

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

FÁBIO NOWAK DA SILVA

Modelagem Fuzzy aplicada a Políticas Públicas:

Proposta de um Índice Municipal de Qualidade Ambiental.

Sorocaba
2015

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências
ambientais



unesp
Sorocaba

FÁBIO NOWAK DA SILVA

*Modelagem Fuzzy aplicada a Políticas Públicas:
Proposta de um Índice Municipal de Qualidade Ambiental.*

Texto para obtenção do título de Mestre
em Ciências Ambientais da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
na Área de Concentração Diagnóstico,
Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. José Arnaldo
Frutuoso Roveda

Sorocaba
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Silva, Fábio Nowak da
Modelagem Fuzzy aplicada a Políticas Públicas:
Proposta de um Índice Municipal de Qualidade
Ambiental / Fábio Nowak da Silva. -- 2015.
57 f.

Orientador: José Arnaldo Frutuoso Roveda.

Dissertação(mestrado) - Universidade Estadual Paulista-Sorocaba/SP
Programa de pós graduação em Ciências Ambientais ,2015

1. Índice de qualidade ambiental. 2. Modelagem
Fuzzy. 3. políticas públicas . I. Frutuoso Roveda,
José Arnaldo, orient. II. Título.

Resumo

O objetivo desse trabalho foi construir um índice de qualidade ambiental para o município de Votorantim (SP), fuzzy aplicado ao suporte às decisões do Conselho Municipal de Meio Ambiente (COMDEMA). Através da construção de um sistema de coleta de informações previamente estruturado, cria-se um modelo matemático, utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy, observando a realidade econômica, social, administrativa e ambiental do município. Foram selecionados três grupos de indicadores como forma de buscar uma equação que expresse da melhor forma possível a realidade do município com relação à sua qualidade ambiental unidos, posteriormente, em um índice global. O cálculo foi realizado segundo conceitos da matemática “fuzzy”, com auxílio do pacote *Fuzzy Logical Toolbox 2.1* do programa Matlab® 6.1 (The MathWorks, Inc.), que disponibiliza arquivos e funções destinados a algumas aplicações da teoria de conjuntos fuzzy. O trabalho criou um método de inferência sobre a ação antrópica nas cidades em relação ao meio ambiente, muitas vezes relegado a segundo plano nas discussões de políticas públicas. A elaboração deste índice e sua aplicação ao município de Votorantim, serviu como uma importante ferramenta de mobilização social em prol de índices melhores pois sua comparação entre a primeira inferência, no ano de 2000, e a segunda, no ano de 2013, houve evolução local. Portanto possibilitando mensurar o desenvolvimento da localidades diversas.

Palavras-chave: Índice de qualidade ambiental, Modelagem Fuzzy, políticas públicas

ABSTRACT

The aim of this study was to develop an environmental quality index for the city of Votorantim (SP), fuzzy applied to support the decisions of the Municipal Council for the Environment (COMDEMA). By building a previously structured information collection system, it creates a mathematical model using the theory of fuzzy sets, noting the economic reality, social, administrative and environmental municipality. Three groups of indicators were selected in order to seek an equation that expresses in the best way possible the reality of the city with respect to its environmental quality together later in a global index. The calculation was performed according to concepts of mathematics "fuzzy", with the help of Fuzzy Logical Toolbox 2.1 program package Matlab 6.1 (The MathWorks, Inc.), which provides functions for files and some applications of the theory of fuzzy sets. The work created a method of inference about human action in cities in relation to the environment, often relegated to the background in public policy discussions. The development of this index and its application to the municipality of Votorantim, served as an important social mobilization tool serving the best rates for your comparison between the first inference, in 2000, and the second, in 2013, there was local development .so measure enabling the development of several locations.

Keywords: Environmental Quality Index, Fuzzy Modeling, public policy

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	05
1.1	Justificativa e relevância.....	05
1.2	Objetivo geral.....	07
1.3	Objetivos específicos.....	07
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	08
2.1	O termo desenvolvimento sustentável.....	08
2.2	Legislação.....	11
2.3	A governança participativa e os conselhos municipais de meio ambiente.....	14
2.4	Os conselhos municipais de meio ambiente.....	15
2.6	Índices e indicadores.....	18
2.7	Aplicação de indicadores de sustentabilidade.....	27
2.8	Limitação do uso de indicadores.....	29
3	TEORIA FUZZY.....	29
3.1	Método de fuzzificação.....	31
3.2	Base de regras.....	32
3.3	Método de inferência.....	32
3.4	Método de defuzzificação.....	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1	A Área de estudo	33
4.2	Construção do índice fuzzy de qualidade ambiental.....	34
5	A MODELAGEM FUZZY.....	42
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6.1	O Índice de qualidade Ambiental Municipal	46
6.1.1	Qualidade de Vida Humana.....	46
6.1.2	Pressão Antrópica.....	47
6.1.3	Capacidade Institucional.....	47
6.1.4	Índice de Qualidade Ambiental	48
6.2	O Município de Votorantim.....	49
7	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

Com a intenção de realizar a defesa dos interesses ambientais da sociedade civil, registrar dados de avaliação, informações e apoio técnico, para que seja possível tomar decisões melhor fundamentadas este trabalho propõe um modelo de informações ambientais, fundamentado em banco de dados e sistemas de informações das diversas áreas de atuação da municipalidade, como saúde, educação, urbanismo e meio ambiente. A expectativa é que o modelo atue como uma ferramenta para auxiliar as instituições relacionadas à gestão e fiscalização, mais especificamente o Conselho Municipal de Meio Ambiente (COMDEMA) e a todos os agentes interessados, existente no setor ambiental do município. Assim esse modelo desenvolvido para a cidade de Votorantim-SP, Brasil, apresenta a criação de um índice de qualidade ambiental que permita agregar todas as informações levantadas pelo sistema proposto.

Nos últimos anos, padrões de produção e consumo têm sido os assuntos mais mobilizados na busca da conscientização sobre a atitude sustentável. A sobrevivência no planeta e a conservação da conjuntura ambiental às próximas gerações, têm mediado as classes políticas, sociais e econômicas, sendo assim, inserir nos processos de gestão dos ambientes urbanos, o conceito de desenvolvimento sustentável é fundamental. Apesar do crescimento ocorrido nas cidades, não houve desenvolvimento, estes espaços sofreram impactos gigantescos para a qualidade de vida das pessoas e para as condições ambientais.

Apesar dos objetivos desejados para todos os municípios, como desenvolvimento social e econômico para toda população, habitações adequadas, abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo adequado dos resíduos, a situação apresentada pela teia urbana brasileira é outro. Segundo Bezerra e Fernandes (2000, p. 36) os principais problemas urbanos são:

- a) crescimento desordenado e, por vezes, excessivamente concentrado;
- b) demanda não atendida por recursos e serviços;
- c) obsolescência da estrutura física e administrativa existente;
- d) ineficácia da gestão de políticas pública; e,

e) pela deterioração progressiva do meio ambiente urbano.

Com o processo de urbanização, em forte ascensão na sociedade mundial e as tendências de crescimento apresentadas, apontam para a necessidade de melhoria da qualidade dos espaços urbanos, alcançada pela redução da pressão populacional e da possibilidade de resposta eficaz dos serviços, de infraestrutura em curto ou médio prazo. Portanto a gestão é a variável a ser trabalhada, e que poderá apresentar resultados mais rápidos, com políticas urbanas, integradas e participativas, que possibilitem o desenvolvimento sustentável, alicerçado no equilíbrio entre o desenvolvimento social, o econômico e a preservação ambiental.

De acordo com (RIBEIRO; SANTOS JÚNIOR, 1994), o grau de complexidade de uma cidade, junto à questão da gestão urbana depender de política pública, permeadas por disputas e conflitos de interesse, requer objetivos e instrumentos, mais ágeis e eficazes, garantindo governabilidade dos principais interessados.

Instrumentos como gestão participativa, sistemas de avaliação de desempenho e metodologias de apoio à decisão que diagnosticassem o nível de qualidade urbana, alterariam muito o panorama das cidades no país.

A gestão pública precisa do planejamento estratégico para lidar com mudanças e de criar um futuro melhor para as cidades (ACSELRAD, 2001; ARANTES; VAINER; MARICATO, 2002; SOUZA, 2003). Mas junto ao complexo ambiente urbano, soma-se a existência de múltiplos critérios levados em conta no processo de sustentabilidade. A utilização de indicadores urbanos, acessíveis a todos, que possuem algum interesse na construção desse espaço de convivência, faria da gestão participativa, a resposta para a avaliação e a criação de soluções que projetem os resultados das diversas alternativas disponíveis, contribuindo de forma significativa para a melhoria da qualidade dos ambientes urbanos.

1.1. Justificativa e relevância

Sendo o município o ente governamental que mais sofre influência de agentes externos, principalmente pela sua proximidade a população. Conforme define Carvalho (2003), é visível que nessa esfera, as políticas públicas são direcionadas para a descentralização, porém, os interesses particulares podem se

tornar extremamente danosos. Assim, cabe ao estado definir diretrizes em relação ao meio ambiente, enquanto o controle e fiscalização dos sistemas de produção devem ser exercidos em parceria com a sociedade.

A adoção de indicadores poderá atuar como ferramenta de fomento às pressões sociais por políticas públicas sustentáveis.

O uso dos indicadores como difusor de informação e comunicação apresenta um importante papel na mobilização social, capaz de direcionar condutas pessoais e inferir sobre as políticas públicas.

Segundo Braga et al (2003), os índices e indicadores são poderosas ferramentas para consolidação e direcionamento de políticas públicas de preservação ambiental.

Para elaboração e cálculo deste índice, utilizou-se indicadores e parâmetros já computados por órgãos públicos e entidade civis como: CETESB, Polícia Ambiental, DEPRN, SAAE, Prefeitura, Secretaria Estadual de Educação e IBGE, o que torna a utilização deste índice algo factível a este município, assim como a metodologia proposta possível de adequação e adaptável a realidade de outros municípios.

1.2. Objetivos

Elaborar e exemplificar indicadores de gestão urbana, que auxiliem no processo resolutivo dos gestores das políticas pública da administração municipal de forma a possibilitar o desenvolvimento sustentável.

- Identificar indicadores relevantes para a gestão municipal com vistas ao desenvolvimento sustentável
- Propor uma modelagem fuzzy para aplicação em processos decisórios.
- Exemplificar as propostas em um estudo de caso na cidade de Votorantim-SP

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O termo desenvolvimento sustentável.

