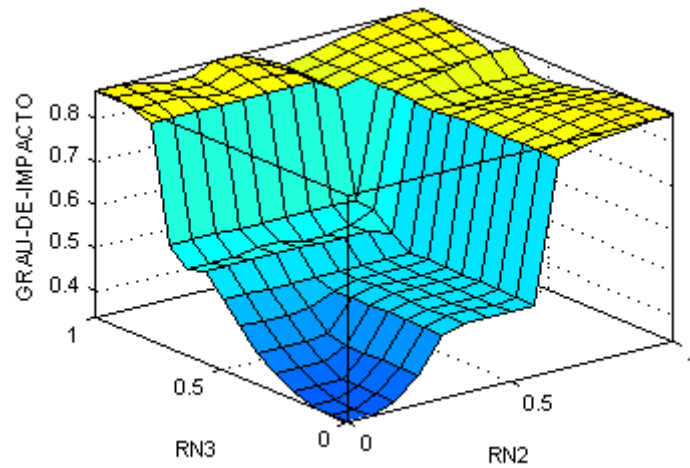


Figura 21: Grau de Impacto Ambiental - Água (RN2) e Ar (RN3)

Fonte: Dados primários

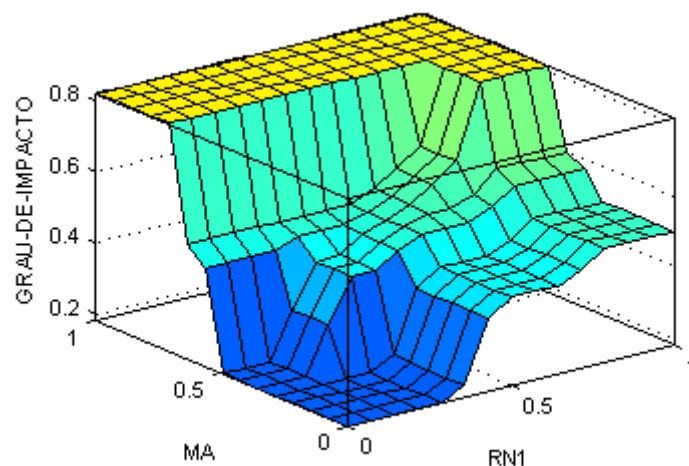


Figura 22: Grau de Impacto Ambiental - Solo (RN1) e Degradação do meio ambiente (MA)

Fonte: Dados primários

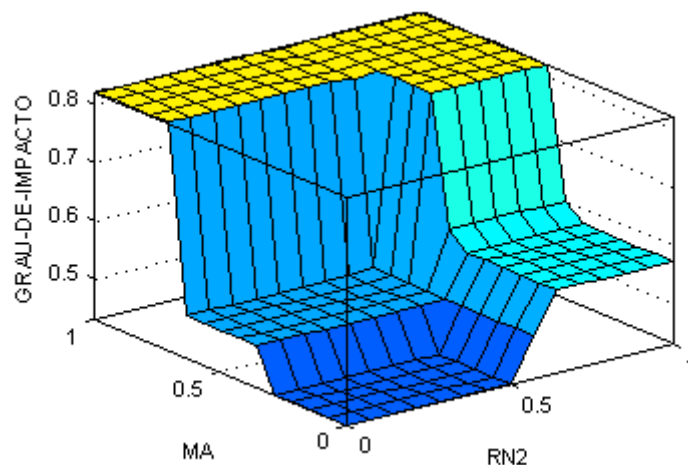


Figura 23: Grau de Impacto Ambiental - Água (RN2) e Degradação do meio ambiente (MA)

Fonte: Dados primários

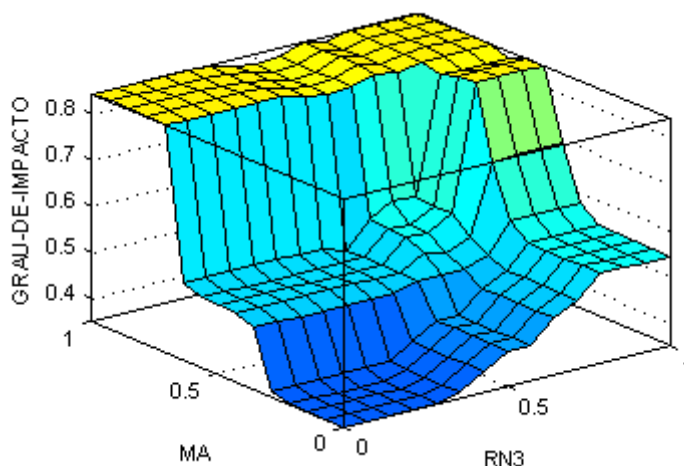


Figura 24: Grau de Impacto Ambiental - Ar (RN3) e Degradação do meio ambiente (MA)

