

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MATEUS MESQUITA DE PAULA ALVES NUNES

**MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: A LÓGICA
FUZZY COMO FERRAMENTA PARA TOMADA DE DECISÕES**

LONDRINA – PARANÁ

SETEMBRO DE 2013

MATEUS MESQUITA DE PAULA ALVES NUNES

**MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: A LÓGICA
FUZZY COMO FERRAMENTA PARA TOMADA DE DECISÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao
Curso Superior de Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Campus Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp

LONDRINA

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: A LÓGICA FUZZY
COMO FERRAMENTA PARA TOMADA DE DECISÕES**

por

Mateus Mesquita de Paula Alves Nunes

Monografia apresentada no dia 13 de Setembro ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
(UTFPR)

Prof. MsC. Marco Antônio Ferreira
(UTFPR)

Profa. Dra. Marcelo Eduardo Freres Stipp
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. MEIO AMBIENTE	9
2.2. FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	10
2.3. IMPACTOS AMBIENTAIS	12
2.4. LÓGICA FUZZY E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	14
3. METODOLOGIA	18
3.1. LEVANTAMENTO DE DADOS	19
3.2. ANÁLISE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL	19
3.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS	24
4. ANÁLISES E RESULTADOS	33
4.1. LOCAL DE ESTUDO.....	33
4.2. ANÁLISE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL	35
4.3. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS	37
5. CONCLUSÃO	52

Lista de figuras

Figura 1: Processo de análise de dados por lógica fuzzy. Fonte: Rodrigues et al. (2013)	16
Figura 2: Processo de decisão de Markov. Fonte: Pellegrini e Wainer (2007).	17
Figura 3 - Gráficos de funções de avaliação representativas p x v. (I) decrescentes e (II) crescentes.	26
Figura 4: Gráfico representativo da equação de intensidade. Fonte: Autor.	27
Figura 5: Gráfico representativo da função de extensão. Fonte: Autor.	28
Figura 6: Gráfico correspondente a função de persistência. Fonte: Autor.	28
Figura 7: Perfil florístico do fundo de vale dos tucanos. Fonte: Autor.	34
Figura 8: Córrego dos tucanos. Fonte: Autor.	35
Figura 9: Impacto causado por incêndio ambiental no fundo de vale do córrego dos tucanos.	38
Figura 10: Resíduo eletrônico queimado em incêndio. Fonte: Autor.	39
Figura 11: Extensão parcial atingida pelo incêndio. Fonte: Autor.	40
Figura 12: Amarelinho (<i>Tecoma stans</i>), espécie invasora. Fonte: Autor.	42
Figura 13: Desacampado observado no fundo de vale do córrego dos tucanos. Fonte: Autor.	43
Figura 14: Resíduos encontrados no local. Fonte: Autor.	45
Figura 15: Comparação entre área severamente alterada e fragmento que ainda apresenta algumas de suas características naturais. Fonte: Autor.	46
Figura 16: Cerca de proteção no entorno do fundo de vale. Fonte: Autor.	48

Lista de Tabelas

Tabela 1: Características de fragilidade ambiental frente ao relevo.....	10
Tabela 2: Amplitude dos indicadores de fatores ambientais para a atribuição de valores quantitativos.	24
Tabela 3: Definição dos níveis de importância e seu valor correspondente	31
Tabela 4: Nível de impacto associado ao valor obtido do estimador pontual de impacto.	32
Tabela 5: Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1,2,3$, do impacto Incêndio ambiental.	41
Tabela 6: Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1,2,3$, do impacto diminuição de ocorrência de espécies nativas.	42
Tabela 7 Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1,2,3$, do impacto perda de cobertura vegetal.....	44
Tabela 8 Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1,2,3$, do impacto aparecimento de vetores.	45
Tabela 9 Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1,2,3$, do impacto deterioração da paisagem natural.	47
Tabela 10 Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1,2,3$, do impacto Compactação do solo.....	48
Tabela 11: Compilação e tratamento dos dados para a obtenção do valor de cada impacto individual.	49
Tabela 12: Hierarquização dos impactos de acordo com opinião do quadro de especialistas.	50
Tabela 13: Estimação do valor total de impacto (VT) através da contribuição individual de cada impacto (V).....	50
Tabela 14: Valores dos limites do numero fuzzy VT	51

Resumo

NUNES, Mateus Mesquita de Paula Alves. Métodos para avaliação de impactos ambientais: a lógica fuzzy como ferramenta para tomada de decisões. 2013. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

Em função do rápido crescimento socioeconômico mundial e principalmente no Brasil nós observamos como consequência diversos impactos ambientais causados por essas atividade, se fazendo necessário a sua avaliação para a mitigação desses impactos, sendo que uma forma de avaliação que vem sendo estudada é através de conceitos de lógica fuzzy como ferramenta de análise. Portanto esse trabalho estudou a aplicação de uma metodologia adaptada para avaliação de impactos ambientais utilizando a lógica fuzzy como ferramenta, buscando auxiliar na tomada de decisão por parte de pesquisadores e partes interessadas a fim de lidar com a inerente incerteza do processo de levantamento de dados e análise. A metodologia se fundamentou em etapas de levantamentos de dados, fuzzificação, análise fuzzy, desfuzzificação e análise final, baseado em modelo proposto por Peche e Rodrigues (2009). Foi estudado a vulnerabilidade ambiental e feita a avaliação de impactos ambientais no Fundo de vale do córrego dos tucanos, localizado na zona sul do distrito sede de Londrina/PR, onde se observou um local com média vulnerabilidade e severamente impactado com um índice encontrado médio-alto. Obteve-se resultados satisfatórios e observou-se que esse trabalho pode servir como base para futuros estudos, desde que ampliado o escopo de aplicação.

Palavras-chave: Avaliação de impactos, Impactos ambientais, Lógica Fuzzy.

Abstract

NUNES, Mateus Mesquita de Paula Alves. Methods for assessment of environmental impacts: Fuzzy logic as a tool for decision making. 2013. 59p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

Due to the rapid socioeconomic growth worldwide, especially in Brazil, we observe as a result, various environmental impacts caused by such activity, making a necessity its assessment to mitigate these impacts, and a form of evaluation that has been studied lately is through concepts of fuzzy logic as a tool of analysis. Therefore this study investigated the application of a adapted methodology of environmental impact assessment using fuzzy logic as a tool, seeking to help in decision making of researchers and stakeholders in order to deal with the inherent uncertainty of the process of data collection and analysis. The methodology was based on several stages, consisting of: data gathering, fuzzification, fuzzy analysis, desfuzzificação and final analysis, based on the model proposed by Peche and Rodrigues (2009). It was studied environmental vulnerability and made the evaluation of environmental impacts in the valley of the stream of toucans, located in the south of the main district of Londrina / PR, where there were found that the studied place, was with medium vulnerability and it was severely impacted with an found index of mid-high. There was obtained satisfactory results that showed that this work can serve as a basis for further studies, as long as there is a extended application scope.

Keywords: Impact Assesment, Environmental Impact, Fuzzy Logic.

1. Introdução

E notório o destaque do Brasil entre os países em desenvolvimento, devido à intensificação dos programas para crescimento socioeconômico. Esse crescimento acarretou inúmeras ações e alterações, que poderão gerar efeitos negativos ao meio ambiente, que vem ao embate da principal problemática global, pois apesar de gerar uma melhor qualidade de vida para a população se realizada de maneira desordenada pode vir a surgir agravantes irreversíveis.

E sabido as consequências do pós revolução industrial (1745-1800), tomada como ponto de grande importância da recente história da humanidade, onde se começou a moldar diversos aspectos da sociedade moderna, notavelmente a produção em grande escala de bens de consumo e a automatização do processo de produção.

Tema de varias Conferências internacionais, a ação antrópica vem sendo apontada como a principal forma de geração de inúmeros impactos ao meio ambiente. Podemos destacar o primeiro Fórum Mundial sobre Mudanças Climáticas, ocorrido no ano 1972, onde a temática das mudanças climáticas causadas pelo expansionismo humano foi discutida como um problema mundial pela primeira vez, sendo também alvo de diversos fóruns ocorridos após essa data, entre eles a ECO-92, realizada no Rio de Janeiro (1992), a conferência de Kyoto (1997), e a recriação da ECO-92 nas conferências Rio + 10 (2002) e Rio + 20 (2012).

Um dos destaques da ECO-92 foi a criação da Agenda 21, que definiu as diretrizes para os países membros, entre as principais medidas destacam-se redução de emissões e sobre as principais atividades impactantes, demonstrando a preocupação em nível global com os impactos ambientais de origem antrópica e as suas consequências, como as alterações climáticas globais.

Uma das repercussões da cúpula mundial sobre as mudanças climáticas foi a elaboração do relatório de Brundtland (1987), que discute, entre outros temas, a problemática ambiental e a sua crescente importância dentro da sociedade moderna, e destaca que, a partir da década de 50 alguns países o nível de crescimento e desenvolvimento teve um significativo aumento na qualidade de vida, no entanto, muitos dos produtos e tecnologias que foram implantados para esta melhoria são grandes consumidores de matérias-primas e de energia, o que implica em uma quantidade substancial de poluição.

Hoje o impacto sobre o meio ambiente é maior de toda a história humana, demonstrando a necessidade de tomada de medidas de contenção e mitigatórias, buscando eliminar e reduzir ao máximo os efeitos das atividades antrópicas ao meio ambiente, mas para isso é necessário que os mesmos sejam identificados e avaliados de forma coerente.

A implantação de projetos ambientalmente conscientes que levem em conta a totalidade dos impactos, ou seja, se preocupem não somente com a metodologia clássica naturalista de análise de impactos que apenas contabiliza a causa e impacto, mas consiga analisar de forma coerente as interações entre os fatores envolvidos, além de outras características relevantes como o tempo, se aproximando o máximo possível de situações reais, é de grande importância e segue uma tendência mundial que visa o estudo dessa integração de fatores como uma forma de beneficiar a população em geral, muitas vezes pela identificação de alguns impactos que antes passavam despercebidos.

Em um contexto mais local, o município de Londrina, assim como muitos municípios brasileiros, apresenta diversas situações em que análises mais convencionais podem não retratar de forma fiel o problema, devido a sua complexidade e a presença de fatores intrínsecos muitas vezes ignorados, principalmente aqueles relacionados ao comportamento dinâmico das populações vizinhas, sendo os impactos indiretos e os de longo prazo muitas vezes de difícil percepção e análise.

O principal problema é a falta de dados concretos, pois, muitas vezes, o problema simplesmente não pode ser abordado adequadamente de forma quantitativa, como o impacto social, ou a aceitação social mediante a um estressor ambiental, sendo, portanto, necessário uma abordagem mais indireta desse problema, permitindo se trabalhar com dados imprecisos, sendo uma metodologia que vem sendo muito utilizada nos últimos anos, com aplicação em diversas áreas do conhecimento, a lógica fuzzy, devido a sua capacidade em trabalhar com um determinado grau de incerteza, que fica a cargo do pesquisador.

Esse trabalho teve, portanto, como objetivo principal discutir a aplicação de metodologia de abordagem matemática para avaliação de impactos ambientais em áreas que apresentem potencial fragilidade ambiental, adaptando os parâmetros levantados para lógica Fuzzy.

Durante sua execução também se buscou estudar a fragilidade ambiental das áreas estudadas de forma a se definir parâmetros de estudo e análise e por fim, aplicar

metodologia baseada no uso da lógica Fuzzy para Análise dos Impactos Ambientais buscando criar uma ferramenta para o auxílio à tomada de decisão.

O principal motivo para a realização desse trabalho é o fato de que, em modelos de Avaliação de impactos ambientais, a definição dos atributos representativos de cada impacto está sujeita a análise por parte do pesquisador e pode variar significativamente, sendo, portanto muitas vezes imprecisas. A análise mais aprofundada do tema, baseada em experiências de campo e trabalhos comprovadamente de cunho científico, tem como função a definição de parâmetros com maior nível de confiança e nortear a criação de ferramentas para auxiliar na tomada de decisão de parâmetros de projeto, no que se refere a impactos ambientais causados pela execução do mesmo.