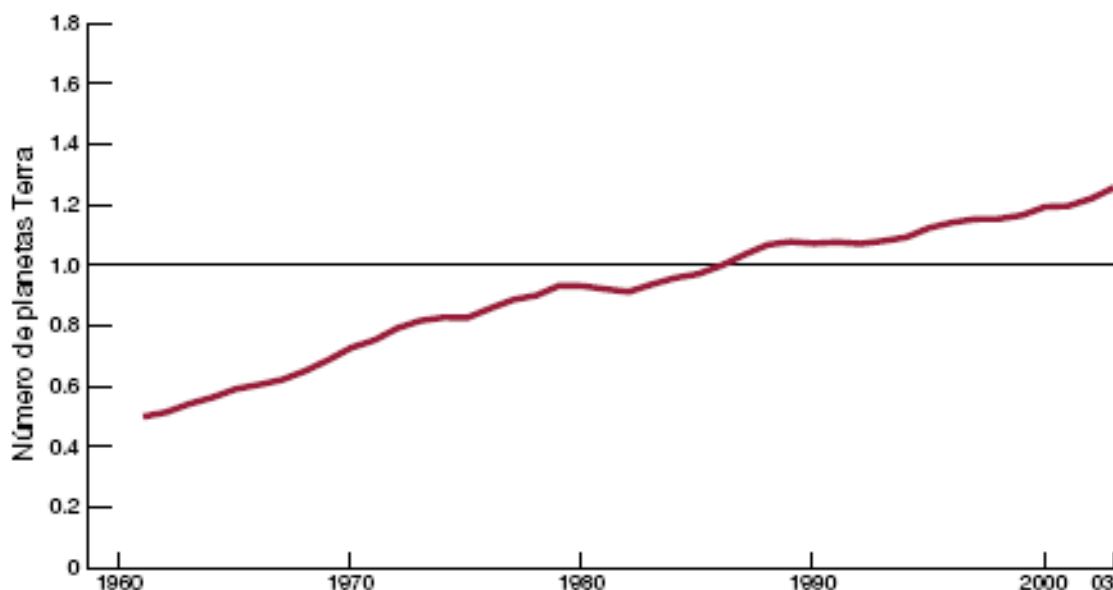
Desenvolvimento sustentável conceito obrigatório nas discussões sobre gestão ambiental e políticas públicas origina-se de acordo com Bellen (2002), na contínua ação antrópica sobre o meio ambiente, com início nos anos 70, marcados por fatos como a Conferência de Estocolmo e o relatório do Clube de Roma, tendo como principal pauta os limites para o crescimento econômico.

A introdução de aspectos de qualidade de vida dentro da esfera municipal conforme Nahas (2004) foi inserido nas ações políticas pela associação dessa variável a degradação do ambiente local ocasionado pelo crescimento urbano desordenado.

Esse cenário faz das cidades concentrações humanas predatórias do ponto de vista ambiental. Odum (1988) associa os municípios modernos a parasitas que não produzem seu próprio alimento e não permite o equilíbrio de recursos naturais devido à falta de planejamento desses espaços. E isso projetado na realidade brasileira ocasiona um verdadeiro “caos” já que 81% da população vivem em cidades (Dias, 2002).

Na tentativa de expressar essa forma de consumo inapropriado que impossibilita a renovação dos recursos naturais, assim como a absorção dos resíduos gerados pelas atividades humanas, William Rees, ecologista e professor da Universidade de Colúmbia Britânica, em 1995, junto a Mathis Wackernagel publicou o livro *“Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth”* onde foi pela primeira vez utilizado o índice denominado “Pegada Ecológica”, nos seus registros foi constatado que entre 1980 e 1990, a população global ultrapassou a capacidade natural de restituir os recursos naturais e integrar os resíduos gerados, a figura 01 ilustra o crescimento deste índice (Simão & Souza-Lima, 2007).

Figura 01: Evolução do Índice “Pegada Ecológica” no período de 1960 a 2003.



Fonte: Relatório planeta vivo 2006 – Word Wildlife Fund (WWF) apud Simão & Souza-Lima (2007).

A industrialização, que de sinônimo de desenvolvimento se transformou, em vilão da condição ambiental equilibrada.

Segundo Bellen (2002), desastres ambientais como o da Baía de Minamata (Japão), acidente de Bhopal (Índia), acidente nuclear de Chernobyl (extinta União Soviética) e o vazamento de petróleo da Exxon Valdez (América do Norte) foram responsáveis pela abertura de acirrados debates do quanto o crescimento econômico justifica a degradação ambiental.

Nesse contexto o relatório anual do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), em 1990, trouxe uma nova forma de mensurar o desenvolvimento social, instituindo o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) como forma mais adequada de medir verdadeiramente o avanço de uma sociedade. O IDH é um índice que mede riqueza, alfabetização, educação, esperança de vida e natalidade dos países. Sua incorporação nas pautas da sociedade civil vem acontecendo com grande frequência, segundo Hays apud Egri & Pinfield (1999).

Na questão ambiental como um dos marcos, Rachel Carson publicou em 1962, “Primavera Silenciosa”, associando dilemas ambientais a ação antrópica e suas tecnologias de produção, demonstrando, através de pesquisas, o risco que a espécie humana corria ao manter esses métodos.

Ecodesenvolvimento foi o termo proposto por Maurice Strong em 1973, que articulava uma definição de desenvolvimento ambientado em áreas rurais, utilizando recursos naturais locais. Sendo esse um dos passos iniciais na construção do conceito desenvolvimento sustentável. Que aprofundado pelo economista Ignacy Sachs, na década de 80, passa a apoiar esse modelo em três pilares: eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica.

Mas foi em 1983 com o lançamento do relatório "Nosso Futuro Comum" que o termo desenvolvimento sustentável foi literalmente registrado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, propondo, a longo prazo, estratégias ambientais sólidas.

Ainda incompleto (Benetti, 2006) coloca, o termo, como um verdadeiro desafio de garantir que toda a filosofia contida em sua definição transite para ações praticas e de implementação possível.

Por ultimo, em 1992, a Organização das Nações Unidas (ONU) apresentou a Agenda 21, uma proposta estratégica que busca ações participativas na elaboração de políticas públicas. Sendo apontado como um método prático de levar gestão ambiental as administrações municipais, materializando o ideal de desenvolvimento sustentável.

Portanto dentro das afirmações apresentadas anteriormente fica evidente a necessidade de mudança nos conceitos de desenvolvimento, caso contrário o desenvolvimento sustentável será uma ilusão.

No âmbito local, para contribuir para essa mudança, propõe-se a elaboração e aplicação de um índice de qualidade ambiental que possa apontar um diagnóstico das relações antrópicas com o meio ambiente e como essa relação pode ser mediada pelo ente responsável pela gestão do espaço municipal.

Essa ferramenta tem como escopo impulsionar mudanças de atitude dos diversos setores interessados na instituição de um ambiente urbano melhor. Por meio de uma comunicação clara e de interpretação rápida age como uma mola propulsora para que a sociedade se torne mais ativa nas decisões e no desenvolvimento de políticas públicas adequadas a localidade e ao momento vivido pela comunidade que lá habita.

2.2. Legislação

A Constituição Federal de 1988 em seu artigo 30 combinado ao artigo 182 define que a política urbana das cidades possui competências e atribuições observando os seguintes elementos:

- Executar a política municipal de desenvolvimento urbano;
- Promover adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano;
- Proteger o patrimônio artístico, histórico-cultural e natural local;
- Proteger o meio ambiente.

Consecutivamente o Estatuto das Cidades (Lei Federal 10.257) responsável por regulamentar os artigos anteriores, tem como principal característica o equilíbrio ambiental:

“Art. 2º - A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais:

I - garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infra-estrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações.

II - planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente”.

Além de estabelecer que na instituição do Plano Diretor, que deve ter a participação popular, seja criado unidades de conservação, zoneamento ambiental, estudos prévios de impacto ambiental (EIA), impacto de vizinhança (EIV), proteção, preservação e conservação do meio ambiente natural.

A vista disso é possível observar com clareza que o termo desenvolvimento sustentável aplicado às políticas de desenvolvimento urbano é fortemente impulsionado, pela já citada lei, na direção de garantir aos munícipes uma qualidade de vida digna, eliminar a pobreza e reduzir a desigualdade (Silva, 2008).

Como resposta a essa gama de problemas exige-se da Gestão Pública Municipal eficiência no planejamento, organização, supervisão e avaliação dos serviços de interesse público apontando como finalidade defender e conservar o meio ambiente através de ações práticas e aprimorar mecanismos já existentes. Fato esse observado na Lei no 6.938/81(Política Nacional de Meio Ambiente) que atribui à administração o perfeito uso dos recursos ambientais, por meio de ações ou medidas econômicas, com a finalidade de manter ou recuperar a sua qualidade, assegurando a produtividade dos recursos e o desenvolvimento social. Na conjuntura apresentada à gestão ambiental urbana ganha papel de destaque na garantia efetiva da melhoria na qualidade de vida, Silva (2008)

2.3. A governança participativa e os conselhos municipais de meio ambiente

A esfera local é a que se encontra mais próxima do cotidiano da população geral. Assim a partir da gestão eficaz dessa parte do poder público, o município, que são desenvolvidas ações capazes de prevenir desastres, com um diagnóstico assertivo, e solucioná-los planejando e implementando ações resolutivas. Além do mais a cidade é o local, onde se podem buscar caminhos para um desenvolvimento que harmonize o crescimento econômico com o bem-estar da população, desenvolvendo assim plenamente o conceito de sustentabilidade.

É cada vez mais crescente a adesão dos municípios brasileiros na resolução dos problemas que envolvem a qualidade ambiental. Por essa razão é que têm sido criados mecanismos e tecnologias para aumentar a conscientização e promover a mudança de costumes de cada indivíduo que faz parte da sociedade brasileira. Portanto o que se procura é maximizar a participação popular, junto ao Poder Público, para, conjuntamente, planejar e gerir os recursos necessários tendo como foco principal o bem estar social.

Assim o Conselho Municipal de Meio Ambiente é um órgão criado com essa finalidade. Nele é possível dar voz a todos os interlocutores que são diretamente afetados com a instituição das ações destinadas a preservação ambiental, colocando, através do diálogo, a sociedade em equilíbrio. Logo, setores como: os órgãos públicos, os setores empresariais e políticos e as organizações da sociedade civil buscam conjuntamente soluções para o uso dos recursos naturais e para a recuperação dos danos ambientais. Portanto essa metodologia fomenta na sociedade o exercício da democracia, a educação para a cidadania e o convívio entre setores da sociedade com interesses diferentes.

2.4. Os Conselhos Municipais de Meio Ambiente

Com Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981(Política Nacional do Meio Ambiente), o município passa a integrar a gestão ambiental, responsável pela localidade. Uma contribuição importante foi a promulgação da Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998) aliada à temática ambiental nas constituições estaduais e nos planos diretores municipais. A Lei 9.605/98 implantou

... a cobrança, pelos municípios, de multas por infração ambiental, desde que este deponha de uma secretaria de Meio Ambiente (ou órgão afim) ou de Conselho de Meio Ambiente integrado ao Sistema Nacional de Meio Ambiente. (CARVALHO, et al 2005,)

O Sistema Nacional de Meio Ambiente(SISNAMA) foi criado pela Lei 6.938 e regulamentado pelo Decreto 99.274. Esse sistema composto por órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, possui como responsabilidade a proteção e a melhoria da qualidade ambiental no território brasileiro. Sua atuação é composta por ações articuladas e coordenada pelas entidades que formam o sistema em todas as esferas atuantes, que possuem como função compor normas e padrões no intuito de padronizar práticas específicas que se complementam nos três níveis de governo. Porém alguns aspectos devem ser observados, como o acesso da opinião pública às

informações referentes as agressões ao meio ambiente e às ações necessárias para garantir a proteção ambiental, na forma estabelecida pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

Dessa forma pode-se conceituar os Conselhos Municipais do Meio ambiente (COMDEMA's) como:

... constituem-se normalmente em órgãos públicos de composição paritária entre a sociedade e o governo, criados por lei, regidos por regulamentos aprovados por seu plenário, tendo caráter obrigatório uma vez que os repasses de recursos financeiros ficam condicionados à sua existência, e que assumem atribuições consultiva, deliberativas e/ou de controle. [...] Os conselhos municipais aprofundam o conteúdo democrático na gestão das políticas públicas e aumentam a eficiência destas por meio do controle social. (GOMES, 2003, p. 51)

Eles efetuam literalmente a participação popular na administração pública, com o objetivo de favorecer a qualidade de vida de todos os cidadãos, o que segundo Rosado (2010) não é responsabilidade apenas dos governos.[...] pois a agenda ambiental é de grande importancia para a população.