Fonte: Dados primários

Como pode ser observado, as proposições descrevem o esgotamento dos recursos naturais e a degradação do meio ambiente, apresentando-as inter-relacionadas, resultando na definição do grau do impacto gerado, sendo estas relações representadas pelas Figuras 19 a 24. Também pode ser observada esta inter-relação no exemplo abaixo, onde foram selecionadas algumas proposições apresentadas anteriormente, mapeando o impacto.

Se TIPO_DE_SOLO é MUITO_BAIXA e PROT_VEG é MÉDIA, então RN1 é INESGOTÁVEL_AI.

Se QUAL_ÁGUA é BOM, então RN2 é INESGOTÁVEL_AI.

Se POL_AR é MÉDIO e TURB_AR é EXT_INSTÁVEL, então RN3 é INESGOTÁVEL.

Se TAM é ALTO e MOD é ALTO, então o MA é IRREVERSÍVEL.

Se RN1 é INESGOTÁVEL_AI, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTÁVEL e MA é IRREVERSÍVEL, então GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

Ao se analisar os resultados, é possível afirmar que o método baseado no mapeamento difuso é mais preciso quando os dados são obtidos por especialistas de cada variável influenciada pela construção do empreendimento.

A Tabela 24 apresenta medidas para a redução de impactos ambientais através de projetos. Com o uso do método apresentado, detecta-se em qual elemento está ocorrendo um impacto ambiental mais grave e decide-se qual projeto é apropriado para minimizar este impacto.

Tabela 24: Programas de gestão ambiental para uma usina hidrelétrica

Programas	Projetos
Socioeconômico e cultural	Remanejamento e compensação da população atingida Reestruturação e revitalização das comunidades lindeiras Resgate e preservação do patrimônio histórico-cultural Resgate e preservação do patrimônio paisagístico Resgate e preservação do patrimônio arqueológico Adequação de infra-estrutura de serviços Educação ambiental
Hidrologia, climatologia e qualidade da água	Observação das condições hidrológicas Observação das condições climatológicas Monitoramento das condições limnológicas e da qualidade da água Monitoramento das macrófitas aquáticas Monitoramento e manejo da ictiofauna Monitoramento das condições hidrossedimentológicas Ações integradas de conservação do solo e da água
Geotecnologia	Monitoramento sísmológico Monitoramento da exploração dos recursos minerais Monitoramento dos aquíferos Monitoramento da estabilidade de taludes marginais
Meio Biótico	Manejo e salvamento de flora e fauna Reflorestamento Aplicação de recursos em unidades de conservação
Meio Físico	Limpeza da bacia de acumulação Gerenciamento e recomposição ambiental das áreas da obra
Gerencial	Gestão do reservatório Monitoramento e avaliação da implantação do PBA Comunicação social

Fonte: Sanchez, 2006, p.337.

5.4 APLICAÇÃO DO MAPEAMENTO COM AUXÍLIO DO MATLAB

Considerando uma região onde pode se construir uma usina hidrelétrica, é possível analisar o grau de impacto tendo as definições das variáveis lingüísticas. Se uma determinada área possui as seguintes características:

- *Solo*: Muito forte, quanto à fragilidade, e muito alta, quanto à cobertura vegetal, resultando, portanto, em um recurso natural definido como inesgotável;
- *Água*: Bom, com trechos de rio não muito poluído, sendo, assim, um recurso inesgotável com ação imediata;
- *Ar*: Com concentração de poluentes por volta do padrão primário, ou seja, de grau baixo, e turbulência ligeiramente instável. Conseqüentemente, o recurso é inesgotável;
- *Degradação do meio ambiente*: Devido aos fatores naturais, existe degradação, mas de nível baixo.

Através destas definições, construiu-se a proposição abaixo, sendo que os dados foram implementados no programa MATLAB, ilustrados na Figura 25, onde se observa que o grau de impacto é baixo.