Nesse sentido, é importante destacar a imprecisão e a subjetividade como dois dos maiores problemas atuais de avaliação de impactos ambientais, visto que, não há no Brasil metodologia padronizada para a sua realização, ocasionando, muitas vezes, representações incompletas e imprecisas da situação estudada, possibilitando a distorção da realidade em função de um resultado mais favorável.

Ao invés de se buscar resultados mais precisos, é necessário buscar um método que lide com a incerteza inerente aos dados ambientais, muitos deles altamente subjetivos, e que trabalhe esses dados carregando a incerteza durante a análise, como no caso da lógica fuzzy, que utiliza um intervalo de confiança.

Portanto é de grande importância científica o refinamento dos métodos sempre buscando a melhoria na qualidade dos dados obtidos e um maior grau de confiança nos resultados, sem que, no entanto, o processo se torne complexo demais, exigindo grandes quantidades de recursos.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Meio Ambiente

Meio ambiente é um conceito abrangente e de difícil definição, que para Sanchez (2005) é um termo amplo, multifacetado e maleável, sendo assim o centro de muitas discussões e controvérsias que, no entanto, em situações práticas acaba sendo definido de acordo com o seu campo de aplicação, por vezes sendo delimitado pela legislação de país, a fim de nortear os estudos e deliberações que tratem do assunto para evitar ambiguidades e equívocos.

No Brasil, por exemplo, temos a lei 6.938 de 31 de agosto de 1981 no sentido de nortear o conceito de meio ambiente, definindo-o como “[...] 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;”.

Alguns autores, no entanto, apresentaram suas próprias definições desse conceito, como, por exemplo:

Considera-se Meio Ambiente o conjunto de elementos constituído pelas águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, subsolo, ar, flora fauna e comunidades humanas e seus inter-relacionamentos. Assim, ele pode ser pensado como a união de três subconjuntos: o Meio Físico composto pelas águas, solo e ar, o Meio Biótico composto pela flora e fauna e o Meio Antrópico composto pelos seres humanos e seus relacionamentos entre si e como os demais elementos. (FOGLIATI, FILIPPO e GOUDARD, 2004)

Esse conceito, no entanto, pode variar de acordo com o país ou com o pesquisador, sofrendo pequenas interações, mas como constatado por Sanchez (2005) oscila basicamente entre dois polos, o de meio ambiente como meio de vida e o polo de fornecedor de recursos. Na concepção de trabalhos é importante delimitar de forma clara qual a abrangência do termo “meio ambiente” para evitar equívocos durante o processo de aplicação e principalmente durante a análise.

2.2. Fragilidade Ambiental

Em se tratando das condições ambientais, diversos autores buscaram criar metodologias e classificação a fim de estabelecer um parâmetro de comparação e estudo do meio ambiente e seus impactos, entre os mais proeminentes está Tricart, que discorre sobre a estabilidade do equilíbrio dinâmico do ambiente natural, Ross (1993), Kvaerner (2006) e Toro et al. (2009) que estudam a fragilidade de ambientais naturais e antropizados.

Dentro desse contexto, principalmente no sentido da potencialidade de alteração de suas condições naturais, é de grande importância levar em conta a fragilidade ou vulnerabilidade do meio frente aos diversos estressores aos quais este possa estar submetido.

Segundo Kvaerner et al. (2006), a utilização o conceito de vulnerabilidade é o mais adequado para análises descrição e considerações espaciais de grande porte, sendo esse conceito particularmente útil nas fases iniciais da AIA quando as alternativas são concebidos e rastreadas.

No entanto sua aplicação não está restrita apenas a grandes projetos, dependendo apenas da cuidadosa preparação da análise e definição do escopo de trabalho de trabalho, onde, como observado por Ross (1993) estudos integrados de determinados territórios se pressupõem um determinado entendimento da dinâmica do ambiente natural, que em seu estado não antropizado, salvo algumas regiões do planeta, se consideram em equilíbrio, propondo uma metodologia classificatória do meio estudado em função de sua fragilidade ambiental.

Tabela 1: Características de fragilidade ambiental frente ao relevo.

Categorias Hierárquicas	
Muito Fraca	até 6%
Fraca	de 6 a 12%
Média	de 12 a 20%
Forte	de 20 a 30%
Muito Forte	acima de 30%

Fonte: Ross (1993).

De acordo com a classificação proposta por Ross (1993), seguindo anos de pesquisas sobre as características ambientalmente relevantes dos tipos de solo, os tipos de solo podem ser agrupados, de acordo com a sua classe de fragilidade.

No entanto, além de suas características ambientais, o meio, como um sistema aberto e em constante interação com o seu entorno este sofre influencia de outros aspectos de onde está inserido, sendo que, em ambientes urbanos é quase impossível desatar os fatores ambientais de fatores socioeconômicos.

Portanto, Toro et al. (2012), destaca que além da vulnerabilidade geral ou vulnerabilidade biofísica, há também a vulnerabilidade social, que está relacionada com as características e experiências de comunidades e pessoas que devem responder e se recuperar dos riscos ambientais ou estressores a que estão expostos. Para definir a relação entre o componente impactado e o seu estressor é de grande importância que se estabeleça uma metodologia de avaliação dessa vulnerabilidade que se adeque ao escopo do estudo e que a represente de maneira significativa dentro do contexto em que está inserida.

“Em geral, a avaliação da vulnerabilidade é o mais adequado para uma visão em malha grossa de uma paisagem ambiental, com base em elementos da paisagem e influência de fatores extrínsecos concretos.” (KVAERNER et al., 2006)

Portanto é importante se adotar indicadores que se associem a fatores ambientais além de visitas diretas ao campo para se avaliar de maneira indireta, porém satisfatória, a vulnerabilidade ambiental.

A ciência da sustentabilidade, na concepção de Turner (2010), examina as relações entre os serviços ambientais e despechos humanos, em parte para descobrir as qualidades que fazem o menos vulneráveis ou mais resistentes à multiplicidade de forças (ou seja, distúrbios, estressores, perturbações), agindo sobre eles.

Sendo assim, é de grande importância, dentro de uma avaliação de vulnerabilidade ambiental, o conhecimento dos estressores e possíveis causadores de distúrbios e perturbações no equilíbrio pressuposto, afim de determinar qual a sua

vulnerabilidade a mudanças e qual o desfecho de tal ação, pois não necessariamente uma alteração no meio é negativa.

2.3. Impactos Ambientais

Dentro do contexto de meio ambiente apresentado anteriormente, Fogliati, Filippo e Goudard (2004), definem que Impacto ambiental é, como descrito no CONAMA 001/86, Art. 1º. “[...]qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do meio ambiente, provocada direta ou indiretamente por atividades humanas podendo afetar a saúde, a segurança e/ou a qualidade dos recursos naturais”.

Em seu livro, Guerra e Cunha (2010) descrevem impactos ambientais como mudanças de relações ecológicas e sociais que, por não serem evidentes, precisam ser interrogados incessantemente, através de métodos ou técnicas que buscam identificar esses impactos, dando o caminho através de um conjunto de possibilidades e um conjunto de limitações. Esse processo metodológico de identificação desses impactos se denomina Avaliação de impactos Ambientais ou AIA.

“AIA é uma ferramenta que envolve a síntese interdisciplinar a um nível elevado de agregação. Para funcionar em tal contexto, um conceito de vulnerabilidade geral deve ser dado um enquadramento adequado. Para ser útil nas fases iniciais do EIA, um tal conceito de vulnerabilidade deve ser adequado para análise da área Descrições e diferentes disciplinas.” (KVAERNER ET AL., 2006).

Segundo Jay et al. (2007) o processo de AIA é a avaliação dos efeitos que podem surgir a partir de um grande projeto (ou outra ação) que impactem significativamente o ambiente. É um processo sistemático para considerar possíveis impactos antes de ser tomada uma decisão sobre se ou não uma proposta deve ser aprovada para prosseguir. No entanto Wood (2008) destaca que AIA é, caracteristicamente, um sistema contraditório em que a responsabilidade final pela prestação de informações "apropriado" ambiental cabe ao proponente do projeto, que,

portanto, exerce um controle considerável sobre a análise fornecida para o processo de tomada de decisão.

A definição de Cashmore (2004) para AIA é de que, esta é uma ferramenta de decisão empregada para identificar e avaliar as prováveis consequências ambientais de determinadas propostas ações de desenvolvimento sendo que “[...] o objetivo mais imediato da AIA, diretamente resultantes destas funções, é fornecer aos tomadores de decisão uma indicação das prováveis consequências ambientais de suas ações.” (JAY et al., 2007).

“As atividades humanas, evidentemente, tem um efeito importante sobre o meio ambiente. O significado de um impacto ambiental depende em grande parte da distribuição espacial dos efeitos da ação, bem como os fatores ambientais afetados. Um fator ambiental na AIA é qualquer elemento ambiental ou componente que pode ser potencialmente afetado, positiva ou negativamente, por um projeto ou atividade.” (TORO et al., 2012)

Ainda segundo Cashmore (2004), o processo de avaliação de impactos ambientais é visto no paradigma da ciência aplicada como um processo em que o conhecimento científico e experiência são postos à aplicação prática, sendo que Wood (2008) relata o seu modelo científico clássico de AIA é baseado em tradições filosóficas convencionais que veem a ciência como um processo inteiramente racional de investigação objetiva, sendo que, dentro desse processo, o estudo da significância dos fatores envolvidos é uma atividade inerentemente dinâmica, com a natureza de importância evoluindo através do processo de AIA.

Para Kvaerner et al. (2006), no processo de AIA tradicional, um conjunto restrito ou tendencioso de alternativas nos primeiros estágios pode causar o mesmo a falhar como uma ferramenta para ajudar os tomadores de decisão a encontrar a melhor alternativa, e a participação pública geralmente ocorre muito tarde no processo de influenciar significativamente o desenho de alternativas.

Os primeiros estudos ambientais preparados no Brasil, de acordo com Sanchez (2011), surgiram na década de 1970, foram realizados para a implantação de alguns

projetos hidrelétricos, como reflexo da pressão externa, sendo, em 1981, a avaliação de impactos ambientais incluída como um instrumento para atingir os objetivos da Política Nacional do Meio ambiente, instituída pela lei federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981.

No sistema da AIA é de grande importância considerar o processo como um todo e a interação entre as partes envolvidas, pois como Hundloe, (1990) destaca, muitas vezes, um estado valorado do meio ambiente não pode ser negativa ou positivamente mudado até que uma série sequencial, mas não valorada, de mudanças ocorram. Por exemplo, o aumento de superfície impermeável (uma ação causal) pode produzir uma série de eventos que desencadeará um processo de erosão laminar, ainda apontando que é possível que os efeitos adversos ou benéficos de um projeto possam ser irrelevantes, mas, por outro lado, pode ser que se outro desenvolvimento fosse ocorrer no mesmo local, ou impactar de alguma maneira sobre o mesmo ecossistema, os impactos totais dos dois (ou até mesmo projetos adicionais) possam passar a serem significativos, portanto identificando a necessidade de uma análise mais profunda quando se trata de AIA.

Um método que, segundo Tommasi (1994), é um dos melhores para avaliação de impactos ambientais, principalmente devido a sua capacidade preditiva e a capacidade de se trabalhar com grande quantidade de dados e relacionar fatores de maneira linear ou não-linear é o método de modelos computacionais que no entanto exige grande quantidade de tempo e capacitação em comparação a metodologias mais usuais como a do checklist, além de dados precisos para que a análise tenha uma confiabilidade adequada.

Portanto, Oliveira e Medeiros (2007) ressaltam ainda que além de apontar os impactos imediatos decorrentes da instalação de um projeto, devem ser apontados também impactos prováveis de ocorrer, para que então, o empreendedor possa corrigir ou evitar a consumação do impacto.

2.4. Lógica Fuzzy e Avaliação de Impactos Ambientais

Pode se dizer que grande parte a lógica ocidental está baseada no modelo da lógica de Aristóteles onde se segue uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões, causa e efeito. Desde então o processo de tomada de decisão tem sido em sua grande maioria binário, baseando-se apenas em premissas falsas

ou verdadeiras, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa, o que muitas vezes não reflete completamente a realidade, onde no caso ambiental é muito frequente encontrar problemas em que valores certos e errados muitas vezes não são absolutos e é necessária uma análise que aceite esse fator de parcialidade.