Os COMDEMAS sentenciam sobre políticas ,diretrizes, normas e técnicas, para preservar e conservar o ambiente das cidades, se tornando um instrumento de exercício de gestão participativa, cidadania e convívio entre os diferentes setores interessados da sociedade (Stakeholders Ambientais) Segundo Piper:

Os conselhos são espaços públicos que gozam de autonomia, esfera pública que não é meramente estatal mas espaço de co-gestão para as decisões de políticas públicas, que tornam o aparelho estatal mais permeável e sensível às demandas éticas das sociedades atuais e possibilita ao cidadão inserção e segurança na expressão e defesa de seus interesses. (2010, p. 26)

Dentro da visão do autor,as politicas públicas ambientais são factíveis através do exercicio do conselho municipal de meio ambiente, pela formulação e execução das ações de forma descentralizada , tornando mais próxima a

sociedade civil da gestão governamental, resultando em práticas reais que atendam aos interesses dos municípios dilatando, de forma contínua, as operações da administração pública. Piper, em seu texto, salienta que o COMDEMA deverá ter caráter deliberativo e consultivo, mas não o caráter de assistência da gestão pública para nunca haver subordinação.

Com tal característica, o COMDEMA, deve ser conceituado como um organismo formal, agregador, fomentador e sistematizador dos stakeholders ambientais, que permite a melhoria contínua da gestão ambiental, além de aumentar o grau de informação ambiental por parte da população geral.

Para a Associação de Municípios e Prefeitos do Ceará (APRECE, 2012) as atribuições dos COMDEMAS são as seguintes:

- Estabelecer as diretrizes básicas da Política Municipal de meio ambiente visando a sustentabilidade;
- Instituir normas de prevenção, controle e monitoramento do Meio ambiente;
- Propor planos, projetos, programas e ações de expansão e desenvolvimento da cidade que visem a proteção, conservação e o uso sustentável ambiental.

Já como objetivos a APRECE, cita:

- A Conscientização e sensibilização dos administradores e demais lideranças dos municípios da importância do planejamento, da preservação, do controle, da gestão, do monitoramento e avaliação dos assuntos relacionados ao meio ambiente local;
- A habilitação e garantia da participação do município na execução da Política Estadual do Meio Ambiente;
- Propiciar a integração das ações de conservação e uso sustentável do meio ambiente nos três níveis de governo: federal, estadual e municipal;
- O assessoramento do Chefe do Poder Executivo Local na gestão de meios técnicos e administrativos adequados à fiscalização de atividades de impacto local e o respectivo licenciamento ambiental;
- Estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle, recuperação e a manutenção da qualidade ambiental do município, respeitando-se a legislação federal e estadual pertinentes;

- Influenciar diretamente o dinâmico procedimento de revisão e atualização da legislação ambiental do município;
- Constituir-se no mais importante instrumento de gestão ambiental local.

2.5. Índices e indicadores

O profissional, seja ele de formação técnica ou de gestão, atuante no setor público ou privado, que tenha o objetivo de compreender melhor o debate da atual ordem mundial, sobre as questões ambientais ou ainda que precise planejar e implementar programas, projetos e ações nessa área, terá como prioridade entender mais profundamente o que são os Indicadores ambientais, qual a sua aplicação, como são construídos e como podem ser usados na elaboração de diagnósticos e em outras atividades do Planejamento Governamental e da Gestão Pública e Privada, aproximando cada vez mais essa dicotomia. Cotidianamente nos meios de comunicação, escritos ou televisivos, os Indicadores e Índice de Desenvolvimento, aparecem com regularidade. Eles estão presentes também nos fóruns de discussão técnico-políticos, nos debates acadêmicos e nas propostas de projetos encaminhadas aos Ministérios, Secretarias Estaduais e Prefeituras. A sua utilização é cada vez mais comum, seja por jornalistas ou lideranças populares e sindicais, e os indicadores servem para a mensuração dos impactos ambientais ou ainda para avaliar os avanços ou retrocessos nas condições de qualidade de vida da população. Outras possíveis ações, que tem o indicador como base, são:

- Justificar a remessa de recursos para um determinado projeto apresentado a alguma agência de fomento ou órgão do governo;

- Sustentar administrativa e tecnicamente a importância dos programas especificados nos Planos Plurianuais ou;
- Monitorar, a cada período ou gestão, os efeitos da ação governamental.

Segundo Silva (2008) até 2030, cerca de 60% da população mundial viverá em centros urbanos, como consequência a grande potencial para aumento da pobreza, assim como as tensões sociais. No Brasil, 81% da população vivem em áreas urbanas.

A transferência de encargos a instâncias locais associada a maior autonomia financeira dos municípios, tem feito com que os órgãos locais tenham papel mais ativo na política, economia e garantia de qualidade de vida da população.

Segundo Silva (2008) a partir do século XX, as cidades tiveram uma imensa e rápida urbanização, fruto de um processo migratório interno provocado pelo êxodo rural.

Atualmente os grandes municípios com população superior a 500 mil habitantes como Sorocaba, têm grandes desafios na área de saneamento ambiental e social.

O IBGE (2003) diagnosticou que 77% dos gestores municipais declararam ter o município sofrido algum tipo de impacto ambiental, prejudicando as condições de vida da população, alterando a paisagem ou refletindo nas atividades econômicas, dentre os problemas ambientais os gestores destacaram:

- assoreamento dos corpos d'água, em função da degradação da mata ciliar e desmatamento (53%);
- esgoto sem captação (41%);
- poluição das águas (38%);
- poluição atmosférica (22%)

Silva (2008) destaca que os Gregos foram os primeiros a se preocupar com o planejamento urbano e perdurou desde a Grécia antiga à Revolução Industrial, mas as cidades sempre foram planejadas “por partes”.

No Brasil as primeiras preocupações ambientais remontam as décadas de 1800, quando surgiram os primeiros ordenamentos que visavam proteger os recursos hídricos.

Cada vez mais as cidades vêm assumindo o papel de atores sociais, uma vez que os cidadãos que nela habitam ocupam um espaço simbiótico e se organizam sob um poder político como sociedade civil, ocupam também um espaço simbiótico, que integra seus habitantes culturalmente, possibilitam a formação de uma identidade coletiva, que dinamiza as relações, converte a cidade ainda que em um espaço que responde a objetivos econômicos, políticos, culturais e ambientais (Westphal, 2000).

Para Bellen (2002), o desenvolvimento e aplicação de sistemas de indicadores ou ferramentas de avaliação que procuram mensurar a sustentabilidade fundamentam-se na necessidade de ajustar os rumos da sociedade em relação a sua interação com o meio.

Silva (2008); Braga et al (2003) colocam os indicadores e índices como ferramentas para representar um fenômeno, e podem cumprir um importante papel na tomada de decisões e subsidiar a avaliação geral da situação em análise e identificar ações prioritárias.

Rutherford (1997) afirma que na sustentabilidade da perspectiva ambiental a principal preocupação é expressa pelo capital natural, onde a produção primária, oferecida pela natureza é base fundamental. Os ambientalistas, principais atores desta abordagem, desenvolveram o modelo denominado PSR (*Pressure, State e Response*) para indicadores ambientais.

Conceitualmente pode-se definir **indicador** da seguinte forma:

O termo é originário do Latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar.

Estas ferramentas podem comunicar ou informar acerca do progresso em direção a uma determinada meta, como o desenvolvimento sustentável.

É importante para percepção de um fenômeno que não seja imediatamente detectável, por exemplo, o comportamento, um dado, uma informação, um valor, uma descrição que retratem uma situação ou um estado.

Um indicador deve ter abrangência de expressão, ou seja, deve informar além daquilo que expressa diretamente.

Segundo Bellen (2002) as principais funções dos indicadores são:

- Avaliar condições e tendências;
- Comparar lugares e situações;
- Avaliar condições e tendências em relação às metas e aos objetivos;

- Prover informações de advertência;
- Antecipar futuras condições e tendências.

Buscou-se com este trabalho justificar todas estas principais funções, ao avaliar através do índice as condições presentes e construir uma perspectiva de tendência.

Os indicadores enfatizam a agregação e quantificação de informações de maneira explícita, simplificam informações sobre fenômenos complexos e as traduzem em linguagem acessível ao público leigo.

Pode-se dividir indicadores em qualitativos e quantitativos e em determinados casos pode ser utilizado um ou outro.

Os indicadores ideais são aqueles que resumem ou, de certa forma, simplificam informações importantes tornando-os perceptíveis à sociedade, funcionando como um verdadeiro veículo de comunicação entre o meio e o homem.

Segundo Bellen (2002), os indicadores podem ser classificados como:

- **Simples** – estes descrevem imediatamente um determinado aspecto da realidade (número de residências com coleta de lixo, por exemplo) ou apresentam uma relação entre situações ou ações, são apropriadas para realização de avaliações setoriais, como cumprimentos de programa de governo, permitindo conclusões rápidas e objetivas.
- **Compostos** – apresenta de forma sintética, um conjunto de aspectos da realidade, agrupam vários indicadores simples, estabelecendo, entre eles, algum tipo de média, de ponderação, estes permitem comparações e avaliações de desempenho.(Vaz,2007)

Parente (2007) afirma que o desenvolvimento de indicadores com objetivo de avaliar a sustentabilidade ambiental de determinado local, pode auxiliar na solução de diversos problemas ambientais.

Quanto ao **índice**, este é um valor que expressa a agregação matemática de informações numéricas, sendo, portanto, um conceito vinculado à uma estrutura formal de cálculo.

O índice pode utilizar diversos indicadores que são partes de um modelo matemático.

Um índice pode se referir a um único tema ou diversos temas, podendo ser composto pela agregação de dados simples ou compostos.

Na figura 03 a seguir, foi construída uma Pirâmide de informação, figura adaptada de Hammond *apud* Silva (2008), onde mostra que os índices expressam uma série de dados analisados a partir de uma problemática.

Figura 03: Pirâmide de informação.



Fonte: Adaptado de Gouzee Hammond *apud* Silva (2008)

Hammond et all *apud* Silva (2008), afirmam que os indicadores desempenham importante papel no processo político, porém somente apresentam relevância se forem realmente utilizados pelos tomadores de decisão.

Segundo Silva (2008) diversos autores destacam sua concepção sobre índices e todos são unânimes em afirmar que os indicadores e índices são indispensáveis para tomadas de decisões no planejamento urbano e manejo ambiental voltado para desenvolvimento sustentável.

Nahas (2004) afirma que os indicadores e índices atendem a dois objetivos principais:

- De fundamento ao planejamento municipal na tomada de decisões;
- Ao monitoramento da qualidade de vida urbana na cidade.

Índices de sustentabilidade são também indicadores que sintetizam informações obtidas pela agregação de dados, facilitando assim a compreensão.

O processo de construção de um índice, diferente dos indicadores pela ponderação de valores de acordo com sua relevância, em se tratando de aspectos ambientais a ponderação torna-se um desafio (Bellen, 2002).

Os índices prestam relevantes serviços seja na transparência da administração, qualidade de vida e saúde ambiental.