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTÁVEL e MA é REVERSIVEL, então o GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

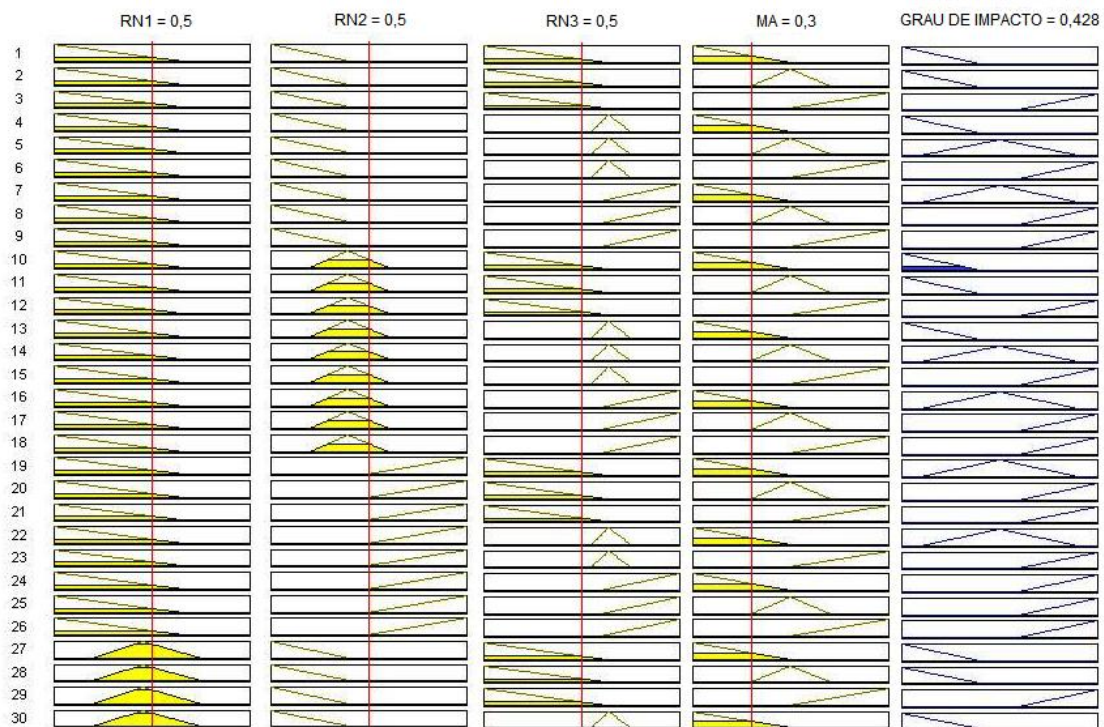


Figura 25: Grau de impacto sem a construção de uma usina hidrelétrica

Fonte: Dados primários

Supondo que é possível se construir tanto uma usina a fio d'água quanto com reservatório de acumulação nesta região, define-se o grau de degradação do meio ambiente para cada situação e observa-se o grau de impacto resultante em cada situação. Considerando a construção de uma usina de grande porte, cujo grau é muito alto, e que esta usina é de fio d'água, ou seja, de grau baixo, resulta na seguinte proposição condicional difusa:

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTÁVEL e MA é REVERSIVEL_AI, então o GRAU_DE_IMPACTO é BAIXO.

Em outras palavras, a degradação é reversível com ação imediata, portanto o grau de impacto é baixo, como pode ser observado na Figura 26. As ações que podem tornar o grau ainda menor são aquelas que diminuem a influência das outras variáveis. Um exemplo é o reflorestamento em áreas próximas do empreendimento.