Em meio a essa necessidade, uma ferramenta que busca resolver esse problema da lógica binária é a lógica Fuzzy. Onde, de acordo com Transcheit (2005) a Lógica Fuzzy viola estas suposições de verdadeiro e falso, pois na verdade, entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza. Esta imperfeição intrínseca à informação representada numa linguagem natural tem sido tratada matematicamente no passado com o uso da teoria das probabilidades. Contudo, a Lógica Fuzzy, com base na teoria dos Conjuntos Fuzzy, tem se mostrado mais adequada para tratar imperfeições da informação do que a teoria das probabilidades.

O conceito de lógica Fuzzy foi introduzido por Zadeh (1965), com o teoria do conjuntos Fuzzy que servia para descrever de forma mais aproximada à percepção humana variadas classes nos quais não se pode definir de forma precisa, utilizando o exemplo da classe de pessoas altas, onde ele demonstra a dificuldade que temos de precisar o exato ponto em que uma pessoa de altura mediana passa a ser considerada alta, e vice versa, e como uma aproximação Fuzzy, baseado na proximidade entre as classes e não em pontos específicos de transição, tornando mais compreensível o processo de análise, capturando melhor certas nuances de conceitos menos precisos.

Essa “proximidade” entre as classes pode ser descrito como o grau de filiação de um termo a uma classe, no entanto a forma como definimos essa filiação está sujeita fortemente a incerteza, pois, segundo Ross (2010), não conhecemos, na maioria das vezes o processo inteiramente, somente partes dele, ou até mesmo somente a entrada e a saída, sem tomar conta dos processos intermediários, então descrevê-lo se torna uma tarefa altamente complexa e muitas vezes quase impossível dependendo do grau de fidelidade que se considere aceitável.

Nesse sentido, Ross (2010) descreve que em processos altamente complexos, como processos orgânicos e ambientais, no qual uma descrição simplificada é o suficiente para a tomada de decisões, a aplicação da teoria Fuzzy é altamente recomendável, pois a incerteza está descrita dentro do seu grau de filiação e o fenômeno pode ser descrito de forma satisfatória quando se analisa o processo como um todo.

A seguir, na Figura 1, temos o exemplo de como funciona a lógica fuzzy a um processo de análise de dados coletados em campo (entrada) e queremos obter dados de tomada decisão (saída), no entanto o processo de transformação é conhecido apenas vagamente, sendo então utilizado conjuntos fuzzy para realizar essa transição através de regras e o processo de inferência em si, gerando uma saída fuzzy ou um conjunto nebuloso de saída que necessita então ser “*desfuzzificado*” para gerar saídas precisas que é o que se busca.

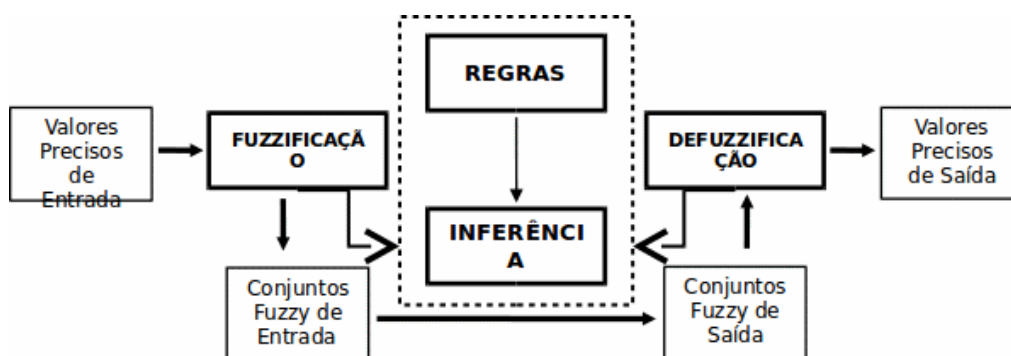


Figura 1: Processo de análise de dados por lógica fuzzy. Fonte: Rodrigues et al. (2013)

Portanto, Transcheit (2005) define que a Teoria de Conjuntos Fuzzy e os Conceitos de Lógica Fuzzy podem ser utilizados para traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa, resultado de análises reais, expressa por um conjunto de regras linguísticas. Sendo, portanto a transformação feita entre dados recolhidos em campo ou literatura em conjuntos matemáticos em Conjuntos fuzzy, onde é necessário, antes da transformação em Conjuntos Fuzzy, a definição de fatores de impacto, que são parâmetros de intensidade e relevância atribuídos às diversas atividades.

De acordo com Peche e Rodriguez (2009 b), a lógica Fuzzy tem sido utilizada com sucesso ao longo dos anos para aplicações em modelagem de sistemas ambientais, porém, sua aplicação para avaliação de impactos ambientais ainda é limitada, apesar de termos casos onde a técnica foi aplicada para o zoneamento ambiental, como no trabalho de Paula e Souza (2007), porém apenas como técnica auxiliar utilizando alguns preceitos mais básicos da lógica fuzzy sem se aprofundar no abrangente conceito de conjuntos fuzzy.

No entanto, quando é necessária a tomada de decisão sequencial, como não conhecemos o comportamento do processo intermediário podemos utilizar os processos

de decisão de Markov, como descrito por Pellegrini e Wainer (2007) onde podemos trabalhar a incerteza das transições de estado, quando estas não são conhecidas e sim probabilísticas onde “[...] são ditos “de Markov” (ou “Markovianos”) porque os processos modelados obedecem a propriedade de Markov: o efeito de uma ação em um estado depende apenas da ação e do estado atual do sistema (e não de como o processo chegou a tal estado); e são chamados de processos “de decisão” porque modelam a possibilidade de um agente (ou “tomador de decisões”) interferir periodicamente no sistema executando ações [...]” (PELLEGRINI e WAINER, 2007).

Portanto, o processo de decisão de Markov ou PDM, trata das transições entre os estados onde não se conhece o resultado, ou seja, há incerteza, e trabalha a maneira de como o agente pode estar constantemente interferindo no meio, ou seja, se traduzirmos para um processo ambiental, podendo entender como a análise de possíveis intervenções feitas em sistemas os quais identifiquemos como possivelmente impactados ou passíveis a impactos.

O modelo de um PDM é descrito a seguir:

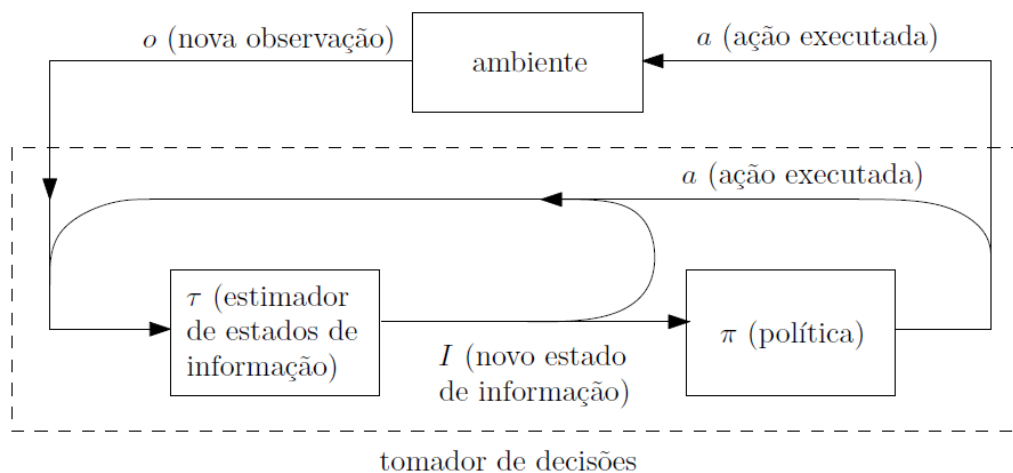


Figura 2: Processo de decisão de Markov. Fonte: Pellegrini e Wainer (2007).

A dinâmica de um sistema modelado como PDM mostrada na Figura acima, onde a cada época de decisão, o tomador de decisões verifica o estado de informação atual (I na figura), a última ação executada e a última observação obtida do ambiente. A partir desses dados, um estimador de estados de informação determina um novo estado de informação, que é usado como entrada para uma política, que determina a próxima

ação a ser tomada. Esta ação tem um efeito sobre o ambiente, que retorna uma observação o. (PELLEGRINI e WAINER, 2007).

Essa análise é um processo contínuo, a critério do agente ou tomador de decisões, até que se atinja o estado esperado, sendo de grande valia na análise qualitativa ou quantitativa de ações ambientais.

Portanto deve se levar em conta, antes de partir para a análise dos impactos, o processo de definição do escopo do trabalho que deverá receber grande atenção, pois de acordo com Snell e Cowell (2006), a inabilidade em definir corretamente o escopo em AIA cria o risco de que se realizem trabalhos desnecessários ou que consequências significantes não sejam observadas.

Parte importante da definição do escopo é a definição dos fatores de impacto que segundo Enea e Salemi (2001), são aquelas características da planta que podem influenciar os componentes ambientais. Exemplos comuns podem ser questões acústicas, poluição da água, ocupação do solo, transporte e produção de resíduos sólidos. A magnitude fator de impacto representa a intensidade dos danos ambientais causados pelo fator de impacto considerado. Tal intensidade pode ser expressa através de um valor numérico oportuno.

A definição dos valores a serem atribuídos aos fatores de impacto é um grande desafio na AIA, pois por não ser predeterminado, ficando a cargo do pesquisador a sua atribuição sendo possível a sua manipulação e é muitas vezes alvo de críticas devido a sua subjetividade e imprecisão.

3. Metodologia

Esse trabalho possui, primariamente, um caráter técnico-teórico e consiste no levantamento de dados relevantes a aspectos ambientais através de pesquisa

bibliográfica e levantamento de dados “*in loco*” onde esses dados serão tratados através de análise sistemática, definida pela seguinte sequência: Levantamento e compilação de dados, análise da vulnerabilidade ambiental e por fim a definição e análise dos impactos ambientais.

3.1. Levantamento de Dados

A área de estudo escolhida foi a seção sul do município de Londrina, Paraná, e dentro dela foram escolhidos 1 (um) local de interesse ambiental, no caso um “Fundo de vale” urbano, sendo que o local escolhido foi o fundo de vale do córrego dos tucanos.

Foram realizados, em conjunto com o estudo “*in loco*”, levantamentos bibliográficos, e documentais juntamente a órgãos públicos, para suprir as informações que não puderam ser levantadas em campo.

As informações utilizadas referentes ao fundo de vale do córrego dos tucanos foram provenientes principalmente de estudos realizados pelo IPPUL (2012) de caracterização do local para recuperação, principalmente referentes ao diagnóstico realizado da atual situação do local e complementados por visitas a campo realizado pelo autor nos dias 12/08 e 20/08, principalmente a fim de caracterizar o impacto ambiental causado por um recente incêndio no local.

3.2. Análise de vulnerabilidade ambiental

O método de avaliação de vulnerabilidade foi largamente baseado no modelo de aplicação apresentado por Toro et al. (2010), onde os autores avaliaram a vulnerabilidade ambiental na Colômbia apenas com informações colhidas através de dados disponibilizados por terceiros, onde portanto não há a realização de trabalho de campo.

Nesse trabalho, em função da falta de algumas informações o modelo foi adaptado para refletir a realidade e a base de dados disponível, onde foi embutida a análise realizada por Ross (1993), para determinar a fragilidade por tipo de solo.

O procedimento consistiu em quatro fases seguintes: definição de fatores ambientais, definição de indicadores, a determinação qualitativa da vulnerabilidade de

fatores ambientais e atribuição de valores quantitativos para a importância da vulnerabilidade.

O primeiro passo para a avaliação da importância da vulnerabilidade é a identificação de todos os fatores ambientais no local que podem ser sensíveis a este impacto (TORO et al., 2012), onde deve se levar em conta o escopo do estudo e os fatores a serem analisados.