No mundo, diversos países adotam indicadores e índices para expressar sua relação de desenvolvimento com o meio, podemos destacar alguns exemplos:

- Holanda (1987) Indicador de desempenho da Política Ambiental (PPI);
- Canadá(1980) foco política ambiental;
- França (1999) foco qualidade ambiental;

Segundo Silva (2008) a Holanda foi pioneira ao desenvolver seu índice em 1987 com intuito de avaliar o desempenho de sua política ambiental, porém foi o Canadá um dos países de vanguarda na área das estatísticas ambientais, que criou e divulga, sistematicamente, um conjunto de indicadores ambientais, com um alto nível de qualidade, prioriza identificar perigos e riscos como ferramenta para tomada de decisão e avaliação dos objetivos dos programas.

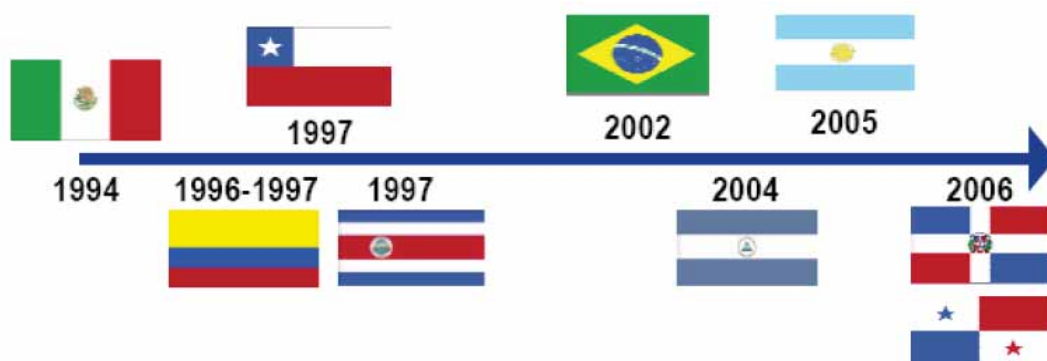
A Agência Ambiental Européia (EEA), desde 1995, avalia o estado do ambiente dos países europeus, através de relatórios de Estado do Ambiente (SoER).(Silva,2008)

A Nova Zelândia submete a um processo de participação popular a seleção ou confirmação de indicadores se destacando de forma pró-ativa.

A Suécia utiliza indicadores verdes, com eficiente poder de comunicação dada sua simplicidade, pois utiliza um número limitado de indicadores seletos com periodicidade definida (Silva, 2008).

Na América Latina, diversos países seguiram o mesmo conceito de elaboração desta ferramenta, entretanto os indicadores de sustentabilidade utilizam de temas sociais, saúde, equidade, pobreza e cidades sustentáveis. Na figura 03 destacamos a evolução da adoção destas ferramentas na América latina.

Figura 04: Evolução da adoção dos Indicadores de desenvolvimento Sustentável na América Latina



Fonte: Martinez *apud* Silva, 2008.

No Brasil o órgão responsável pela elaboração de indicadores e índices de expressão da qualidade do ambiente é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, onde são avaliadas dimensões nos aspectos sociais, ambientais, econômicos e institucionais. Silva(2008)

Com relação a experiência municipal de construção de indicadores e índices o Rio de Janeiro foi a primeira cidade onde se aplicou a metodologia para avaliação urbano-ambiental integrada, a mesma metodologia foi aplicada posteriormente em Manaus. Silva(2008)

O Ministério das Cidades criou o Índice de Qualidade de Vida Urbana dos Municípios Brasileiros (IQVU-BR), desenvolvido em parceria com o Instituto de desenvolvimento Humano Sustentável (IDHS) e Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, em 2005. Silva(2008)

Durante a construção deste índice foram feitas diversas consultas envolvendo 148 colaboradores, oriundos de diversas regiões brasileiras, com objetivo de escolher os melhores temas. Silva(2008)

Foram, inicialmente, apresentados 22 temas, considerados consensuais e concebidos um total de 438 indicadores, muito complexo para aplicação na maioria dos municípios brasileiros que não possuem estrutura de análise e pessoal qualificado para sua mensuração contínua (Silva, 2008).

As propostas apresentadas certamente foram feitas levando em consideração o maior número de análises possíveis, como forma de refletir o mais próximo possível a realidade, porém, ao levar esta proposta no campo prático de aplicação percebe-se que é inviável na imensa maioria de nossas cidades.

Em Belo Horizonte houve a construção de um Índice de Qualidade de Vida Urbana de Belo Horizonte (IQVU-BH), elaborado, entre 1992 e 1996, pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (SMP), em parceria com a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Com objetivo de contribuir para uma distribuição mais eficiente e justa dos recursos públicos, tal índice procura avaliar a qualidade de vida do morador da cidade. Nahas(2001)

Foram organizados neste índice 11 variáveis, decompostas em componentes, que se desdobram em 75 indicadores, de quantidade e de qualidade, algo mais simplificado. Entre estas variáveis há uma específica com o tema meio ambiente que tem um peso de 6,19 % do índice.

É nítida a complexidade deste índice, e inviável para aplicação na maioria dos municípios brasileiros, devido à falta de dados.

Porém, o indicador de Qualidade de Vida da cidade de Itajaí criado para compreender melhor a situação da qualidade de vida no bairro Praia Brava, usa indicadores agrupados segundo critérios de classificação que receberam três denominações: bom, satisfatório e ruim, com notas 10, 5 e 1 respectivamente.

Neste indicador foram avaliados indicadores de alfabetização, abastecimento de água, esgoto, resíduo sólido, moradia e assistência ao serviço de saúde. Silva(2008)

Este é um exemplo de um indicador simples que foi possível sua adoção sem maiores problemas

Em experiência internacional, foram criados pelas Nações Unidas os indicadores Urbanos Globais – UM-HABITAT, originado através do Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos, reconhece os indicadores urbanos como um conjunto de instrumentos de gestão, que permite identificar a realidade urbana e serve de base para formulação de políticas públicas.

Em 1996, um primeiro conjunto de 40 indicadores foi testado em 237 cidades de 110 países cujos resultados foram apresentados na Conferência Habitat II, em Istambul.

Após a Conferência foi desenvolvido um conjunto de dados e informações, compreendendo 23 indicadores considerados importantes para avaliação de políticas, destes destacamos os referentes à gestão ambiental na tabela 03 (Silva, 2008).

Tabela 01: Indicadores Urbanos Globais, referentes à gestão ambiental.

-
- Crescimento populacional urbano;
 - Gestão eficiente de abastecimento e demanda de água: indicador de consumo de água e preço da água;
 - Reduzir poluição urbana: poluição do ar, tratamento de águas residuais e disposição de resíduos sólidos;
 - Prevenção de desastres e reconstrução de assentamentos;
-

Fonte: Adaptada de Silva (2008).

Outros índices criados como o índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) e o índice de Desempenho Ambiental (IDA) desenvolvidos pela Universidade Yale/Columbia foram fruto de um esforço conjunto, o ISA apresenta um conjunto de informações indispensáveis para elaboração de políticas públicas ambientais eficazes, pois incorpora indicadores que traduzem a capacidade política e institucional de resposta à mudança na condição de sustentabilidade nos médios e longos prazos. Mede a capacidade das nações em proteger o meio ambiente, integram 76 conjuntos de dados, que analisam a dotação de recursos naturais, níveis de poluição, esforços de gestores e a capacidade da sociedade aprimorar seu desempenho ambiental, em 21 indicadores de sustentabilidade ambiental. Silva(2008)

O IDA é uma iniciativa conjunta das Universidades em colaboração com o Fórum Econômico Mundial e Organização do Centro de Pesquisa da Comissão Européia. Está focado em reduzir o estresse sobre a saúde humana e promover a vitalidade dos ecossistemas e garantir a gestão dos recursos naturais, agrega 16 indicadores relacionados a 6 categorias: saúde ambiental, qualidade do ar, recursos hídricos, recursos naturais, biodiversidade e habitat formando um índice destinado a medir o impacto de políticas públicas.

Bellen (2002) destaca entres as dificuldades em adotar indicadores em escala nacional, a heterogeneidade existente entre os diversos países em relação

a elementos essenciais específicos, como nível de industrialização, estrutura econômica e espaço geográfico, a mesma analogia pode ser extensiva a diferenças regionais e locais.

Em se tratando de municípios com diferentes vocações econômicas, industriais e rurais, diferem os atributos utilizados para indicadores e conseqüentemente as ponderações utilizadas para confecção dos índices. Silva(2008)

Este fato torna a escolha de indicadores e formulação de índices ambientais que representem com melhor exatidão os fenômenos ambientais, algo único, desta forma os indicadores e índices devem ser próprios para localidade, expressados pela delimitação geográfica pelo menos de um município.

Este trabalho enfatiza a realidade do município de Votorantim, focando o índice à sua vocação industrial, econômica, cultural, geográfica e política.

2.6. Aplicação de indicadores de sustentabilidade

As necessidades de construir indicadores de desenvolvimento sustentável estão expressas na Agenda 21 especificamente nos capítulos 08 e 40. Neste documento é apontada a necessidade de trabalhar uma unidade para medir a proximidade em relação a este objetivo. Esta unidade deve ser ampla para englobar uma gama de fatores que estão relacionados com a sustentabilidade.

Há diversos exemplos de utilização de indicadores de sustentabilidade no mundo, dentre estes, destaca-se:

O Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI). Este índice foi elaborado a partir de uma Força-tarefa Ambiental dos Líderes Globais para Amanhã e pelo Fórum Econômico Mundial (WEF), o Centro de Yale para Gestão e Políticas Ambientais, Universidade de Yale, e a Rede de informações Internacionais sobre Ciências da Terra (CIESIN), e a Universidade de Columbia.

O ESI integra uma grande quantidade de informações por várias dimensões de sustentabilidade o que torna sua aplicação e mensuração complexa e inviável para adaptações locais, dentro da realidade brasileira.

O Índice de Desempenho Ambiental (EPI). Foi desenvolvido em paralelo com o ESI pelas mesmas instituições, classifica países de acordo com a qualidade do ar e da água, proteção de terra, e prevenção de mudança climática. O objetivo deste índice é avaliar o desempenho das decisões e avaliar os resultados obtidos no ESI (Benetti, 2006).

O Índice de Bem-estar, elaborado por Prescott-Allen (2001) considera dois índices principais, o índice de Bem estar humano, que avalia a qualidade de vida e o índice de Bem estar ambiental que avalia a qualidade do ambiente, sua combinação forma o Índice de Bem-estar.

Indicador de Progresso Verdadeiro (GPI), formulado em 1995, este mede com maior precisão o progresso para os Estados Unidos, e usa a mesma estrutura de estimativa do PIB, com avaliações econômicas familiares, trabalho voluntário, crime, poluição e desagregação familiar, este índice apresenta uma forte tendência social.

Através desta breve análise é possível concluir que há diversos enfoques de aplicação dos índices de sustentabilidade, este é um ponto falho, pois não permite associação do resultado mensurado com uma temática específica, seja ela econômica, social, cultural, educacional ou ambiental.

Este problema dificulta o efetivo cumprimento da função de informar de forma clara o desempenho de determinado aspecto, seja ele na temática ambiental, social ou econômica.

Pode-se utilizar índices e indicadores através de diversos níveis ou esferas específicas, em termos geográficos os conceitos na esfera mundial, nacional, regional e local, em relação aos aspectos temporais pode-se abordar o curto, o médio e longo tempo. Neste trabalho abordar-se-á o nível local a curto prazo, ou seja, intervalos de 1 ano. Assim como sua abrangência será local (município).