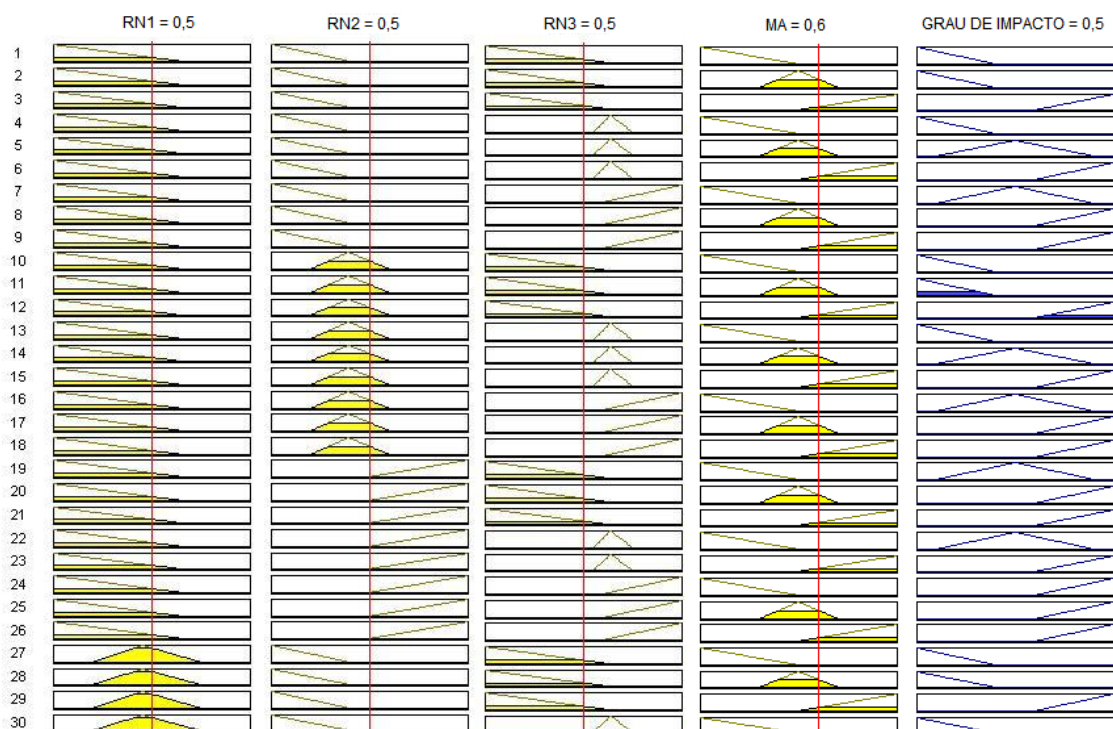


Figura 26: Grau de impacto com a construção de uma usina a fio d'água

Fonte: Dados primários

Ainda considerando uma usina de grande porte, mas com reservatório de acumulação, cujo modelo foi considerado de grau alto, tem-se que a degradação do meio ambiente é irreversível. Assim, define-se esta situação com a proposição abaixo:

Se RN1 é INESGOTÁVEL, RN2 é INESGOTÁVEL_AI, RN3 é INESGOTÁVEL e MA é IRREVERSIVEL, então o GRAU_DE_IMPACTO é ALTO.

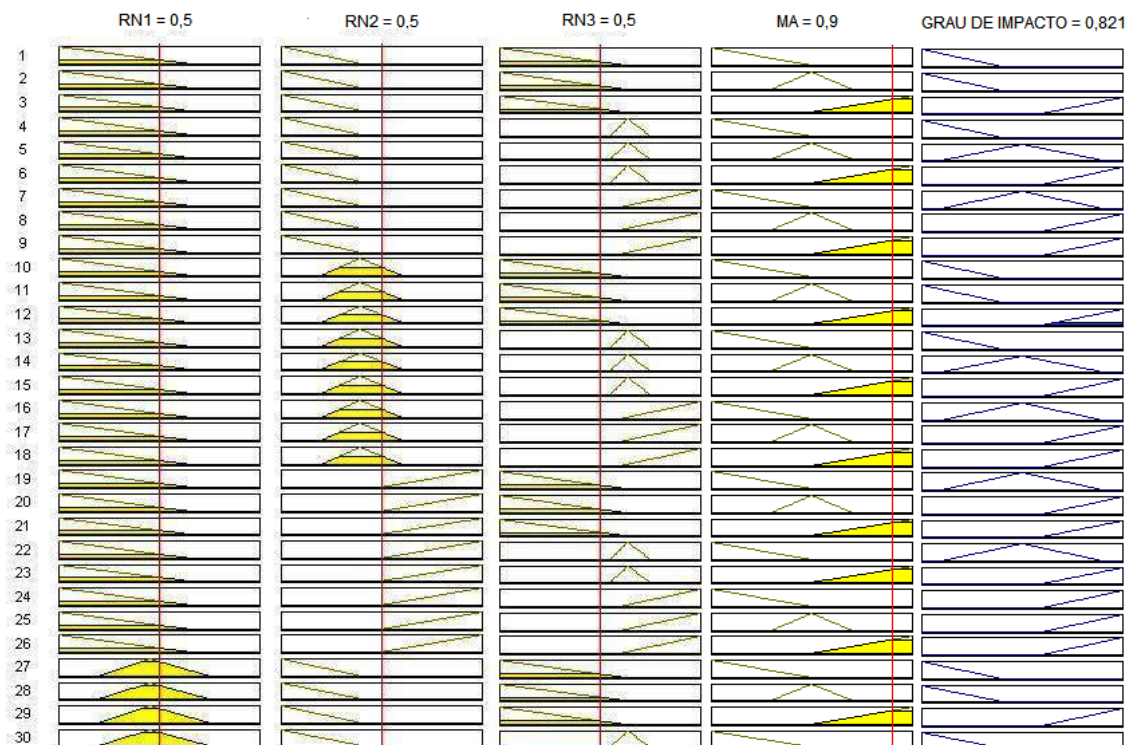


Figura 27: Grau de impacto com a construção de uma usina com reservatório de acumulação