Foi tomada como base o Quadro 1 a seguir, para a confecção de uma nova tabela de acordo com as necessidades e disponibilidades de dados.

Quadro 1: Fatores ambientais e seus correspondentes indicadores.

Fator	Indicador
Habitat de vida selvagem (WH)	Cobertura de vegetação/mudanças na superfície do ecossistema
Diversidade de vida selvagem (WD)	Numero de espécies ameaçadas
Diversidade de flora (FD)	Numero de espécies ameaçadas
Qualidade de água superficial (SWQ)	Porcentagem de municípios utilizando sistemas de tratamento de esgotos
Mudança de uso da terra (LUC)	Porcentagem de terra com superexploração
Qualidade do ar (AQ)	Índice de qualidade do ar (AQI)
Segurança Social (SS)	Índice de qualidade de vida (LQI)
População (Pp)	Densidade Populacional em relação a ameaça a diversidade
Emprego (Ep)	Índice de desemprego
Sistema educacional (Edu)	Média de anos de educação da população acima de 15 anos

Fonte: Adaptado de Toro (2009) apud Toro et al. (2010)

Após a definição dos fatores ambientais e seus respectivos indicadores é importante atribuir classes de valor para cada um dos indicadores, sendo essas classes divididas em: V_a = vulnerabilidade alta; V_{ma} = vulnerabilidade médio-alta; V_{mb} = vulnerabilidade médio-baixa e V_b = vulnerabilidade baixa.

Ao invés de utilizar o fator (LUC) Mudança de Uso da Terra, proposto por Toro et al. (2010) foram utilizadas as classes de fragilidade do solo em função de sua tipologia como definido por Ross (1993) no Quadro 2, apenas convertendo as classes para corresponder a metodologia utilizada como observado no Quadro 3.

Quadro 2: Classes de fragilidade por tipologia de 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 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, Cambissolos
5 - Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas

Fonte: Ross (1993).

Quadro 3: Correspondência entre as classes de fragilidade de Ross (1993) e as Classes de vulnerabilidade de Toro et al. (2010)

Classes de Fragilidade	Classe de vulnerabilidade correspondente
1 - Muito Baixa	Vulnerabilidade Baixa (V_b)
2 - Baixa	Vulnerabilidade médio-baixa (V_{mb})
3 - Média	
4 - Forte	Vulnerabilidade médio-alta (V_{ma})
5 - Muito Forte	Vulnerabilidade alta (V_a)

Fonte: Autor.

Os seguintes 8 (oito) fatores foram escolhidos: (1) - Habitat dos animais selvagens, (2) - Diversidade florística, (3) - Qualidade da água superficial, (4) - Segurança social, (5) - População, (6) - Emprego (7) – Uso do solo, e por fim (8) - Sistema educacional, sendo que estes fatores foram escolhidos devido a sua fácil disponibilidade de dados. Os fatores ambientais e seus respectivos Indicadores foram agrupados no Quadro 4, visto a seguir:

Quadro 4: Definição de indicadores ambientais para cada um dos fatores ambientais escolhidos.

Fator	Indicador	Fonte dos dados
Habitat Animal	Cobertura vegetal	IPPUL (2012)
Diversidade de Flora	Espécies encontradas no local x Espécies nativas	IPPUL (2012); IBGE (2013)
População	Densidade populacional	IBGE (2013)
Segurança Social	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	IPARDES (2013)
Uso do Solo	Tipologia de solo	Ross (1993);
Sistema Educacional	Taxa média de rendimento educacional nos ensinos fundamental e médio	IPARDES (2013)
Emprego	Índice de desemprego	IBGE (2010)
Qualidade de Água Superficial	Porcentagem do município atendida por sistema de esgotagem sanitária	PNSB (2008)

Fonte: Autor.

De acordo com Toro et al. (2010), apesar de não ser usual em trabalhos que realizam a avaliação de vulnerabilidade ambiental, a diversidade da vida selvagem e o sistema educacional eram significativos no contexto de seu estudo, no caso a Colômbia, e foram mantidos para esse estudo.

A inclusão da diversidade da vida selvagem se justifica pelo motivo da sua conservação e sustentabilidade ser atualmente uma prioridade em todo o mundo, dadas às repercussões de sua perda na produtividade e na capacidade de recuperação dos ecossistemas.

Quadro 5: Valoração de indicadores ambientais para classificação de vulnerabilidade ambiental

Fator	Categoria	Indicador		Vulnerabilidade
		Nome	Valor	
Habitat Animal	Alto	Cobertura vegetal	> 60%	Vb
	Médio Alto		40 - 60%	Vmb
	Médio		30 - 40%	Vma
	Baixo		0 - 30 %	Va
Diversidade de Flora	Baixo	Razão entre espécies encontradas no local x Espécies nativas	< 0,1 - 0,3	Va
	Médio		0,3 - 0,6	Vma
	Médio Alto		0,6 - 0,8	Vmb
	Alto		0,8 - 1	Vb
População	Alto	Grau de Urbanização	< 100 - > 90	Va
	Médio Alto		< 90 - > 80	Vma
	Médio		< 80 - > 65	Vmb
	Baixo		< 65	Vb
Segurança Social	Alto	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)	> 0,80	Vb
	Médio Alto		< 0,80 - > 0,75	Vmb
	Médio		< 0,75 - > 0,65	Vma
	Baixo		< 0,65	Va
Uso do Solo	1*	Tipologia de solo	Não se aplica	Vb
	2*			Vmb
	3*			Vma
	4*			Vb
	5*			Vb
Sistema Educacional	Alta	Taxa de aproveitamento escolar (IDHM)	> 0,80	Vb
	Moderadamente Alta		< 0,80 - > 0,75	Vmb
	Média		< 0,75 - > 0,65	Vma
	Baixa		< 0,65	Va
Emprego	Baixo	Índice de desemprego	< 5%	Vb
	Médio		5 - 7,5%	Vmb
	Médio Alto		7,5 - 10%	Vma
	Alto		> 10%	Va
Qualidade de Água Superficial	Alto	Porcentagem do município atendida por sistema de esgotagem sanitária	> 90%	Vb
	Médio Alto		70 - 90%	Vmb
	Médio		60 - 70%	Vma
	Baixo		0 - 60 %	Va

* classificação proposta por Ross (1993), vide Quadro 3.

Fonte: Autor, modificado de Toro et al. (2010)

Após a definição numérica dos indicadores, são levantadas as informações pertinentes a cada um dos indicadores e cruzadas com os dados, onde é definida uma classe de vulnerabilidade correspondente.

As classes de vulnerabilidade recebem então um valor de importância, de acordo com a Tabela 2, a seguir:

Tabela 2: Amplitude dos indicadores de fatores ambientais para a atribuição de valores quantitativos.

Avaliação de vulnerabilidade qualitativa		Avaliação de vulnerabilidade quantitativa		Valor de importancia da vulnerabilidade
Vulnerabilidade Baixa	V_b	1		20
Vulnerabilidade médio-baixa	V_{mb}	2		40
Vulnerabilidade médio-alta	V_{ma}	4		80
Vulnerabilidade alta	V_a	5		100

Fonte: Adaptado de Toro et al. (2010).

Foi, por fim, realizada uma média aritmética para os valores de vulnerabilidade encontrados em cada um dos fatores a qual nos dá uma estimativa da vulnerabilidade geral do local estudado.

3.3. Avaliação de Impactos Ambientais

A lógica fuzzy é utilizada como uma metodologia para a redução da subjetividade dentro da avaliação de impactos ambientais, pois permite que seja trabalhada a incerteza intrínseca às análises, sendo de grande utilidade principalmente em momentos em que uma análise não necessita ou até mesmo não permite grande precisão dos dados, muitas vezes representadas por classes verbais ou escritas como, por exemplo, a aceitação social de uma comunidade frente a um impacto ambiental indireto, ou a opinião pública frente ao desenvolvimento tecnológico em detrimento da qualidade ambiental.

Segundo o modelo escolhido, inicialmente deverão ser identificadas as principais ações causadoras de impactos ambientais ou fatores impactantes (B) e os fatores ambientais potencialmente afetados (C), onde a partir do cruzamento entre B e C obtemos os possíveis impactos a serem analisados.

Quadro 6: Identificação de possíveis impactos a partir do cruzamento entre componentes impactantes e impactados.

- Componente Impactante	Componente impactado -	C1	C2	C3	...	Cn
B1		Impacto de B1 em C1	Impacto de B1 em C2	Impacto de B1 em C3	...	Impacto de B1 em Cn
B2		Impacto de B2 em C1	Impacto de B2 em C2	Impacto de B2 em C3	...	Impacto de B2 em Cn
B3		Impacto de B3 em C1	Impacto de B3 em C2	Impacto de B3 em C3	...	Impacto de B3 em Cn
...	
Bn		Impacto de Bn em C1	Impacto de Bn em C2	Impacto de Bn em C3	...	In

Fonte: Autor.

A escolha do modelo, por motivo de simplificação da aplicação, seguiu o modelo de aplicação demonstrado por Peche e Rodriguez (2009 b), utilizando um numero Fuzzy triangular para representar os impactos ambientais encontrados a partir do cruzamento de uma série de 3 (três) fatores ambientais potencialmente afetados com 4 (quatro) fatores potencialmente impactantes, escolhidos em função de seu grau de importância, porém limitados em quantidade devido ao caráter mais explanatório dessa análise e do tempo disponível para a mesma.

A partir do momento em que foram definidos os impactos ambientais, foi realizada a sistematização dos dados através da compilação dos mesmos para a aplicação no modelo escolhido.

O primeiro passo foi o estabelecimento de uma série de propriedades (p_i), características e/ou atributos de impacto para cada impacto ambiental, onde se levou em conta critérios diversos, de acordo com o projeto analisado, com a legislação vigente, seguindo o exemplo de Peche e Rodriguez (2009 a), as propriedades escolhidas foram: a intensidade do impacto (p_1) representando sua severidade, a extensão (p_2) representando a dimensão espacial do impacto e por ultimo a persistência (p_3) dos impactos representando a sua temporalidade. A escolha dessa série de propriedades foi devido ao seu caráter técnico e menor subjetividade por não depender diretamente de variáveis sociais e culturais.

Foram então atribuídos dois parâmetros não dimensionais, (p) que serve de critério de avaliação e (v) que mede a contribuição individual de cada uma dessas propriedades para o aspecto mais geral do impacto.

Esses dois parâmetros foram ser correlacionados por uma função $v = f(p)$, contínua no intervalo de p . Para cada propriedade (p) que deverá demonstrar o comportamento da variação de (v), onde, a medida que variamos (p), esse resultado fornece o valor de contribuição de cada propriedade para o impacto ambiental correspondente. Os parâmetros para determinação dessas funções foram definidos a partir de levantamento bibliográfico e de estimativa subjetiva. A seguir, temos um exemplo dos comportamentos possíveis dessa função:

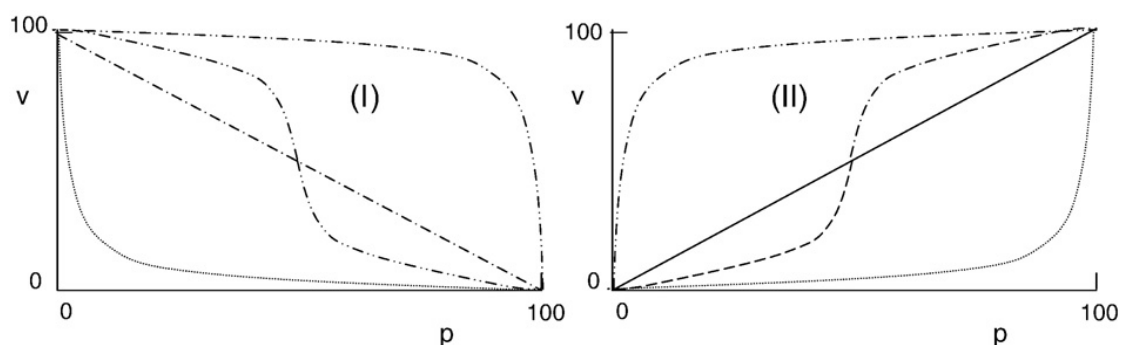


Figura 3 - Gráficos de funções de avaliação representativas $p \times v$. (I) decrescentes e (II) crescentes.
Fonte: Peche e Rodrigues, 2009.