O uso de indicadores segundo Silva (2008); Jannuzzi (2002); Kayano & Caldas (2001), pode contribuir para:

- Democratizar informações, para possibilitar ampliação do diálogo da sociedade civil com o governo;
- Subsidiar a elaboração de planos diretores de desenvolvimento urbano e planos plurianuais de investimento;

- Avaliar os impactos ambientais, decorrentes da implantação de grandes projetos;
- Justificar o repasse de verbas, para implantar programas sociais;
- Legitimar, tanto as políticas governamentais, quanto as denúncias, por parte da sociedade civil;
- Atender à necessidade de disponibilizar equipamentos ou serviços sociais, para públicos específicos, por exigência legal ou por pressão política da sociedade local;
- Atender a exigências de organismos internacionais, que financiam programas e projetos em políticas públicas.

2.7. Limitação do uso de indicadores

Segundo Albert Einstein “um indicador deve ser mais simples possível, mas não mais simples do que o necessário”. Esta é uma crítica à utilização de apenas um índice para abordar um conceito, Bellen (2002) exemplifica tal crítica com a idéia de que medir riqueza a partir do conceito de Produto Interno Bruto demonstra que este indicador pode ser limitado, sendo necessário mais do que um indicador para capturar os aspectos mais importantes, sendo assim um indicador simples não é capaz de mostrar toda a realidade.

A maioria dos indicadores relacionados à sustentabilidade não possui um sistema teórico conceitual que reflita a viabilidade e a operação do sistema total.

O grande desafio na construção de um índice está na sua fase de seleção de indicadores ideais. Van Bellen (2002)

3. TEORIA FUZZY

A palavra *Fuzzy* tem o significado de incerto, vago, impreciso, subjetivo, nebuloso, difuso, etc. Entretanto, nenhuma tradução é tão fiel ao sentido amplo da palavra em inglês, a lógica fuzzy é uma extensão da lógica booleana que admite valores lógicos intermediários entre a não pertinência a um determinado conjunto, ou 0, e a pertinência completa a este conjunto, ou 1. Isto significa que um valor lógico fuzzy é um valor qualquer no intervalo entre 0 e 1.

A lógica fuzzy foi introduzida no contexto científico em 1965 pelo professor Lotfi Zadeh, (Zadeh, 1965). A força da lógica fuzzy deriva de sua habilidade em inferir conclusões e gerar respostas baseadas em informações imprecisas. Neste aspecto, os sistemas baseados em lógica fuzzy têm habilidades de calcular de forma semelhante à dos humanos, seu comportamento é representado de maneira muito simples e natural, levando à construção de sistemas compreensíveis e de fácil manutenção.

As decisões a cerca de diversas problemáticas do mundo real nem sempre são lógicas e precisas, as inferências lógicas podem não ser possíveis.

É necessário nestes casos trabalhar com imprecisões, em muitos casos imprecisões não são resultados aleatórios de determinado fenômeno estudado, mas pertence à própria natureza do mesmo (Bellman & Zadeh apud Santos, 2008).

Diante de diversos desafios em definir incertezas, a definição de uma Teoria que tivesse esta abrangência foi e é de extrema importância.

Conforme o grau de incerteza de um problema aumenta, a incapacidade de descrição de um modelo para resolução do mesmo decresce, sendo assim necessária uma teoria que de subsídios para a resolução de casos com grande incerteza, sem que informações importantes se perdessem durante análise dos dados por incapacidade de modelos matemáticos em lidar com incerteza inerente ao mesmo (Jané, 2004).

A lógica fuzzy pode facilitar através de um modelo matemático, baseado no conhecimento intuitivo humano, a resolução de problemas complexos e composto por diversas variáveis cuja informação contida é incerta, de uma maneira organizada e com máxima confiabilidade possível.

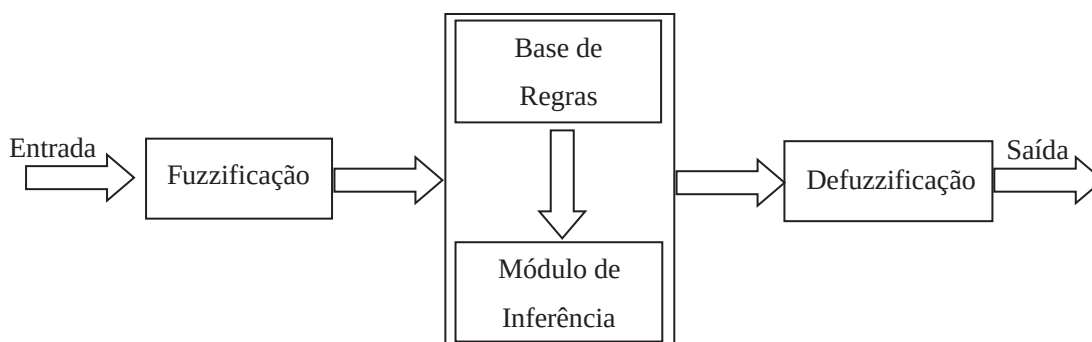
No caso dos indicadores, classificar determinado critério com escala de 0 à 49% como sendo ruim e outro em escala de 50 à 74% como sendo regular, seria justo separar em grupos distintos dados que possuem apenas 1 ponto de diferença entre eles? Ou seja, um determinado dado que apresente o valor 49% será avaliado como ruim, enquanto que um outro dado que apresente o valor de 50% será avaliado como regular, passando para outra classe.

Esta situação ocorre com todo tipo de classificação que utiliza adjetivos como ótimo, bom, regular e ruim. Estes adjetivos não são eventos aleatórios, mas inerentes a especificidade do fenômeno a ser classificado.

No intuito de trabalhar formalmente com estas imprecisões de pertinência ou gradações é que foram empreendidos esforços que resultaram na criação de uma teoria de conjuntos apropriada. Esta teoria foi chamada de Teoria dos Conjuntos Fuzzy ou Lógica Fuzzy, com aplicação em diversas áreas do conhecimento, sobretudo em tecnologia (Santos, 2008).

Em um sistema baseado em regras fuzzy, a cada entrada faz-se corresponder uma saída. Para que este sistema possa funcionar, este depende de um controlador fuzzy, que é composto de 4 partes essenciais, são elas: Método de Fuzzificação, Núcleo do Controlador fuzzy, que é subdividido em Base de Regras e Método de Inferência e finalmente o Método de Defuzzificação. Na figura 04 pode-se observar um esquema de funcionamento de um controlador fuzzy e a seguir encontra-se uma breve descrição de cada etapa do controlador.

Figura 05: Ilustra as etapas de um controlador fuzzy.



Fonte: Adaptado de Santos (2013)

3.1. Método de fuzzificação.

A fuzzificação é a primeira parte do processo, consiste na conversão da entrada numérica em conjuntos fuzzy, é uma operação fundamental, pois, em grande parte das aplicações de lógica fuzzy os dados são numéricos, sendo necessário então fuzzificar estes conjuntos.

Cada conjunto fuzzy é caracterizado pela sua função de pertinência. É através delas que será definido o quanto um determinado elemento pertence ao conjunto. De acordo com sua aplicação ou a maneira de representar em um determinado contexto, pode-se trabalhar com diferentes tipos de funções de pertinência, por exemplo as funções triangulares, trapezoidais e gaussianas.

3.2. Base de regras

A base de regras é o conjunto de regras que descrevem o sistema. Essas regras são definidas da seguinte forma:

SE (entrada) ENTÃO (saída)

A construção da base de regras envolve: a escolha das variáveis lingüísticas, a seleção do formato das regras condicionais, a seleção dos termos associados a cada variável lingüística e síntese do conjunto de regras.

Para a elaboração de uma boa base de regras, é preciso trabalhar juntamente com um especialista no assunto estudado. No caso da construção deste índice fuzzy, vários profissionais foram consultados para se chegar a um denominador comum em relação as regras aqui adotadas.

3.3. O método de inferência.

Existem basicamente quatro métodos de inferência fuzzy para obter-se o resultado de um sistema baseado em regras fuzzy., os métodos são: Mamdani, Takagi e Sugeno, Larsen e Tsukamoto.

Neste trabalho utilizou-se o método Mamdani, que é baseado em operadores de inferência Max-min (Barros, 2006).

Este nome se refere ao autor que propôs este método de inferência que foi por muitos anos um padrão para a utilização dos conceitos da lógica fuzzy em processamento de conhecimento.

3.4. Método de defuzzificação.

A defuzzificação é uma operação de conversão de um conjunto fuzzy em um valor numérico e pode ser feita através de vários métodos, mas os mais consagrados são a Média dos Máximos e o centro de Gravidade, este último o adotado neste trabalho.

Com o Centro de Gravidade, a saída é um valor no universo que divide a área sob a curva em duas partes iguais, quando os universos utilizados são

discretos, o resultado da defuzzificação tem de ser arredondado para o valor inteiro mais próximo no universo.

Neste método nunca conseguimos obter valores extremos do universo, devido à própria natureza do método.

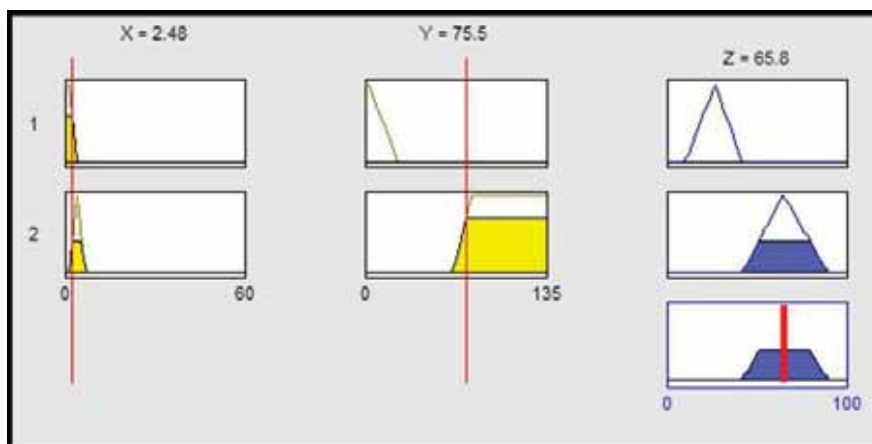


Figura 6: Ilustração do Método de Mamdani.

4 METODOLOGIA

A proposta metodológica desenvolvida nesta dissertação fundamenta-se em construir sistemas baseados em regras *fuzzy* para classificar a qualidade ambiental de um município quanto à qualidade de vida de seus habitantes, a pressão antrópica sofrida pelo meio ambiente e a capacidade institucional que o órgão gestor possui em dar respostas, aos problemas apresentados, de forma eficaz e rápida. Visando auxiliar a tomada de decisão por parte do órgão responsável pela definição das diretrizes adotadas pela gestão sustentável do município, o COMDEMA. Assim, temos uma descrição de como são compostos os principais índices utilizados e como esses índices se combinam para a construção da ferramenta fuzzy, para a obtenção da classificação da qualidade ambiental.