Fonte: Dados primários

Como pode se observar na Figura 27, o valor numérico para o grau de impacto foi muito próximo do 1, que é o grau máximo. Logo, a escolha do modelo da usina influenciou na definição do grau de impacto. Assim, em um caso real, este método auxilia na tomada de decisão, uma vez que é possível observar qual variável deve sofrer ajustes para diminuir o grau de impacto.

Capítulo 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que o mapeamento difuso facilita a análise e define as tomadas de decisão para a minimização dos distúrbios sobre o meio ambiente, uma vez que é possível observar o grau de influência de cada parâmetro sobre o dano gerado. Sabendo-se um aspecto do projeto a ser modificado para reduzir um dano sobre determinado recurso natural, define-se melhor a aplicação de programas de gestão ambiental. Assim, o Mapeamento é um modelo eficaz para determinar a inter-relação entre cada recurso natural afetado e a influência sobre o grau de impacto ambiental.

Ressaltou-se, durante esta Dissertação, a importância do profissional especializado em cada elemento na definição dos elementos necessários para valorar o grau de impacto e os parâmetros que melhor definem um determinado recurso natural ou uma fase da construção de uma usina.

É possível finalizar afirmando que a lógica difusa é uma teoria que pode ser aplicada a várias áreas das ciências, já que possui fundamentos que aproximam os especialistas do método de avaliação de impacto, baseando-se em conhecimentos definidos qualitativamente. Conclui-se também que a implementação computacional de um mapeamento difuso pode ser futuramente aplicada, com o objetivo de facilitar o uso deste método em situações reais.

Como consequência da estrutura do modelo, é admissível acrescentar aspectos socioeconômicos como parâmetros de definição de impacto ambiental da construção de uma usina hidrelétrica. Do mesmo modo, podem ser feitos outros tipos de estudo de impacto ambiental, modificando apenas os elementos observados.

REFERÊNCIAS

- [1] ABSY, Miriam Laila; ASSUNÇÃO, Francisca Neta e FARIA, Sueli Correia de (coords, adapts). Versão de Paula Yone Stroh et al. **Avaliação de Impacto Ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995.
- [2] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2 ed. Disponível em: <http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas_2edicao/index.html>. Acesso em: 15 mai. 2007.
- [3] BARBALHO, Valéria Maria de Souza. **Sistemas baseados em conhecimento e lógica difusa para simulação do processo chuva-vazão**. 2001, 86 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=1310&Itemid=84>. Acesso em: 14 mai. 2007.
- [4] BARROS, Laécio Carvalho de. **Teoria Fuzzy x Biomatemática**. Campinas: IMECC-UNICAMP, 2002. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~tonelli/verao-fuzzy/laecio/minicurso3.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2007.
- [5] BASTOS, Anna Christina Saramago e ALMEIDA; Josimar Ribeiro de. Licenciamento Ambiental Brasileiro no contexto da Avaliação de Impactos Ambientais. In CUNHA, Sandra Baptista da e GUERRA, Antonio José Teixeira (orgs). **Avaliação e Perícia Ambiental**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.
- [6] BERMANN, Célio; VEIGA, José Roberto Campos da e ROCHA, Georges Souto. **A Repotenciação de Usinas Hidrelétricas como Alternativa para o Aumento da Oferta de Energia no Brasil com Proteção Ambiental**. Disponível em <<http://assets.panda.org/downloads/repotenciaouheportugues.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2007.
- [7] BRANCO, Samuel Murgel. **O meio ambiente em debate**. São Paulo: Moderna, 1988.
- [8] BRANDÃO, Simone Pereira et al. **Estudo de Impacto Ambiental do Loteamento Frei Orlando**. Anais X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Boa Viagem e Niterói, Rio de Janeiro, Brasil Disponível em <<http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.3/020/020.htm>>. Acesso em 18 set. 2008.
- [9] BRASIL. **Decreto Federal Nº 4340**, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, e dá outras providências.