Elas podem ser funções crescentes monótonas - que começam em (0, 0) e terminam no ponto (100,100) ou funções monótonas decrescentes - que começam no ponto (0, 100) e terminam em (100, 0).

As funções escolhidas para realizar a relação de importância (v_i) das propriedades (p_i) dos impactos foram:

Intensidade:

$$p_i: v = \left(\frac{100}{1 + 99 \times e^{-0,1p_i}} \right)$$

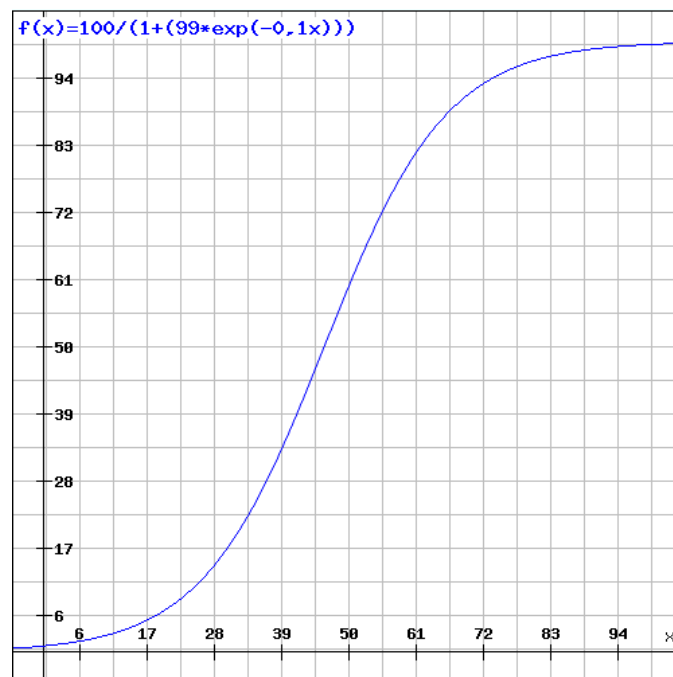


Figura 4: Gráfico representativo da equação de intensidade. Fonte: Autor.

Foi considerada uma equação logística para a determinação de intensidade dos impactos, pois o seu grau de importância aumenta mais lentamente no começo, quando a intensidade ainda é baixa, no entanto aumenta exponencialmente a medida que o impacto se torna mais intenso, até que se estabiliza em seu ponto máximo.

Extensão:

$$p_2: v = p$$

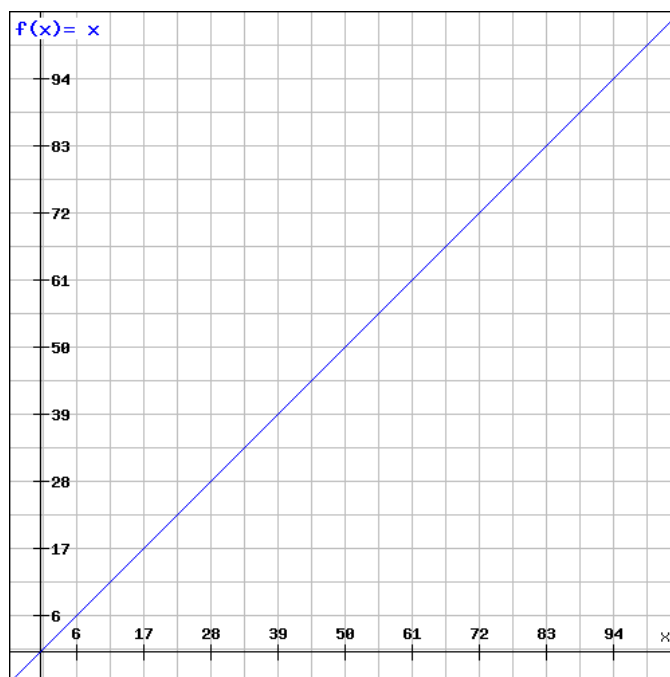


Figura 5: Gráfico representativo da função de extensão. Fonte: Autor.

A extensão pode ser considerada como proporcional ao impacto, pois aumenta de acordo com a dimensão física do agente impactante, sendo possível, por motivo de facilitação de cálculo, podemos aproximar de uma função linear.

Persistência

$$p_3: v = 100 + (5 \cdot 10^{-0,05 p_3}) - (105 \cdot 10^{-0,0182 p_3})$$

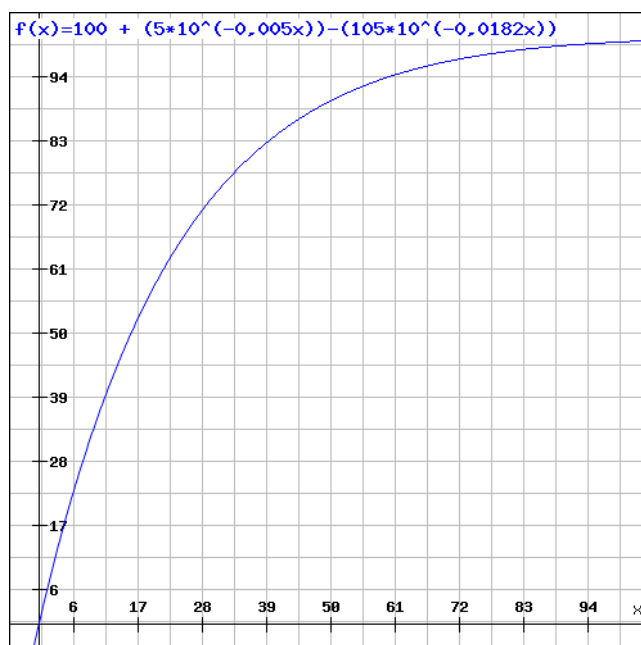


Figura 6: Gráfico correspondente a função de persistência. Fonte: Autor.

Foi utilizada uma equação, baseada no modelo apresentado em Peche e Rodrigues (2009 b), que represente o quão crítico é o aumento da persistência de um impacto no meio, onde podemos observar que a significância aumenta rapidamente até se estabilizar.

De acordo com Peche e Rodrigues (2009 a) a aritmética fuzzy da estimação de (p) pode ser realizada por meio de um número fuzzy (p_f), definido dentro de um universo de raciocínio de p, U_p , sendo $U_p = [0, 100]$. Sendo p_f número fuzzy um conjunto definido sobre R, que tem propriedades de convexidade e normalidade, semelhante a uma função de distribuição probabilística, podendo ser descrito por sua função de filiação $U_p(p_f)$. Essa função de filiação serve para descrever os números Fuzzy, no entanto estes também podem ser escritos pela combinação do intervalo de confiança e pelo nível de presunção.

A estrutura do número Fuzzy triangular (p_f), definido pela função $\mu_p(p)$, foi utilizada como visto em Peche e Rodriguez (2009):

$$\mu_p(p) = 0, \forall p < p_1^{(0)}$$

$$\mu_p(p) = \frac{p - p_1^{(0)}}{p_m - p_1^{(0)}} \vee \frac{p}{p_1^{(0)}} \leq p \leq p_m$$

$$\mu_p(p) = \frac{p_2^{(0)} - p}{p_2^{(0)} - p_m} \vee \frac{p}{p_m} \leq p \leq p_2^{(0)}$$

$$\mu_p(p) = 0, \forall p > p_2^{(0)}$$

Onde:

$\mu_p(p)$ = Função que relaciona propriedade p com um valor de filiação.

$p_1^{(0)}$ = Limite do valor estimado a esquerda.

p_m = Valor máximo de filiação da propriedade p (estimado).

$p_2^{(0)}$ = Limite do valor estimado a direita.

O intervalo de confiança, ajustado por um intervalo de presunção (α) é utilizado para reduzir a incerteza da estimativa. Como por exemplo, se o valor de uma propriedade de impacto p está dentro o intervalo $[P1, P2]$ a incerteza é limitada, uma vez que o valor de p tem pertencer a este intervalo. “Embora por vezes a valores de p_1 e p_2 pode ser determinada medindo certas variáveis, são frequentemente estimadas por avaliações subjetivas.”

A aplicação de (α) para determinar o intervalo de confiança, se acordo com Peche e Rodriguez (2009), se dá da seguinte maneira:

$$p_1^{(\alpha)} = (p_m - p_1^{(0)})\alpha + p_1^{(0)} \sqrt{\frac{p_1^{(\alpha)}}{p_1^{(0)}}} \leq p_1^{(\alpha)} \leq p_m$$

$$p_2^{(\alpha)} = p_2^{(0)} - (p_2^{(0)} - p_m)\alpha \sqrt{\frac{p_2^{(\alpha)}}{p_m}} \leq p_2^{(\alpha)} \leq p_2^{(0)}$$

Onde:

$p_1^{(\alpha)}$ = Limite do valor estimado a esquerda, ajustado para (α).

$p_2^{(\alpha)}$ = Limite do valor estimado a direita, ajustado para (α).

Por motivo simplificação de cálculos e para melhor exemplificação da aplicação em uma situação real do modelo utilizado, ao invés de utilizar o intervalo de confiança generalizado, foi adotado um intervalo de confiança único para os dados, fixado em $\alpha = 0,25 \forall \alpha \in [0,1]$. Obtemos assim:

$$p_1^{(0,25)} = (p_m - p_1^{(0)})\alpha + p_1^{(0)} \sqrt{\frac{p_1^{(0,25)}}{p_1^{(0)}}} \leq p_1^{(0,25)} \leq p_m$$

$$p_2^{(0,25)} = p_2^{(0)} - (p_2^{(0)} - p_m)\alpha \sqrt{\frac{p_2^{(0,25)}}{p_m}} \leq p_2^{(0,25)} \leq p_2^{(0)}$$

Os valores de (p_i) ajustados para o intervalo de confiança deverão ser aplicados nas equações acima a fim de se obter os valores ajustados de (v_i) correspondentes para que se possa avaliar cada impacto (V_i) individualmente em função de suas propriedades.

Após a determinação dos valores de (v_i), foram determinados os valores Fuzzy para cada um dos impactos (V_i) estudados, em função dos valores (v_i) correspondentes, obtendo assim o total de impactos positivos e negativos e por fim os impactos totais causados em uma determinada ação ou projeto. A equação para determinar o numero fuzzy V é:

$$[V_1^{0,25}, V_2^{0,25}] = \left[\sum_{i=1}^M c_i v_{1,i}^{0,25}, \sum_{i=1}^M c_i v_{1,i}^{0,25} \right] \forall \alpha \in [0,1]$$

Onde $[V_1^\alpha, V_2^\alpha]$ é o intervalo de confiança de V, dentro do nível de presunção (α) e o coeficiente c serve para determinar qual a importância de cada propriedade para o impacto analisado.

O valor de c é definido pela definição da importância de cada propriedade (p_i) e seu correspondente valor correspondente (v_i), respeitando-se a seguinte regra:

$$\sum_{f=1}^3 c_f = 1$$

Tabela 3: Definição dos níveis de importância e seu valor c correspondente

Nível de importância	c
Mais Importante	0,5
Intermediário	0,3
Menos importante	0,2

Fonte: Autor.

A partir da contribuição individual de cada impacto (V_i) é encontrada a contribuição total (VT^-), não contendo assim, o componente (VT^+), pois nesse trabalho foram apenas contabilizados os impactos ambientais negativos. Para definir o impacto total é necessário definir um fator de hierarquização dos impactos a fim de avaliar qual a contribuição de cada impacto para o impacto total de acordo com a sua significância. O fator h_f deverá obedecer a seguinte regra:

$$\sum_{f=1}^F h_f = 1, h_f \in [0,1] e f = 1,2,3 \dots F$$

Obtendo assim a equação:

$$VT^- = \sum_{f=1}^Q h_f \times V_f$$

Onde:

Q = numero de impactos ambientais negativos identificados;

h_f = coeficiente ponderado de contribuição ao impacto total.