4.1 Área de estudo

O Município de Votorantim segundo IBGE (2013) está localizado a sudoeste do Estado de São Paulo, distante à 100 km da Capital. Ocupa uma área de 184 km². Faz divisa com os Municípios de: Sorocaba, Piedade, Ibiúna, Salto de Pirapora e Aluminio. Conta com uma população estimada de 134.000 habitantes. Encontra-se em um dos principais eixos industriais do Estado, com importantes vias de acesso como Rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270), João Lemes dos Santos (SP-264) e SP-79 que liga a cidade ao litoral sul do Estado. Suas Coordenadas: Latitude do distrito sede do município: -23,3248°S; Longitude do distrito sede do município: -47,2616°W.

Figura 7: Mapa do município de Votorantim e região.



Fonte: Gandelini & Caixeta Filho 2006.

4.2 Construção do índice *fuzzy* de qualidade ambiental

O Índice *Fuzzy* de Qualidade Ambiental foi construído segundo as seguintes etapas:

Etapas 1: Escolha das variáveis de entrada do sistema

A estrutura adotada foi desenvolvida pela pesquisadora Braga(2003) em onde articula ao todo 28 índices a saber:

- *Percentual de habitações subnormais*: desenvolvido pelo IBGE mensura a questão da habitação precária envolvendo diversas situações distintas, como: favelas, loteamentos clandestinos e/ou irregulares e cortiços, marcadas por intensa heterogeneidade interna e estado de degradação.
- *Índice de longevidade - IDH*: Calculado e divulgado pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) é avaliado considerando a expectativa de vida ao nascer. Esse indicador mostra a quantidade de anos que uma pessoa nascida em uma localidade, em um ano de referência, deve viver. Reflete as condições de saúde e de salubridade no local, já que o cálculo da expectativa de vida é fortemente influenciado pelo número de mortes precoces.
- *Índice de educação - IDH*: Também calculado e divulgado pela UNESCO, ele é usado para avaliar a dimensão da educação, considera dois indicadores. O primeiro, com peso dois, é a taxa de alfabetização de pessoas com quinze anos ou mais de idade. O segundo indicador é a taxa de escolarização: somatório das pessoas, independentemente da idade, matriculadas em algum curso, seja ele fundamental, médio ou superior, dividido pelo total de pessoas entre 07 e 22 anos. Também entram na contagem os alunos supletivos, de classes de aceleração e de pós-graduação universitária.
- *Índice de renda-IDH*: Parte do grupo calculado e divulgado pela UNESCO A renda é calculada tendo como base o PIB per capita (por pessoa) do país. Como existem diferenças entre o custo de vida de um país para o outro, a renda medida pelo IDH é em dólar PPC (Paridade do Poder de

Compra), que elimina essas diferenças.

- Índice de mortos em acidentes de trânsito: divulgado pelo DENATRAN, o índice de mortos é calculado em número de mortos por 100.000 habitantes com ele é possível mensurar além das mortes o quanto pressão antrópica por automóveis existe na cidade.
- Índice de mortos por doenças respiratórias: o Índice desenvolvido pelo ministério da saúde ele mensura o numero de mortes causadas por doenças respiratórias a cada 100.000 habitantes
- Índice de mortos por doenças parasitárias: Índice desenvolvido pelo ministério da saúde ele mensura o numero de mortes causadas por doenças respiratórias a cada 100.000 habitantes
- Índice de mortos por homicídios: Índice desenvolvido pelas secretarias de segurança públicas estaduais ele mensura o numero de mortes causadas por homicídios a cada 100.000 habitantes.
- Índice de abastecimento de água: divulgado pela empresa ou autarquia responsável pela captação, tratamento e distribuição de água ele mensura a cobertura dos serviços de abastecimento de água sobre a população urbana do município.
- Índice de instalação sanitária: divulgado pela empresa ou autarquia responsável pelo tratamento dos resíduos sanitários esse Índice mensura a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário sobre a população do município.
- Índice de serviço de coleta de lixo: divulgado pela empresa ou autarquia responsável pelo recolhimento e destinação dos resíduos sólidos urbanos esse Índice mensura a cobertura dos serviços de coleta de resíduos sólidos domésticos sobre a população do município.
- Taxa de pressão populacional: divulgado pela Seade

(Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados) representa a quantidade de habitantes por quilometro quadrado urbano.

- Densidade habitacional por cômodo: desenvolvido pelo IBGE mensura a questão da habitação onde relaciona a quantidade de cômodos com a quantidade de habitantes nas residências.
- Número de veículos per capita: feita do cruzamento dos dados da frota do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) com a população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os números incluem automóveis, SUVs, vans e veículos comerciais e excluem motocicletas e outros veículos sobre duas rodas motorizados.
- Consumo energético urbano: Mede o consumo de energia do perimetro urbano é desenvolvido pela concessionaria de energia elétrica do município.
- Intensidade energética industrial: Mede o consumo de energia dos clientes que possuem pessoa jurídica é desenvolvido pela concessionaria de energia elétrica do município.
- Densidade de lavouras e pastagens no município: Índice desenvolvido pelo IBGE relaciona a quantidade de áreas utilizadas na agricultura ou pecuária com a área total do município.
- Taxa de crescimento média de lavouras e pastagens nos 10 últimos: Índice desenvolvido pelo IBGE calcula o crescimento da agricultura no município.
- Intensidade energética rural: Mede o consumo de energia da area rural é desenvolvido pela concessionaria de energia elétrica do município.
- Proporção da área ocupada por matas e florestas plantadas e área ocupada por matas e florestas naturais nos estabelecimentos: ele relaciona as áreas de preservação ambientais localizadas nas

propriedades particulares ele é desenvolvido pelo SISCAR (Sistema de Cadastro Ambiental Rural)

- Cobertura vegetal: Índice de arborização urbana desenvolvido pelo Instituto Florestal.
- Autonomia fiscal: Calculado pelo Portal da transparência mensura o quanto o Município possui de independência financeira, sem a necessidade de repasse sejam federais ou estaduais.
- Endividamento público: Calculado pelos tribunais de contas dos estados: o quanto o Município está endividado e qual a sua receita para investimentos sociais.
- Peso eleitoral: Índice desenvolvido pelo Sistema FIESP (*Federação das Indústrias do Estado de São Paulo*) que calcula o qual é o momento eleitoral dos municípios.
- Funcionários com nível superior: Índice desenvolvido pelo setor de recursos humanos da prefeitura municipal.
- Conselhos de política urbana e descentralização e de Instrumentos de gestão urbana: Índice desenvolvido pelo setor de controle e planejamento da prefeitura municipal.
- Conselho de meio ambiente: divulgado pelo SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente).
- Número de unidades de conservação municipal: Sistema Nacional de *Unidades de Conservação* da Natureza (SNUC)
- ONGs ambientalistas: dados divulgados pelo IBGE.

Etapa 2: O desenvolvimnto do indice utilizando a modelagem *Fuzzy*

O desenvolvimento do indicador foi através de uma modelagem produzida com a construção de um Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) que produz como resposta (saídas) a avaliação da

qualidade ambiental do município. Para isso, foram articulados 28 índices externos, que contam com um domínio de 0 (zero) a 10 (dez), e posteriormente foram efetuadas as seguintes etapas:

- Fuzzificação: articulação, em conjuntos fuzzy, das variáveis de entrada, com seus respectivos domínios, criação das variáveis linguísticas e funções características;
- Base de regras e inferência: produção de regras lógicas e o Método de Inferência de Mandani; e
- Defuzzificação: Após os cálculos os valores são transformados para CRISP pelo método do Centro de Gravidade.

Dessa forma, foram desenvolvidos onze sistemas *fuzzy* para modelagem do Índice de Qualidade Ambiental do Município de Votorantim -SP, sendo definidos os conceitos fundamentais apresentados a seguir :

De acordo com França, et al (2014) as funções de pertinência de um conjunto *fuzzy* são definidas da seguinte forma:

Definição 1: A função de pertinência de um conjunto *fuzzy* F é denotada por:

$$\mu_F: X \rightarrow [0,1]$$

Em que o valor X demonstra um conjunto universo clássico e F , um conjunto *fuzzy*, subconjunto de X . Para cada $x \in X$, o valor $\mu_F(x)$ indica o grau de pertinência do elemento x no conjunto *fuzzy* F , sendo que para $\mu_F(x) = 0$, x não pertence ao conjunto e $\mu_F(x) = 1$ indica que x pertence completamente.

Assim, um subconjunto *fuzzy* F é composto de elementos x de

um conjunto clássico X , providos de um valor de pertinência a F , dado por $\mu_F(x)$. Pode-se dizer que um subconjunto *fuzzy* F de X é dado por um conjunto (clássico) de pares ordenados:

$$F = \{(x, \mu_F(x)), x \in X\}$$

A escolha da função de pertinência e sua forma depende do contexto e da análise. As formas de função de pertinência mais utilizadas são a triangular e a trapezoidal. Neste estudo optou-se pela função triangular que é dada por:

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{u-a} & \text{se } a < x \leq u \\ \frac{x-b}{u-b} & \text{se } u < x \leq b \\ 0 & \text{se } x \geq b \end{cases}$$

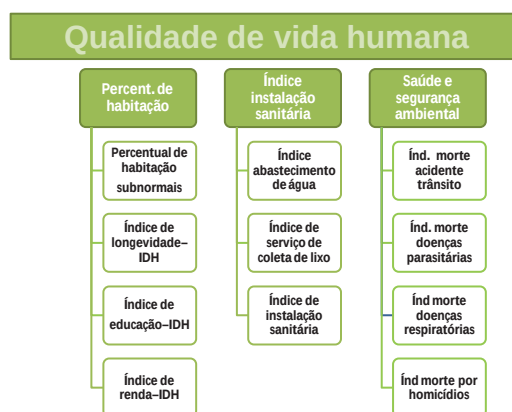
Assim, na construção dos sistemas, baseados em regras *fuzzy*, foram articulados 28 índices externos, visando auxiliar a tomada de decisão por parte dos órgãos responsáveis pela liberação de licenças ambientais e principalmente o COMDEMA.

O sistema de índices de sustentabilidade municipal aqui apresentado é composto por três índices temáticos:

- Qualidade de vida humana;
- Pressão antrópica;
- Capacidade política e institucional.

Combinados, os índices buscam mensurar a sustentabilidade municipal, o índice de qualidade de vida humana mensura a capacidade do município em reduzir a desigualdade social, prover os habitantes de condições básicas de vida e de um ambiente construído saudável e seguro.

Figura 7 – Estrutura do índice temático: Qualidade de Vida Humana.



Fonte: elaborado pelo próprio autor

Já o índice de pressão antrópica mensura o potencial de degradação e o grau de impacto pelas ações humanas no município.

Figura 8 – Estrutura do índice temático: Pressão Antrópica.



Fonte: elaborado pelo próprio autor

Finalmente, o índice de capacidade político-institucional mensura a robustez nesse quesito para o enfrentamento de desafios presentes e futuros.

Figura 9 – Estrutura do índice temático: Capacidade Institucional.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Dentre eles, o índice de pressão antrópica mede o inverso da sustentabilidade. Cabe ressaltar que o índice está em permanente construção.

Etapa 3: Geração do índice

Para a obtenção do Índice Fuzzy de Qualidade Ambiental para a cidade de Votorantim, utilizou-se os dados coletados dos anos de 2000 e 2013, além de um conjunto de dados fictícios para detectar se o método realmente mostra o que se espera do mesmo.