- [10] _____. **Lei Federal Nº 6.803**, de 02 de julho de 1980. Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências.
- [11] _____. **Lei Federal Nº 6938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
- [12] _____. **Lei de Crimes Ambientais**. Lei Federal Nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
- [13] _____. **Lei Federal Nº 9985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III, e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, e dá outras providências.
- [14] CAUBET, Christian Guy. **A Água, A Lei, A Política... E o Meio Ambiente?**. 1ª ed. Curitiba: Juruá, 2006.
- [15] CASTRO, Cláudio Eduardo de. **O Caminho entre a Percepção, o Impacto no Solo e as Metodologias de Manejo: o estudo de Trilhas do Parque Estadual Turístico do Alto da Ribeira/SP**. 2004, 153 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.uel.br/document/? Code=vtls000100193>>. Acesso em: 08 ago. 2007.
- [16] CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- [17] CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 001**, de 23 de janeiro de 1986. Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.
- [18] _____. **Resolução Nº 003** de 28 de junho de 1990. Define os padrões de qualidade do ar.
- [19] _____. **Resolução Nº 006**, de 16 de setembro de 1987. Edita regras gerais para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, especialmente aquelas nas quais a União tem interesse relevante como a geração de energia elétrica, no intuito de harmonizar conceitos e linguagem entre os diversos intervenientes no processo.
- [20] _____. **Resolução Nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente.
- [21] _____. **Resolução Nº 371**, de 05 de Abril de 2006. Estabelece diretrizes aos órgãos ambientais para o cálculo,

cobrança, aplicação, aprovação e controle de gastos de recursos advindos de compensação ambiental.

- [22] CRUZ CASTRO, H. e FABRIZY, N. L. P. 1995. Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo. **Revista Brasileira de Energia**. Vol. 4, N° 1. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/v4n1/v4n1t1.htm>>. Acesso em: 30 set. 2007.
- [23] CUNHA, Sandra Baptista da e GUERRA, Antonio José Teixeira (orgs). **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- [24] CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia Fluvial. In CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (orgs). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.
- [25] ECOLÓGICA. **Padrões de Qualidade do Ar**. Disponível em: < [http : // www.ecologica.com.br/ecologica/qar_avaliao_padres.php](http://www.ecologica.com.br/ecologica/qar_avaliao_padres.php)>. Acesso em 27 jul. 2009.
- [26] ELETROBRÁS. Tipos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. In: **Diretrizes para Projetos de PCH**. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufu.br/siteatual/laboratorios/nerfae/pch/cap2.PDF>>. Acesso em: 20 ago. 2007.
- [27] FACURI, Micheline Ferreira. **A Implantação de Usinas Hidrelétricas e o Processo de Licenciamento Ambiental: A importância da articulação entre os Setores Elétrico e de Meio Ambiente no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá. 2004, 88 f. Disponível em: <<http://www.prppg.unifei.edu.br/ene/dissertacoes.html>>. Acesso em: 15 jul. 2008.
- [28] FELLEBERG, Günter. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. Tradução Juirgen Heinrich Maar. Revisão Técnica de Claudio Gilberto Froenrich. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária LTDA (EPU), 1980.
- [29] FLORIANO, Eduardo Pagel. **Metodologia para avaliação de impactos ambientais na eucaliptocultura para fabricação de celulose**. Santa Rosa: ANORGS, 2004. Disponível em: <http://ambienteinteiro.org.br/livros/metodologia_deaia.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2008.
- [30] FIGUEIREDO, Luiz Fernando Gonçalves de et al. **Cadastro técnico ambiental, sistemas de informação geográfica e lógica fuzzy: ferramentas conjugadas para a gestão ambiental**. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac98/123/123.HTM>>. Acesso em: 08 mai. 2009.
- [31] GIOVANNI, José Ruy; BONJORNO, José Roberto. **Matemática: Uma nova abordagem**. São Paulo: FTD, 2000. p. 123-151, vol 1.
- [32] GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; GOMES, Carlos Francisco Simões e ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. 2 ed. São Paulo: Altas, 2006.