Para análise final e obtenção de dados precisos no final da análise, será realizado o processo de “*desfuzzification*” (desfuzzificação – tradução livre), que deverá ser realizado a partir de um estimador pontual de impacto e de um estimador de incerteza correspondente.

Para realizar a “desfuzzificação” dos dados analisados, o método escolhido foi o de convergência, como sugerido por Peche e Rodriguez (2009 a), devido às características previamente selecionadas. Devido ao caráter predominantemente acadêmico desse trabalho, foram realizadas discussões entre os responsáveis por sua elaboração, nominalmente o Autor e o professor Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp.

O método da convergência seleciona o valor modal, ou seja, VT_m do numero fuzzy que representa o valor total obtido pela AIA, $VT = (VT_1, VT_m, VT_2)$, e adota como estimador pontual de impacto, ou seja, a saída precisa como definido anteriormente na Figura 1, pagina 16, que pode ser usado como índice para futuros estudos, inclusive aqueles que não sejam por sua natureza, baseados em lógica fuzzy.

A fim de se estabelecer um componente verbal para classificação final do impacto, a Tabela 4, abaixo, estabelece uma relação entre o valor encontrado na desfuzzificação e um parâmetro de classificação.

Tabela 4: Nível de impacto associado ao valor obtido do estimador pontual de impacto.

Estimador pontual de impacto	Nível de impacto
80-100	Alto
60-80	médio-alto
40-60	médio
20-40	médio-baixo
0-20	baixo

Fonte: Autor.

4. Análises e Resultados

A lógica fuzzy é utilizada como uma metodologia para a redução da subjetividade dentro da avaliação de impactos ambientais, pois permite que seja trabalhada a incerteza intrínseca às análises, sendo de grande utilidade principalmente em momentos em que uma análise não necessita ou até mesmo não permite grande precisão dos dados, muitas vezes representadas por classes verbais ou escritas como, por exemplo, a aceitação social de uma comunidade frente a um impacto ambiental indireto, ou a opinião pública frente ao desenvolvimento tecnológico em detrimento da qualidade ambiental.

4.1. Local de Estudo

O local escolhido para estudo é um fundo de vale, localizado na rua Bélgica no quadrante sul do distrito sede de Londrina/PR. Faz parte do corredor ecológico da bacia do Ribeirão Cambé, definida pelo Novo código florestal brasileiro (Lei 12.651/2012) como Área de proteção permanente (APP).

O Mapa se encontra em anexo devido a sua resolução (Anexo A).

As informações utilizadas referentes ao fundo de vale do córrego dos tucanos foram provenientes principalmente de estudos realizados pelo IPPUL (2012) de caracterização do local para recuperação, principalmente referentes ao diagnóstico realizado da atual situação do local e complementados por visitas a campo realizado pelo autor nos dias 12/08 e 20/08, principalmente a fim de caracterizar o impacto ambiental causado por um recente incêndio no local.

O córrego dos Tucanos, que conta com aproximadamente 1,5 km de fundo de vale, linearmente, está localizado na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé, sendo um importante afluente desse ribeirão, possui a sua primeira nascente no trevo entre as cidades Londrina/PR e Cambé/PR, e deságua no rio Tibagi, portanto a bacia hidrográfica do ribeirão Cambé é uma sub-bacia, contida na bacia hidrográfica do Tibagi.

Segundo IPPUL (2012) há intensa proliferação de espécies invasoras, destacando-se: amarelinho (*Tecoma stans*), santa Bárbara (*Mélia azedarach*), mamoeiro (*Ricinus communis* L.), leucena (*Leucaena leucocephala*) e ameixa amarela (*Eriobothrya japonica*). As áreas de várzeas apresentam cobertura vegetal pouco diversificada, com o predomínio de Taboas (*Tipha angustifolia*).

Nos locais mais ensolarados ou nos fragmentos florestais onde o dossel é aberto, o IPPUL (2012) diagnosticou que o solo apresenta-se coberto por gramíneas diversas, tais como Colonião (*Panicum maximum*), Capim estrela (*Cynodon nlemfuensis*) e grama Seda (*Cynodon dactylon* L.) mato-grosso ou batatais (*Paspalum notatum*).



Figura 7: Perfil florístico do fundo de vale dos tucanos. Fonte: Autor.

Ao longo da calha do córrego Tucanos foram identificados varias áreas de várzeas, ou seja, área sujeitas a alagamentos, resultantes da deposição hídrica de solo, oriundos das interferências antrópicas no entorno.



Figura 8: Córrego dos tucanos. Fonte: Autor.

O solo encontrado é predominantemente latossolo vermelho (IPPUL, 2012), caracterizado pelo seu aspecto avermelhado e pela sua grande quantidade de argila.

4.2. Análise de vulnerabilidade ambiental

Os fatores ambientais escolhidos para a realização dessa análise foram baseados nos dados organizados por Toro et al. (2010), Quadro 1, supracitado no capítulo 2.2., pag. 10, no entanto algumas alterações foram realizadas para se adequar melhor a realidade do local em estudo, obtendo-se ao Quadro 4, página 22, que fora o elaborado para a realização dessa análise.

Os dados de segurança social e o sistema educacional foram levantados a partir de bases de dados digitais, utilizando o caderno de Londrina do Instituto Paranaense de Desenvolvimento IPARDES (2013).

Para a obtenção de dados de emprego, população e qualidade da água superficial foram utilizados dados do IBGE (2013) e IBGE (2010), no plano nacional de saneamento básico PNSB para o ultimo.

A classificação por tipologia de solo de Ross (1993), como supracitado, foi adaptada e utilizada de acordo com o levantamento de predominância do tipo de solo na região.

Para a diversidade da flora, levou-se em conta relatos elaborados pelo relatório de diagnóstico do IPPUL (2012), onde observou-se apenas uma pequena quantidade de

espécies no local em comparação com a grande diversidade de um fragmento de mata atlântica, onde, embora não obtendo um valor exato, estimou-se que o valor encontrado foi muito menor, portanto estipulou-se a razão < 1 .

As informações restantes, de cobertura vegetal, também foram obtidas do relatório de diagnóstico do IPPUL (2012), em função de seu levantamento florístico, no entanto foram utilizados também dados observacionais coletados em campo.

Tendo o Quadro 4 como referencia, foram levantadas as informações relevantes dos indicadores de acordo com o estabelecido no Quadro 5, chegando-se no Quadro 7 que define a vulnerabilidade do fundo de vale do córrego dos tucanos:

Quadro 7: Vulnerabilidade ambiental no fundo de vale do córrego dos tucanos.

Fator	Valor	Vulnerabilidade	Valor Numérico
Habitat Animal	35%	Vma	4
Diversidade de Flora	$< 0,1$	Va	5
População	97,4%	Va	5
Segurança Social	0,778	Vmb	2
Uso do Solo	1*	Vb	1
Sistema Educacional	0,712	Vma	4
Emprego	5,6%	Vmb	2
Qualidade de Água Superficial	71,50%	Vmb	2
Vulnerabilidade média			3,125

* classificação proposta por Ross (1993), vide Quadro 3.

Fonte: Autor.

Pode-se observar, portanto, que apesar do índice de vulnerabilidade media encontrado ser o equivalente a uma fragilidade média, a população, muito densa nas proximidades do local e a diversidade florística são fatores críticos a serem avaliados quando se for tratar de vulnerabilidade.

4.3. Avaliação de Impactos Ambientais

É importante salientar que devido ao caráter desse trabalho e ao tempo programado para a sua execução, foram escolhidos apenas os impactos ambientais que se puderam estimar de forma qualitativa e sem instrumentação com o objetivo principal de aplicar o método escolhido.

Os fatores potencialmente afetados escolhidos foram: vegetação, solo e paisagem.

Como fatores impactantes foram identificados: Uso antropológico para fins de recreação, descarte irregular de resíduos sólidos, ocupação irregular de áreas de APP e Introdução e proliferação de espécies exóticas.

Os dados foram sintetizados no Quadro 8, a seguir:

Quadro 8: Cruzamento entre os componentes impactantes e impactados para obtenção de possíveis impactos.

Componente Impactante	Componente impactado	Vegetação	Solo	Paisagem
Uso antropológico para fins de recreação	-	Perda de cobertura vegetal	Compactação do solo	Alteração da paisagem natural
Descarte irregular de resíduos sólidos	-	-	Aparecimento de vetores	Deterioração da paisagem natural
Ocupação irregular de áreas de APP e mata ciliar	-	Perda de cobertura vegetal	Compactação do solo, Alteração da estrutura do solo	Deterioração da paisagem natural
Introdução e proliferação de espécies exóticas	-	Diminuição de área de ocorrência de espécies nativas	-	-

Fonte: Autor.

Os potenciais impactos ambientais encontrados foram: perda de cobertura vegetal, diminuição de ocorrência de vegetação nativa, compactação do solo, Aparecimento de vetores, deterioração da paisagem natural.

Além dos 5 (cinco) impactos levantados pelo cruzamento entre os fatores impactantes e impactados, durante as análises de campo foi levantado um sexto impacto

que se mostrou bastante proeminente e sua inclusão se tornou obrigatória pela amplitude e pelo apelo visual gerado pelo impacto.

Dois dias antes da primeira visita para o levantamento de dados, ocorreu um incêndio ambiental, de origem desconhecida, que alterou significativamente a paisagem do fundo de vale, como visto na Figura 9, a seguir:



Figura 9: Impacto causado por incêndio ambiental no fundo de vale do córrego dos tucanos.
Fonte: Autor.

De acordo com as informações apresentadas acima, chegou-se, portanto, aos seguintes impactos ambientais, que foram utilizados para análise: (i) Incêndio Ambiental, (ii) Diminuição de ocorrência de espécies nativas, (iii) Perda de cobertura vegetal, (iv) Aparecimento de vetores, (v) Deterioração da paisagem natural e por fim a (vi) compactação do solo.

A seguir é realizado o detalhamento dos impactos, a análise em função dos dados levantados e das observações de campo e a entrada de dados para a fuzzificação.

4.3.1. Incêndio Ambiental

Os incêndios florestais são, como definindo por Sampaio et al. (2002) um exemplo de alteração no meio ambiente, susceptível de causar impacto ambiental negativo. Os impactos causados por um incêndio pode ser identificado como a destruição da paisagem, a perda de grande parte das reservas florestais e o comprometimento do equilíbrio ecológico. O grau de alteração da paisagem e os impactos causados por incêndios florestais dependem do regime da queima: intensidade,

duração, frequência, forma e extensão dos incêndios além da vulnerabilidade do ecossistema atingido.

Nos dias analisados, foi observada uma grande parcela de vegetação queimada na porção do fundo de vale dos tucanos que margeia a Rua Bélgica, sendo que o incêndio havia ocorrido apenas 2 dias antes da análise.

Podemos observar na Figura 9, a seguir, um monitor de computador, classificado como resíduo sólido eletrônico, parcialmente queimado em função do incêndio, além do solo impactado coberto por cinzas.



Figura 10: Resíduo eletrônico queimado em incêndio. Fonte: Autor.

Foi possível observar uma grande extensão de vegetação atingida, embora a predominância de espécies vegetais atingidas foram as gramíneas, deixando as árvores de média e grande porte praticamente intocadas.

De acordo com Bontempo (2006), o fogo pode provocar alterações significativas nos diferentes componentes do ecossistema, causando sérios impactos diretos ao meio ambiente, sendo que, também pode ser responsável por impactos indiretos como a deterioração paisagística, provocar acidentes em rodovias, fechamento de aeroportos, interrupção de transmissão de energia elétrica e aumento de problemas alérgicos e respiratórios, dependendo de sua intensidade.

A área atingida pelo incêndio foi consideravelmente grande, uma vez que boa parte do fundo de vale possuía como vegetação predominante as gramíneas e arbustos e

devido ao fato de que houve poucas chuvas nos últimos 2 (dois) meses, a umidade do ar estava muito baixa, o que ajudou na proliferação das chamas. Para o atributo de extensão foi atribuído um valor inicial de 65, em uma escala de 0 a 100, pois como podemos observar na Figura 11, apesar da grande área atingida a medida que se aproxima do rio o impacto reduz significativamente.