Para cada conjunto de dados utilizados, foi criado um vetor com cinco linhas contendo as seguintes informações:

- *Município 10:* Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores da melhor situação possível;
- *Município 9:* Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores próximo da melhor situação possível;
- *Município 8:* Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores da situação de qualidade media alta ;
- *Município 7:* Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores próximo da melhor situação possível;
- *Município 6:* Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores da situação de qualidade média;

- *Município 5*: Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores proximos da situação de qualidade média;
- *Município 4*: Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores da situação de qualidade média baixa;
- *Município 3*: Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores proximos da situação de qualidade média baixa;
- *Município 2*: Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores proximos da pior situação possível;
- *Município 2*: Dados Fictícios – neste caso consideram-se valores da pior situação possível
- *Votorantim 1*: Dados de *Votorantim* relativos ao ano de 2000.
- *Votorantim 2*: Dados de *Votorantim* relativos ao ano de 2013.

Para cada grupo de variáveis, foi gerado um vetor de saída contendo a avaliação dos dados de cada grupo. Utilizou-se o método de Inferência de Mamdani e para defuzzificar o resultado, o centro de gravidade.

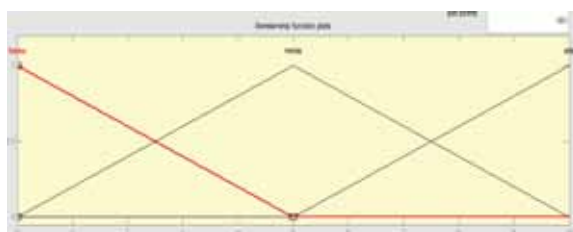
A partir destes vetores, um novo vetor foi criado contendo em cada linha os dados de cada um dos grupos referente à linha em questão, isto é, na primeira linha, os dados de cada grupo referente à sua primeira linha e assim sucessivamente. Na obtenção do índice também foram adotados o método de inferência de Mamdani e o centro de gravidade para defuzzificar o resultado.

5. A MODELAGEM FUZZY

Foram construídos três conjuntos de funções de pertinência que expressam as variáveis de entrada, como o conjuntos *fuzzy* mostrado na Figura 10. As notas foram fuzzificadas de forma que a variavel linguistica “Baixo” foi atribuído às notas de 0 a 5, à “Média” às notas de 0 a 10 e ao “Alta” às notas de 5 a 10, sendo que as notas de 0 a 5 e 5 a 10 possuem pertinências variáveis nos conjuntos Baixa e Média e Média e Alta, respectivamente.

Todas as variáveis de entrada possuem conjunto de funções de pertinência semelhantes.

Figura 10: Funções de pertinência das variáveis de entrada



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A Figura 11 mostra um conjunto de funções para a variável de saída, uma vez que o estudo é feito da mesma forma para todos os sistemas.

Figura 11. Funções de pertinência da variável de saída Qualidade do Meio



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Existem três operações padrões de conjuntos *fuzzy*: intersecção (operador *and*), união (operador *or*) e complementar (operador *not*). De acordo com essas operações, dados dois ou mais conjuntos *fuzzy*, estes produzem um agregado dos subconjuntos dados (subconjunto *fuzzy*).

Ainda de acordo com França, et al (2014) as funções de pertinência dessas operações podem ser definidas assim:

Definição 2: Sejam F e G subconjuntos *fuzzy* de X.

A intersecção entre F e G é o subconjunto de X dado pela função de pertinência:

$$\mu_{(F \cap G)}(x) = \min_{x \in X} \{\mu_F(x), \mu_G(x)\}$$

A união entre F e G é o subconjunto *fuzzy* de X cuja função de pertinência se denota por:

$$\mu_{(F \cup G)}(x) = \max_{x \in X} \{\mu_F(x), \mu_G(x)\}$$

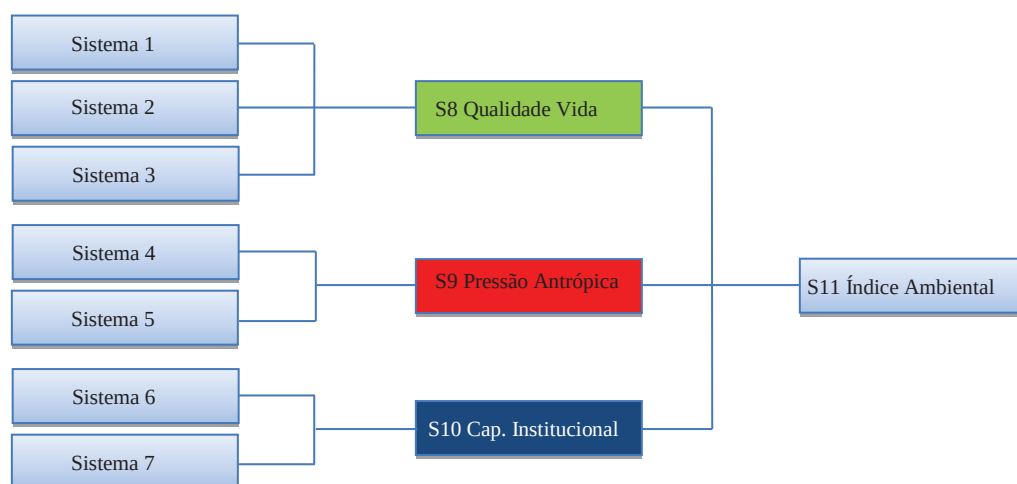
O complementar do subconjunto F é o subconjunto *fuzzy* F' de X em que a função de pertinência é dada por:

$$\mu_{F'}(x) = 1 - \mu_F(x), x \in X$$

No processo de inferência *fuzzy*, as variáveis linguísticas determinam as relações entre as variáveis de entrada e saída, sendo estas matematicamente estabelecidas pelas regras associadas aos processos. Uma regra “se-então” tem a forma “Se x é A então y é B”, onde A e B são valores linguísticos modelados pelos conjuntos *fuzzy*. O acompanhante do termo “se” é chamado de antecedente e o do termo “então”, conseqüente. As regras são definidas pelo produto cartesiano *fuzzy* dos conjuntos *fuzzy* que compõem o antecedente e o conseqüente da regra, compondo a base de regras.

Para o presente trabalho, que levou em consideração cada uma das variáveis de entrada e suas medidas de interferência na avaliação do município, construiu ao todo 12 sistemas. Foram construídas 82 regras para os sistemas (1,3,4,5,6,10) 27 regras para os sistemas (2,8,9,11,12) e 9 regras para o sistema 7, de acordo com o número de variáveis de entrada.

Figura 12 . Organização dos sistemas que compõem o IMQA



A tabela 2 mostra um exemplo de base de regras utilizada pelo sistemas com 27 regras

TABELA 2: REGRAS DE INFERÊNCIA.

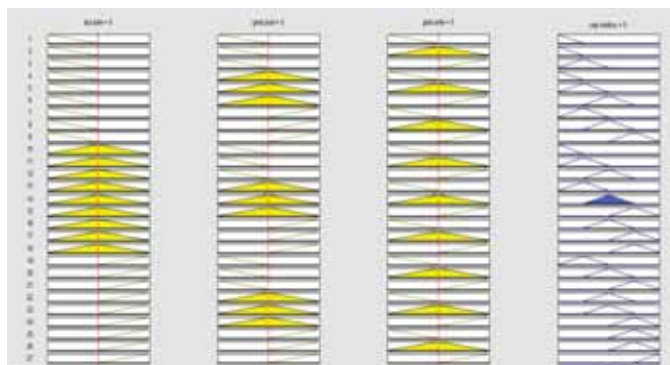
ENTRADAS			SAÍDA
Índice de abastecimento de água	Índice de instalação sanitária	Índice de serviço de coleta de lixo	Serviços sanitários
baixo	baixa	baixa	baixa
		media	baixa
		alta	Media-baixa
	media	baixa	baixa
		media	Media-baixa
		alta	media
	alta	baixa	Media-baixa
		media	media
		alta	Media-alta
médio	baixa	baixa	baixa
		media	Media-baixa
		alta	media
	media	baixa	Media-baixa
		media	media
		alta	Media-alta
	alta	baixa	media
		media	Media-alta
		alta	Media-alta
alto	baixa	baixa	Media-baixa
		media	media
		alta	Media-alta
	media	baixa	media
		media	media
		alta	Media-alta
	alta	baixa	Media-alta
		media	Media-alta
		alta	alta

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

A inferência *fuzzy* avalia matematicamente as informações subjetivas definidas na base de regras. Os métodos mais utilizados para inferência são o de Mamdani e o de Takagi-Sugeno .

Para este trabalho, foi utilizado o Método de Mamdani que utiliza os operadores *or* (máximo) e *and* (mínimo) como o mostra a Figura 12.

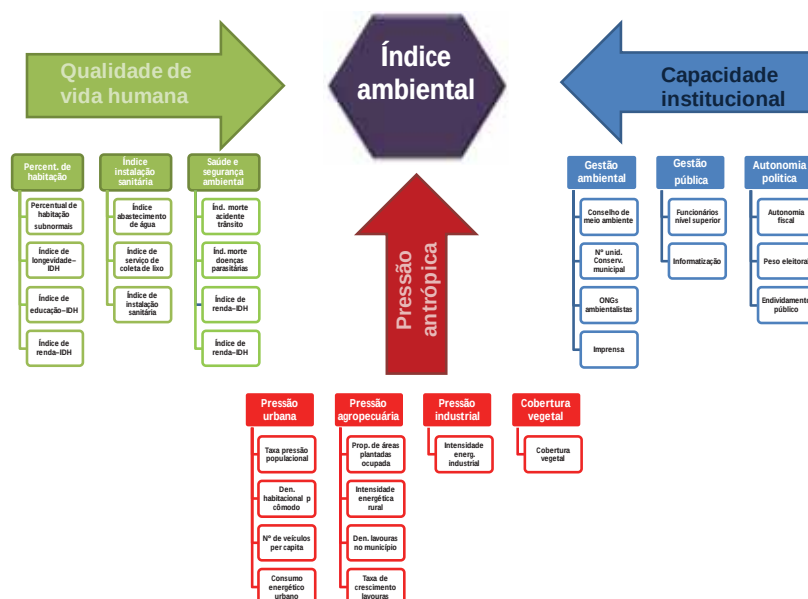
Figura 12: Ilustração do Método Mamdani.



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Como descrito anteriormente, para defuzzificação, que transforma a saída *fuzzy* em um valor numérico real (crisp), utilizou-se o centro de gravidade. Assim, uma visão geral do modelo pode ser visualizado na representação da Figura 13.

Figura 9. Diagrama organizacional do modelo construído



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

A avaliação do método proposto, foi feita através de um comparativo entre bases de dados históricas do município de Votorantim, junto a uma palheta de dados predeterminadas que gradua da situação mais ruim a situação ótima.

6.1 O Índice de Qualidade Ambiental Municipal.

Na intenção de avaliar, de forma comparativa, os resultados, da utilização da Lógica fuzzy, na realidade ambiental do município estudado. Foi construído, inicialmente, uma tabela comparativa, simulando situações que variam dos melhores dados possíveis aos piores dados possíveis. Assim o índice de Fuzzy de qualidade ambiental Municipal, dentro da estrutura proposta, varia da situação de qualidade baixa a situação de qualidade alta conforme demonstrado na tabela 2:

Tabela 02: Comparativo de cores e pontuação.