- [33] HINRICHS, Roger A; KLEINBACH, Merlin. **Energia e Meio Ambiente.** Tradução de *Energy: its use and the enviroment*. 3 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- [34] JANNUZZI, Paulo de Martino. **Construção de indicadores e mapas de pobreza e riqueza nos municípios brasileiros.** Brasília, Outubro de 2005. Disponível em: <<http://www.unb.br/ie/est/noticias/unb-ind-amd3.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2008.
- [35] KIPERSTOK, Asher et al. **Prevenção de Poluição.** Brasília, DF: SENAI/DN, 2002.
- [36] KLING. **Aplicação do Método Battelle na avaliação do impacto ambiental na Bacia Hidrográfica do rio Piabanha.** Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. 2005, 121 f. Disponível em: <<http://bvssp.icict.fiocruz.br/lildbi/docsonline/2/1/712-klingasmm.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2008.
- [37] KLIR, G e YUAN, B. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications.** USA: Prentice Hall, 1995.
- [38] LA ROVERE, Emilio Lebre. **Instrumentos de Planejamento e Gestão Ambiental para a Amazônia, Cerrado e Pantanal - Demandas e Propostas: Metodologia de Avaliação de Impacto Ambiental.** Brasília: IBAMA, 2001. (Série Meio Ambiente em debate; 37).
- [39] LAMBERT-TORRES, Germano; SILVA, Luiz Eduardo Borges da. **Introdução aos Sistemas Inteligentes: Conjuntos Difusos.** Disponibilizado durante o curso.
- [40] LIMA, André Luís. **Impactos Ambientais associados à usina hidrelétrica de Três Irmãos: o fenômeno de ação e reação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. 2003, 100f. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000329474>>. Acesso em: 15 abril. 2008.
- [41] LIMA FILHO, J. A; BRAGA, R.M.Q.L. **Uma Avaliação de Impacto Ambiental na Alça Viária Belém/PA, utilizando o Método de Matriz de Interação (Leopold).** Disponível em: <<http://www.usp.br/siicusp/15Siicusp/5030.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2008.
- [42] LÓGICA DIFUSA. **Revista Eletrônica Filosofia e Idéias – Interfilosofia.** Disponível em: <<http://www.geocities.com/Athens/4539/fuzzy.html>>. Acesso em: 24 mai. 2007.
- [43] LÓGICA DIFUSA E APLICAÇÕES PRÁTICAS. Disponível em: <http://www.dei.unicap.br/~almir/seminarios/99.1/Logica_Difusa/index.htm>. Acesso em: 08 mai. 2007.
- [44] LÓGICA FUZZY. Disponível em: <http://www.cin.ufpe.br/~compint/aulas-IAS/agentes/ai-002/fuzzy_fum.ppt>. Acesso em: 5 mai. 2007.

- [45] MAGRINI, Alessandra. A avaliação de impactos ambientais. In MARGULIS, Sergio (org.). **Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos**. Rio de Janeiro: IPEA; Brasília, DF: IPEA/PNUD, 1990.
- [46] MARSAIOLI, Luis Edouard; MERA, Michel Claude Monteiro. **Impacto Ambiental das Barragens Hidrelétricas**. Disponível em: <<http://be310.sites.uol.com.br/index.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2007.
- [47] MEDEIROS, Sandro. **Método para análise de projetos em Unidades de Conservação (UC), usando Lógica Fuzzy**. 2003, 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/11322.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2007.
- [48] MEIRELLES, Margareth Simões Penello. **Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica fuzzy**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2259-2266. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.21.19/doc/2259.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2007.
- [49] MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de et al. **Conceitos Básicos do Apoio Multicritério à Decisão e sua aplicação no projeto aerodesign**. Disponível em: <<http://www.uff.br/decisao/ENGEVISTA.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2008.
- [50] MINICURSO FUZZY. Disponível em: <[http://www.fag.edu.br/professores/suzan/Intelig%EAncia%20Artificial/Minicurso%20\(Fuzzy\).doc](http://www.fag.edu.br/professores/suzan/Intelig%EAncia%20Artificial/Minicurso%20(Fuzzy).doc)>. Acesso em: 05 mai. 2007.
- [51] MIRRA, Álvaro Luiz Valery. **Ação Civil Pública e a Reparação do Dano ao Meio Ambiente**. 2ª ed. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2004.
- [52] MÜLLER-PLATENBERG, Clarita; AB'SABER, Aziz Nacib (orgs). **Previsão de Impactos**. 2 ed. São Paulo: EDUSP, 2006.
- [53] NICOLETTI, Maria do Carmo; CAMARGO, Heloisa de Arruda. **Fundamentos da Teoria de Conjuntos Fuzzy**. São Carlos: EdUFSCar, 2004. (Série Apontamentos)
- [54] OLIVEIRA JÚNIOR, Hime Aguiar e. **Lógica Difusa: aspectos práticos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.
- [55] PALMIERI, Francesco; LARACH, Jorge Olmos Iturri. Pedologia e Geomorfologia. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (orgs). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- [56] PAULA, Eder Mileno Silva de; SOUZA, Marcos José Nogueira de. **Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental**. Anais XIII Simpósio

Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2979-2984. Disponível em: <[http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.11.57/doc/2979-2984 .pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.11.57/doc/2979-2984.pdf)>. Acesso em: 25 jun. 2007.