Figura 11: Extensão parcial atingida pelo incêndio. Fonte: Autor.

Para o atributo de intensidade, pelo fato de que, mesmo na área atingida e com, a vegetação, já seca pelo longo período sem precipitação, foi queimada apenas parcialmente. Foi considerado então um valor inicial de 60, numa escala de 0 a 100 para a intensidade.

De acordo com Sampaio et al. (2006), o tempo de recuperação dos impactos causados por um incêndio ambiental variam e dependem da intensidade do mesmo, além das características físicas do local, no entanto, na segunda análise, dia 17/08, foi possível observar que no local cresciam algumas gramíneas no local onde vegetação havia sido queimada, portanto foi atribuído o valor de 45 de 100 para a persistência do impacto.

Tabela 5: Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1, 2, 3$, do impacto Incêndio ambiental.

i	$P_{1,i}$	$P_{m,i}$	$P_{2,i}$
1	48,75	60	71,25
2	53,75	65	76,25
3	38,75	50	61,25

Fonte: Autor.

4.3.2. Diminuição de ocorrência de espécies nativas

Segundo Bernardy et al. (2011), denominam-se plantas invasoras as espécies oriundas de outra região que se adaptam e proliferam com grande facilidade dentro de seu ambiente não nativo, competindo assim, com as espécies nativas por nutrientes, luz solar e mesmo por espaço físico.

Portanto, a proliferação de espécies exóticas, principalmente em um ambiente já impactado e exposto a diversos estressores, como um fundo de vale urbano, pode causar danos severos a biodiversidade nativa, e a descaracterização do fragmento florestal.

Como apontado por IPPUL (2012), foi observado, dentre as espécies observadas em campo, uma grande quantidade de árvores exóticas, que em alguns pontos suplantavam visivelmente a vegetação nativa. As observações de campo confirmaram essa informação e, portanto foi atribuído um valor estimado de 65 de 100 para a intensidade do impacto observado.



Figura 12: Amarelinho (*Tecoma stans*), espécie invasora. Fonte: Autor.

Foram observadas espécies invasoras por toda a extensão do fundo de vale, no entanto em algumas áreas ainda se preservava a predominância de espécies nativas, principalmente na proximidade do córrego dos tucanos, porém são poucas e, portanto foi atribuído um valor estimado para a extensão do impacto de 75 de 100.

Devido à competição e o tempo necessário para o desenvolvimento de uma árvore de grande porte, o tempo de recuperação de um impacto causado pela invasão de espécies exóticas pode levar uma grande quantidade de tempo caso não seja feita intervenção, portanto se atribuiu um valor estimado de 80 de 100 para a propriedade de persistência do impacto.

Tabela 6: Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1, 2, 3$, do impacto diminuição de ocorrência de espécies nativas.

i	$P_{1,i}$	$P_{m,i}$	$P_{2,i}$
1	53,75	65	76,25
2	63,75	75	86,25
3	68,75	80	91,25

Fonte: Autor.

4.3.3. Perda de cobertura vegetal

A perda de cobertura vegetal, como o próprio nome indica é a descaracterização da vegetal natural, expondo o solo às intempéries, e além de ser por si só um impacto ambiental de grande importância, também influencia no surgimento de outros impactos.

Como apontado por IPPUL (2012), a ocupação do Vale por moradias irregulares contribuiu negativamente na conservação do solo e da água e na preservação das espécies vegetais e animais nativas, mesmo quando as moradias não estavam dentro da área de preservação. Isto se deve ao fato dos moradores realizarem o plantio de alimentos para a subsistência no entorno da moradia e fazerem a “supressão da vegetação arbustiva” da área, temendo os animais peçonhentos.

De acordo com Santos et al. (2000) as alterações sofridas pela cobertura vegetal, quer sejam naturais ou artificiais, produzem os mais variados impactos no meio ambiente, desde a alteração no regime de escoamento superficial da área até o aumento da erosão em locais de solo exposto.

Foi observada uma severa descaracterização da vegetação nativa, onde foram encontradas diversas clareiras e áreas descobertas ou somente com vegetação rasteira esparsa, como observado na Figura 13, sendo assim, atribuído um valor de 80 de 100 para a intensidade do impacto, de acordo com a estimativa inicial, visto que principalmente a medida que se afasta do córrego dos tucanos a vegetação reduz visivelmente, estando ausente em diversos pontos.



Figura 13: Desacampado observado no fundo de vale do córrego dos tucanos. Fonte: Autor.

A distribuição espacial dos fragmentos de vegetação nativa dentro do fundo de vale dos tucanos e bastante esparsa e está concentrada principalmente nas margens do

córrego, onde foi possível observar que houve uma perda de grande parte da cobertura vegetal em uma grande extensão, fato esse que foi agravado pelos recentes incêndios, portanto o valor atribuído à extensão do impacto foi de 75.

A maioria das espécies arbóreas podem levar anos para atingir a fase adulta, no entanto algumas espécies de menor porte se desenvolvem e proliferam mais rapidamente e podem recuperar parcialmente a cobertura vegetal em menor tempo, portanto foi atribuído um valor de 60 para a persistência do impacto.

Tabela 7 Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1, 2, 3$, do impacto perda de cobertura vegetal.

i	$P_{1,i}$	$P_{m,i}$	$P_{2,i}$
1	68,75	80	91,25
2	63,75	75	86,25
3	48,75	60	71,25

Fonte: Autor.

4.3.4. Aparecimento de vetores

O aparecimento de vetores causadores de doença pode ser causado, entre outros fatores, pela disposição inadequada de resíduos sólidos sobre o solo, devido ao acúmulo de água no local e matéria orgânica gerando a situação ideal para a proliferação de macro vetores, que muitas vezes são portadores de doenças, como ratos, baratas e o mosquito *Aedes aegypti*, principal vetor do vírus da dengue.

Londrina já contou no passado com importantes epidemias de dengue, datado algumas desde 1995, como apontado por Mendonça et al. (2003) a pandemia de dengue ocorrida na América do Sul no ano de 2003, e se tornou um fator recorrente em anos posteriores, portanto é um dos principais vetores a se levar em conta quando se estuda proliferação de vetores, também pela sua facilidade de reprodução de seu principal vetor o *Aedes Egypt*, onde Mendonça (2003) aponta que o fator climático é determinante para o seu surgimento e que, portanto, as mudanças climáticas percebidas em todo o Paraná, e o aumento na temperatura registrado nos últimos anos, pode ser favorável à elevação na ocorrência da dengue, em virtude de tal aquecimento.

Foi observado um volume baixo de resíduos sólidos, em geral espalhados em pequenos focos, embora se estime que parte do material tenha sido queimada no

incêndio que precedeu as análises e, portanto se apresenta uma certa dificuldade para realizar uma análise mais aprofundada, no entanto, de acordo com o observado em campo podemos estimar um valor de intensidade do impacto de aproximadamente 35 de 100 devido ao fato, juntamente com o citado anteriormente, não foi identificada uma grande quantidade de resíduos capaz de reter água ou oferecer abrigo a macro vetores como ratos e baratas.

Os resíduos foram encontrados de forma esparsa e em pequena quantidade, com apenas alguns focos ao longo do local observado, geralmente de descartes pontuais próximos a calçada, portanto, quanto à espacialidade do impacto, foi atribuído um valor estimado de 30 de 100.



Figura 14: Resíduos encontrados no local. Fonte: Autor.

Quanto à persistência, normalmente resíduos sólidos apresentam um longo período de deterioração, dependendo de seu material e, portanto a persistência do impacto se dá de acordo com as características do material e não da intensidade do impacto. Como o material encontrado no local (vidro, telhas, resíduos eletrônicos) é em sua maioria de decomposição lenta, foi atribuído um valor de persistência do impacto de 75 de 100.

Tabela 8 Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1, 2, 3$, do impacto aparecimento de vetores.

i	$p_{1,i}$	$p_{m,i}$	$p_{2,i}$
1	23,75	35	46,25
2	18,75	30	41,25
3	63,75	75	86,25

Fonte: Autor.

4.3.5. Deterioração da paisagem natural

A deterioração da paisagem natural pode ser entendida como o impacto causado por qualquer fator que venha a causar alteração significativa na percepção do local ao observador em detrimento de sua aparência natural, causando perda da atratividade do local e reduzindo a estética proporcionada por aquele determinado local.

De acordo com Guedes e Pasqualetto (2007) atividades antrópicas são responsáveis por impactos em todos os elementos dos recursos naturais presentes em um ecossistema, sendo que, solo, vegetação e fauna são os três primeiros fatores ambientais a serem afetados onde os vários componentes ecológicos são inter-relacionados de forma que um impacto em um único fator ambiental pode eventualmente resultar em efeitos sobre vários outros elementos.

Devido à severa perda de vegetação, aos resíduos encontrados na paisagem e aos recentes incêndios que deram um aspecto desagradável ao local de estudo, pôde se observar que a paisagem natural se encontra bastante deteriorada, portanto foi atribuído um valor de 70 para a intensidade do impacto.



Figura 15: Comparação entre área severamente alterada e fragmento que ainda apresenta algumas de suas características naturais. Fonte: Autor.

Foi observado ao longo de quase toda a extensão do fundo de vale algum tipo de deterioração na paisagem, desde resíduos sólidos descartados sobre o solo que, segundo

Guedes e Pasqualetto (2007), alteram significativamente a percepção da experiência natural do local analisado, perda de vegetação natural formando descampados, até extensas áreas queimadas, tornando a vista em muitas dessas áreas, desagradável, um sinal claro de que o local se encontra impactado. Portanto se estimou um valor alto para a propriedade de extensão do impacto, equivalente a 80 de 100.

Pelo mesmo motivo abordado no capítulo 4.3.2., a recuperação da paisagem natural requer a recuperação da vegetação, embora não necessariamente nativa, mas exige o tempo necessário para a recuperação do ecossistema estudado, e em um ambiente degradado isso pode levar uma grande quantidade de tempo, podemos, até mesmo, não se recuperar caso não haja intervenção humana. Portanto, de acordo com o observado em campo foi estimado um valor de persistência igual a 75 de 100.

Tabela 9 Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1, 2, 3$, do impacto deterioração da paisagem natural.

i	$P_{1,i}$	$P_{m,i}$	$P_{2,i}$
1	58,75	70	81,25
2	68,75	80	91,25
3	63,75	75	86,25

Fonte: Autor.

4.3.6. Compactação do solo

A compactação do solo pode ser fruto de diversas atividades, tanto antrópicas quanto naturais, no entanto, no ambiente de fundos de vale urbanos, se dá principalmente pela ocupação irregular das imediações do local.

Segundo Amorim (2003) a ocupação antrópica inadequada de áreas de fundo de vale pode ser responsável pela geração de uma diversidade de impactos ambientais, desde a impermeabilização do solo por projetos de construção civil, aumento do escoamento superficial provocado pela compactação do solo, entre outros.

O local analisado apresentou baixa intensidade de trânsito humano diretamente sobre o fundo de vale, pois o mesmo se encontra cercado em diversos pontos, a não ser na área de ocupação irregular, no entanto está não apresenta muita significância em comparação com a área total do fundo de vale, portanto, proporcionalmente, estimou-se um valor de Intensidade igual a 25 de 100.



Figura 16: Cerca de proteção no entorno do fundo de vale. Fonte: Autor.

Da mesma maneira, a área sujeita a compactação do solo está isolado a um ponto específico, portanto adotou-se um valor estimado de extensão 30 de 100.

Quanto à persistência do impacto, adotou-se um valor 60 de 100, pois o local que já está compactado, principalmente em um solo argiloso, que é o caso do fundo de vale do córrego dos tucanos, é de difícil recuperação e pode acarretar uma série de outros impactos, como a compactação do solo e a erosão superficial, e sua recuperação pode ser demorada caso não se tome medidas de remediação.

Tabela 10 Representação dos números fuzzy para cada uma das propriedades $p_i, i = 1, 2, 3$, do impacto Compactação do solo.

i	$P_{1,i}$	$P_{m,i}$	$P_{2,i}$
1	13,75	25	36,25
2	18,75	30	41,25
3	48,75	60	71,25

Fonte: Autor.

4.1. Avaliação dos impactos ambientais

A partir das informações levantadas, os dados foram compilados e se encontrou os valores de V para cada um dos impactos supracitados. Os dados encontrados foram organizados na Tabela 11, a seguir:

Tabela 11: Compilação e tratamento dos dados para a obtenção do valor de cada impacto individual.

Impacto	Propriedade	Característica	P_{1,i}	P_{2,i}	Intervalo de confiança [α]	v1	v2	c	V1	V2
Incendios Ambientais	p1	Intensidade	48,75	71,25	0,25	56,952	92,621	0,5	61,10124	88,06715
	p2	Extensão	53,75	76,25	0,25	53,750	76,250	0,3		
	p3	Persistencia	38,75	61,25	0,25	82,502	94,408	0,2		
Diminuição da área de ocorrência de espécies nativas	p1	Intensidade	53,75	76,25	0,25	68,565	95,391	0,2	74,50154	92,03978
	p2	Extensão	63,75	86,25	0,25	63,750	86,250	0,5		
	p3	Persistencia	68,75	91,25	0,25	96,378	99,456	0,3		
Perda de cobertura vegetal	p1	Intensidade	68,75	91,25	0,25	90,720	98,933	0,5	82,33283	94,72155
	p2	Extensão	63,75	86,25	0,25	63,750	86,250	0,3		
	p3	Persistencia	48,75	71,25	0,25	89,240	96,900	0,2		
Aparecimento de vetores	p1	Intensidade	23,75	46,25	0,25	9,796	50,747	0,2	39,87617	60,48177
	p2	Extensão	18,75	41,25	0,25	18,750	41,250	0,5		
	p3	Persistencia	63,75	86,25	0,25	95,140	99,025	0,3		
Deterioração da paisagem natural	p1	Intensidade	58,75	81,25	0,25	78,243	97,153	0,5	78,77447	95,75622
	p2	Extensão	68,75	91,25	0,25	68,750	91,250	0,3		
	p3	Persistencia	63,75	86,25	0,25	95,140	99,025	0,2		
Compactação do solo	p1	Intensidade	13,75	36,25	0,25	3,842	27,486	0,2	36,91529	55,19199
	p2	Extensão	18,75	41,25	0,25	18,750	41,250	0,5		
	p3	Persistencia	48,75	71,25	0,25	89,240	96,900	0,3		

Legenda:

Fonte: Autor, 2013.

A partir dos dados obtidos acima, foi realizada a hierarquização dos impactos, a fim de se obter o estimador h_f para cada um dos impactos que determina a contribuição individual de cada impacto para o impacto total respeitando a regra de que:

$$\sum_{f=1}^F h_f = 1$$

Tabela 12: Hierarquização dos impactos de acordo com opinião do quadro de especialistas.

Hierarquia de impactos	h_f
Perda de cobertura vegetal	0,275
Diminuição da área de ocorrência de espécies nativas	0,25
Incêndios Ambientais	0,2
Compactação do solo	0,15
Impermeabilização do solo	0,1
Deterioração da paisagem natural	0,025

Fonte: Autor.

Portanto, após a aplicação das equações correspondentes, obtemos os seguintes impactos totais:

Tabela 13: Estimação do valor total de impacto (VT) através da contribuição individual de cada impacto (V).

V1	V2	h_f	VT1	VT2
61,1012	88,0671	0,275	66,6765	86,2004
74,5015	92,0398	0,25		
82,3328	94,7216	0,2		
39,8762	60,4818	0,15		
78,7745	95,7562	0,1		
36,9153	55,192	0,025		

Fonte: Autor.

Obtendo-se assim um numero fuzzy representativo dos impactos totais $\overline{VT} = (66,6765; 76,4385; 86,2004)$.

É de grande importância salientar que os valores de VT_1 e VT_2 são os limites do vetor \overline{VT} , representado pelo numero Fuzzy obtido através do resultado da aplicação do modelo, e também que só foram considerados os impactos negativos nas análises.

De acordo com o método de desfuzzificação a partir do centroide, o estimador pontual de impactos é o valor modal de \overline{VT} , VT_m , como observado na Tabela a seguir:

Tabela 14: Valores dos limites do numero fuzzy \overline{VT} .

VT1	VTm	VT2
66,6765	76,4385	86,2004

Fonte: Autor.

Portanto podemos assumir o estimador pontual de impactos VT como igual a 76,4385.

De acordo com a Tabela 4, o valor obtido para o estimador pontual de impacto está compreendido no intervalo correspondente a classificação médio-alta, portanto indicando que a área estudada apresenta níveis consideráveis de impactos ambientais.

Os valores obtidos foram compatíveis com as previsões do autor e do professor Dr. Marcelo Eduardo Freres Stipp, visto que o local se apresentava ambientalmente de maneira bem precária, com vegetação queimada, grandes clareiras abertas em meio a rala vegetação e ocupação irregular.

Infelizmente essa é uma realidade muito frequente em fragmentos florestais urbanos onde a proximidade com diversos estressores e fatores passíveis de causar perturbação e alterações no meio aliada a falta de cuidados e fiscalização acaba por fornecer um produto marginalizado, despojado de seus valores em benefício de um rápido crescimento econômico.

5. Conclusão

Conclui-se que a proposta de aplicação do modelo baseado em lógica fuzzy para avaliação de impactos ambientais, para o auxílio à tomada de decisão, tem uma aplicação satisfatória, pois produz indicadores que podem vir a ser utilizados sem ressalvas. As condições ambientais a serem analisadas, dependendo do escopo da pesquisa, são embasadas por esta metodologia devido ao cerco científico que delimita os impactos diretos e também os indiretos.

A utilização da valoração da vulnerabilidade ambiental permitiu, através de dados obtidos por indicadores indiretos, a definição de um importante fator que serve principalmente para ajudar a nortear a definição de escopo e hierarquização dos impactos no processo subsequente de AIA, sendo, portanto, uma importante ferramenta e indispensável quando se trabalha com dados que possuem alto grau de incerteza.

O local analisado apresentou, portanto, uma vulnerabilidade média, com o valor de 3,125, e um valor de impacto igual a 76,4385, onde de acordo com o índice criado é um valor médio-alto, indicando ser um local de risco ambiental e que requer atenção especial para qualquer ação ou intervenção realizada que possa vir a ser realizada no local.

Fica como recomendação para futuros trabalhos que seja expandido o quadro de impactos a fim de ampliar a abrangência do estudo, visto que esse trabalho se limitou apenas a aplicação do método sem a preocupação de uma análise mais profunda, sugere-se também uma discussão mais aprofundada com os “*stakeholders*” (partes interessadas), antes de se definir o escopo do trabalho a fim de promover a melhor modelagem do problema de acordo com o resultado esperado.

REFERÊNCIAS

Amorim, L. M., Cordeiro, J. S., *Impactos ambientais provocados pela ocupação antrópica de fundos de vale*, Universidade federal de São Carlos, 2003.

Bernardy, K., Mendes, L. K., Schweig, S., Copatii, C. E., *O impacto de plantas exóticas para a biodiversidade e meio ambiente*. XVI seminário interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão. Unicruz, 2011.

Brasil. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm>, acesso dia 14 de fevereiro de 2013.

Bontempo, G. C., *Ocorrência de incêndios florestais e educação ambiental nos parques abertos à visitação pública em Minas Gerais*. Dissertação para a obtenção do título de Magister Scientiae. Viçosa, Minas Gerais, 2006.

Brundtland, G. H. (1987) *Our common future*, Disponível em: <<http://www.un-documents.net/ocf-01.htm#I.2>>, Acesso dia 12 outubro de 2012.

Caputo, H. P., **Mecânica dos Solos e suas aplicações**, Livros Técnicos e Científicos LTDA, 6ª edição, p. 236, 1988.

Cashmore M., *The role of science in environmental impact assessment: process and procedure versus purpose in the development of theory*, Environmental Impact Assessment Review, v.24, pg. 403–426, 2004.

Enea M., Salemi G., *Fuzzy approach to the environmental impact evaluation*, Ecological Modeling, v.135, p. 131-147, 2001.

Fogliatti, M. C., Fillipo, S., Goudard, B., **Avaliação de Impactos Ambientais: Aplicação aos sistemas de transporte**, Interciência, p. 249, Rio de Janeiro, 2004.

Guedes, M. S., Pasqualetto, A., *Avaliação dos Impactos Ambientais No Parque Botafogo, Goiânia - GO*. Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2007.

Guerra, A. J. T., Cunha, S. B., **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**, Editora Bertrand Brasil LTDA, p. 416, Rio de Janeiro, 2010.

Hundloe, T., McDonald, G. T., Ware, J., Wilks, L., *Cost-benefit analysis and environmental impact assessment*, Environmental Impact Assessment Review, v.10, p. 55-68, 1990.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=411370>>, Acesso dia: 21 de agosto de 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Plano Nacional de Saneamento Básico*, Brasil, 2008.

IPPUL, Programa de desenvolvimento urbano sustentável de londrina - BR-L1094: Plano de restauração ambiental do fundo de vale do córrego tucanos. Londrina, 2012.

Jay, S., Jones, C., Slinn, P., Wood, C., *Environmental impact assessment: Retrospect and prospect*, Environmental Impact Assessment Review, v.27, p.287–300. 2007.

Kværner, J., Swensen, G., Erikstad, L., *Assessing environmental vulnerability in EIA—The content and context of the vulnerability concept in an alternative approach to standard EIA procedure*. Environmental Impact Assessment Review, vol. 26, p. 511–527, 2012.

Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., Balsley, J. R., *A procedure for evaluating Environmental Impact* Geological Survey Circular 645, p. 14, Washington, 1971.

Mendonça, F., de Paula E. V., Oliveira, M. M. F., *Aspectos sócio-ambientais da expansão da dengue no paraná*, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

Oliveira, F. F. G., Medeiros, W. D. A., *Bases teóricas Conceituais para avaliação de impactos ambientais em EIA/RIMA*, Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 06, número 11, p. 14, 2007.

Peche, R., Rodriguez, E., *Environmental impact assessment procedure: A new approach based on fuzzy logic*, Environmental Impact Assessment Review, v.29, p.275–283, 2009.

Peche, R., Rodriguez, E., *Environmental impact assessment by means of a procedure based on fuzzy logic: A practical application*, Environmental Impact Assessment Review, v.31, p.87–96, 2009.

Rodrigues, J., Bezerra, L., Lima, O. A., *Simulação baseada em software livre de um sistema robótico fuzzy*, disponível em: <<http://www3.eletronica.org/artigos/simulacao-baseada-em-software-livre-de-um-sistema-robotico-fuzzy>> Acesso em 12 de agosto de 2013.

Ross, J. L. S. *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados*. Revista do Departamento de Geografia. n.8, p.63-74. 1994.

Sampaio, M. V., Pereira, J. L., Salbego, A. G., Santos, M. S., Nunes, M. S., Rocha, J. S. M., *Impacto ambiental de um incêndio florestal ocorrido na região central do Rio Grande do Sul*, 2002.

Santos, C. A. G., Suzuki, K., Watanabe, W., Srinivasan, V.S., *Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano*, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p. 92-96, 2000.

Transcheit, R., **Sistemas fuzzy**, Pontífice Universidade Cristã, PUC-Rio, Rio de Janeiro, p. 35, 2005.

Tommasi, L. R., **Estudo de Impacto Ambiental** São Paulo: CETESB: Terragraph Artes e informática, 1ª edição, p. 354, 1994.

Toro, J., Duarte, O., Requena, I., Zamorano, M., *Determining Vulnerability Importance in Environmental Impact Assessment: The case of Colombia*. Environmental Impact Assessment Review v. 32, p.107–117, 2012.

Turner II, B. L., *Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science?* Global Environmental Change, vol. 20, p. 570–576, 2010.

Wood, G., *Thresholds and criteria for evaluating and communicating impact significance in environmental statements: ‘See no evil, hear no evil, speak no evil’?*, Environmental Impact Assessment Review, v.28, p.22–38, 2008.

ANEXOS