- [57] PHILIPPI JR et al (edit). **Curso de Gestão Ambiental**. São Paulo: Manole, 2004.
- [58] REIS, Lineu Bélico dos; FADIGAS, Eliane A. Amaral; CARVALHO, Cláudio Elias. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. Barueri: Manole, 2005.
- [59] ROSS, T.J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. New York: McGraw-Hill International Edition 1995.
- [60] ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: USP, 1994. p. 63-74.
- [61] RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. Tradução de *Artificial Intelligence*. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.
- [62] SAATY, Thomas L. **Método de análise hierárquica**. Tradução e revisão técnica Wainer da Silveira Silva. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.
- [63] SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- [64] SANTEC Resíduos. **Classe de resíduos a receber**. Disponível em: <<http://www.santecresiduos.com.br/classe.php>>. Acesso em: 15 set. 2007.
- [65] SHAW, Ian S; SIMÕES, Marcelo Godoy. **Controle e Modelagem Fuzzy**, 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1999.
- [66] SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL: PROCEDIMENTOS. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/sga/Tenuta.ppt>>. Acesso em: 05 set. 2007.
- [67] SOUSA, Wanderley Lemgruber de. **Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens**. 2000, 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/wlemgruber.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2007.
- [68] SOUZA, Nelson de. **Controladores Lógicos Difusos: Uma Alternativa para o Controle de Processos Industriais Críticos**. 2000, 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Especialidade em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção.
- [69] SPADOTTO, C. A. **Classificação de Impacto Ambiental**. Comitê de Meio Ambiente, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2002. Disponível

em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/herbicidas/download/classif.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2007.

- [70] STAMM, Hugo Roger. **Método para Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) em Projetos de Grande Porte: Estudo de Caso de uma Usina Termelétrica.** 2003, 284 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/3732.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2007.
- [71] TAU-K-TORNISULO, Sâmia Maria; GOBBI, Nivar; FOWLER, Harold Gordon (orgs). **Análise Ambiental: Uma visão multidisciplinar.** 2 ed. São Paulo: UNESP, 1995.
- [72] TERMO DE REFERÊNCIA PARA A ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL E O RESPECTIVO RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL – USINA HIDRELÉTRICA TIJUCO ALTO Disponível em: <<http://www.cnec.com.br/projetos/tijucoalto/TermosReferencia/IBAMA.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2007.
- [73] TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Geração de Energia Elétrica no Brasil.** Rio de Janeiro: Interciência, 2005.
- [74] TORRES FILHO, Antonio Carlos; MILTON, Raul. **Lógica Fuzzy: abordagem conceitual, perspectivas e aplicações.** Disponível em: <<http://gaudi.dcc.ufba.br/bin/viewfile/MAT054/SemestreArtigos20061?rev=1.1;filename=LGICAFUZZY.doc>>. Acesso em: 25 jul. 2007.
- [75] WEBER, Leo; KLEIN, Pedro Antonio Trierweiler. **Aplicação da Lógica Fuzzy em Software e Hardware.** Canoas: Ed. ULBRA, 2003.
- [76] YOSHIZAWA, Cesar Jhojy; SALVADORI, Giovani; MATOS JÚNIOR, Newton José M. **Fuzzy.** Disponível em: <<http://www.geocities.com/logicas2000/Fuzzy.htm>>. Acesso em: 12 mai. 2007.
- [77] ZADEH. L.A. Fuzzy Sets. **Information and Control.** n. 8 p. 338 – 353. 1965. Disponível em: <<http://www-bisc.cs.berkeley.edu/zadeh/papers/Fuzzy%20Sets-1965.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2007.
- [78] ZADEH, L. A. The Concept of a Linguistic Variable and its Applications to Approximate Reasoning. **Information Sciences,** n. 8, 1975. Disponível em: <<http://www.bisc.cs.berkeley.edu/zadeh/papers/The%20Concept%20of%20a%20Linguistic%20Variable%20and%20its%20Applications%20to%20Approximate%20Reasoning%20I-1975.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2007.