Situação-Cores/	pontuação
Qualidade Alta	8 - 10
Qualidade Média Alta	7 - 7,9
Qualidade Média	5 - 6,9
Qualidade Média Baixa	3 - 4,9
Qualidade Baixa	0 - 2,9

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

6.1.1 Qualidade de Vida Humana:

O índice de qualidade de vida humana mensura aspectos relacionados a desenvolvimento humano e a qualidade do ambiente construído. As variáveis de desenvolvimento humano são as mesmas usadas no cálculo do IDH municipal, separadas em um indicador de qualidade de vida e outro de renda. Por sua vez, as variáveis de qualidade da habitação, serviços sanitários e segurança ambiental refletem a qualidade do ambiente construído no que se refere ao provimento de condições adequadas a uma vida humana saudável; já as variáveis de saúde ambiental exprimem a incidência de doenças causadas por fatores ambientais (ar e água).

Tabela 03: Entradas e saídas do sistema de Qualidade de Vida humana.

Entrada	CHVRout	Ssout	SERVSANout	QUALVIDAout
10	9,2	9,2	9,2	7,6
9	7,4	7,4	7,4	6,5
8	6,8	6,8	6,8	6,2
7	6,3	6,3	6,3	5,9
6	5,7	5,7	5,7	5,5
5	5,0	5,0	5,0	5,0
4	4,9	4,3	4,3	4,5
3	4,8	3,7	3,7	4,1
2	4,5	3,2	3,2	3,8
1	3,8	2,6	2,6	3,5
0	2,5	0,8	0,8	2,7

6.1.2 Pressão Antrópica:

O índice de pressão antrópica avalia o potencial de impacto e degradação, por meio do grau de estresse exercido pela intervenção antrópica, urbanização e principais atividades econômicas sobre o sistema ambiental local, com especial atenção para seu potencial poluidor, ritmo de crescimento e concentração espacial. São três os indicadores que entram em sua composição: pressão urbana, pressão industrial e pressão agropecuária.

Tabela 04: Entradas e saídas do Sistema Pressão antrópica.

Entrada	PRESSURBout	PRESSRURout	PRESSINDUSout	PRESSANTROPICAout
0	0,8	0,8	0	1,5
1	2,6	2,6	1	2,9
2	3,2	3,2	2	3,4
3	3,7	3,7	3	3,8
4	4,3	4,3	4	4,4
5	5,0	5,0	5	5,0
6	5,7	5,7	6	5,7
7	6,3	6,3	7	6,2
8	6,8	6,8	8	6,7
9	7,4	7,4	9	7,1

10	9,2	9,2	10	9,2
----	-----	-----	----	-----

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

6.1.3 Capacidade Institucional:

O índice de capacidade político institucional mensura a capacidade dos sistemas político, institucional, social e cultural locais de superar as principais barreiras e oferecer respostas aos desafios presentes e futuros de sustentabilidade.

Tabela 05: Entradas e saídas do Sistema Capacidade Institucional.

Entrada	GESTPUBout	AUTADMout	CAPINSTout
0	9,2	9,2	8,5
1	7,4	7,4	7,1
2	6,8	6,8	6,6
3	6,3	6,3	6,2
4	5,7	5,7	5,6
5	5,0	5,0	5,0
6	4,3	4,3	4,4
7	3,7	3,7	3,8
8	3,2	3,2	3,4
9	2,6	2,6	2,9
10	0,8	0,8	1,5

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

6.1.4 Índice de Qualidade Ambiental

Combinados, os índices buscam mensurar a sustentabilidade municipal, o índice de qualidade de vida humana mensura a capacidade do município em reduzir a desigualdade social, prover os habitantes de condições básicas de vida e de um ambiente construído saudável e seguro

Tabela 06: Entradas e saídas do Sistema Qualidade Ambiental.

Situação	Vetor Fuzzy	Pontuação
----------	-------------	-----------

Qualidade Alta	6,9	10,0
Qualidade Alta	6,2	8,4
Qualidade Média Alta	6,0	7,8
Qualidade Média Alta	5,7	7,2
Qualidade Media	5,4	6,5
Qualidade Media	5,0	5,4
Qualidade Media Baixa	4,5	4,3
Qualidade Media Baixa	4,2	3,5
Qualidade Baixa	3,9	2,7
Qualidade Baixa	3,6	2,1
Qualidade Baixa	2,7	0,0

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

6.2 O Município de Votorantim

A partir das observações pode-se diagnosticar, analisar e ponderar as diferentes situações da qualidade ambiental do município. E para facilitar a análise, as situações foram separadas por cores, que vão do verde escuro para as melhores situações ao vermelho escuro para as piores. Isso foi importante para facilitar a discussão sobre os critérios de ponderação, visando gerar subsídios a futura proposição de diretrizes para um plano de gestão da área.

Em seguida foram coletados os dados do município de Votorantim em dois anos diferentes um no ano de 2000 e outro no ano de 2013, representados na tabela 3.

Tabela 07: Entradas e saídas do Sistema informações ambientais para o Município de Votorantim .

<i>Município /ANO</i>	Qual. Vida	Pressão Ant.	Capac. Inst.	Índice	Pontuação
<i>Votorantim/2000</i>	6,7	6,3	5,0	4,2	3,6
<i>Votorantim/2013</i>	6,1	6,0	5,5	4,6	4,5

Fonte: elaborado pelo próprio autor

Com base nestes valores foi possível perceber que o índice qualidade ambiental gerado para o município se encontrava na faixa indicativa de qualidade ambiental Media baixa, no ano de 2000 e passou para faixa indicativa de qualidade ambiental Media no ano de 2013, constatando-se que diretrizes de gestão ambiental implementadas, nesse período, foram eficazes.

7 CONCLUSÕES.

Dentro dos resultados alcançados, conclui-se que há um grande potencial de modelagem incluído na proposta para a análise da qualidade ambiental de um município. Aplicada ao diagnóstico ambiental dos stakeholders, a percepção dos participantes é intrinsecamente clara e simples, um dos objetivos do artigo. As observações que integram a análise visual do indicador final são qualitativas e de fácil interpretação, contrastando com os dados de entrada que envolvia múltiplas variáveis e transportava ao gestor incertezas e imprecisões. Assim, o uso da lógica *fuzzy* para a criação de indicadores permitiu gerar um melhor equacionamento das características dos dados coletados, diagnosticando e comunicando uma percepção mais adequada da área em estudo.

Portanto, de acordo com o objetivo proposto e resultados alcançados, conclui-se que o diagnóstico feito utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy* se mostrou um instrumento capaz de orientar a gestão ambiental participativa. Dessa forma, ao incorporar a percepção dos stakeholders ambientais, com a ferramenta proposta, é possível proporcionar maior legitimidade às políticas públicas, premissa maior para o alcance do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BELLEN, H. M. V. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Santa Catarina, Nov. 2002. Tese Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

BENETTI, L. B. Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável (IDS) do Município de Lages/SC através do Método do Painel de sustentabilidade. Florianópolis – SC, julho. 2006. Tese Doutorado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC.

BARROS, L.C., Bassanezi, R.C., Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática, Coleção IMECC Textos Disdáticos Vol 5, Campinas, 2006.

BRAGA, T.M.;FREITAS,A.P.G.;DUARTE,G.S.;CAREPA-SOUZA.J.2003. Índice de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição [da] Republica Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal.

BRASIL. Lei n 6.938 de 31 de agosto de 1981. Publicada no DOU de 2.9.81 Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL. Lei 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências (Estatuto das Cidades).

CARLOS, A.F.A., A Cidade. 7ª Ed. – São Paulo: Contexto, 2003.

CARVALHO, J. C. 2003. Poder Executivo. In: TRIGUEIRO, A. (Coord.) Meio Ambiente no Século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento. Rio de Janeiro: Sextante, p. 258-273.

CHACON, S. S. Desenvolvimento humano sustentável :um diálogo com o sertão. Revista Cent. Cência. Admin, Fortaleza, v.8, n.2, p.131-141, dez. 2002.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA SOROCABA-MÉDIO TIETÊ – CBH-SMT. 1997. Relatório de situação dos recursos hídricos 1995: UGRHI – 10 Sorocaba-Médio Tiête. Sorocaba: CETESB.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. 2007. Dados disponíveis na internet: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 2 dez. 2008.

DIAS, G. F. Iniciação à Temática Ambiental. São Paulo: Gaia, 2002.

EGRI, Carolyn P.; PINFIELD, Laurence T. 1999. As organizações e a biosfera: ecologia e meio-ambiente.

IBGE, 2003, Retrato do Brasil. Pesquisa de informações básicas municipais 2001. Perfil do município brasileiro. Meio Ambiente. Rio de Janeiro.

IDHS, Instituto de desenvolvimento Humano Sustentável (IDHS), 2005. Índice de Qualidade de Vida dos Municípios Brasileiros – Síntese do processo e principais resultados. PUC, Belo Horizonte. Disponível em: www.idhs.pucminas.br. Acesso em 28 de julho de 2008.

INSITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. 2006. Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10). São Paulo. Relatório nº 91.265 -205.

JANÉ, D. A. Uma Introdução ao Estudo da Lógica Fuzzy. Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas. Ourinhos (SP). No 02. 2004.

JANNUZZI, P. M., 2002. Considerações sobre o uso, mau uso e abuso dos indicadores sociais na formulação e avaliação de políticas públicas municipais. Revista de Administração Pública. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, RAP 36 (1), pp. 51-72.

LÉVI-STRAUSS, C. 2000 (1962). O Pensamento Selvagem. Papirus, Campinas.

KAYANO, J. CALDAS, E.L. 2001. Indicadores para o diálogo. In: SPINK, P., BAVA, S.C., PAULICS, V; (org.). Novos contornos da gestão local: conceitos em construção. Pólis, Programa Gestão Pública e Cidadania, São Paulo, pp. 291-308.

MATSUMOTO, E.Y., MatLab 6.5 Fundamentos de Programação, Érica Editora, São Paulo, 2002.

MORIN, E. O enigma do Homem: para uma nova antropologia. 1979. Zahar, Rio de Janeiro. 227p.,

NAHAS, M. I. P. "Indicadores sociais como instrumentos para formulação de políticas públicas e monitoramento da qualidade de vida urbana nas cidades brasileiras". In, Capacitação e informação. Cadernos Ministério das Cidades 8. Brasília: Ministério das Cidades, 2004.

ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

PARENTE, A. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: Um estudo do Ecological Footprint Method do Município de Joinville- SC, 2007. 197 p. Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Itajaí. Biguaçu – SC, 2007.

PINSKY, Jaime. As primeiras civilizações. São Paulo, Atual, 1987

RUTHEFORD, I. Use of models to link indicators of Sustainable Development. In: MOLDAN, B. BILHARZ, S. (eds). Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development. Chichester: John Wiley & Sons, 1997.

SANTOS, L. R. Estratégias para Controle de Pragas Sistemas P-fuzzy com Controle Híbrido.. 2008. 130p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Campinas, Instituto de matemática, Estatística e Computação Científica. Campinas, 2008

SEADE, O estado dos Municípios 2004 -2006 – Índice de Responsabilidade Social, Vol. 03, IPRS versão 2008. 184p.

SILVA, H.V.O., O uso de Indicadores Ambientais para aumentar a efetividade da Gestão Ambiental Municipal. 2008. 358 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

SIMÃO, A, G, SOUZA-LIMA,J.E. Organizações Sociais e Meio Ambiente Estudo sobre consciência e crise sócio=ambiental. XI ENGEMA – Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Curitiba. 2007.

SOROCABA. Lei Municipal no 8181, 05 de junho de 2007. Lei Ordinária. Ementa : Revisão da Lei 7.122 de 04/6/2004, que instituiu o novo Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial do Município de Sorocaba, e dá outras providências.

VEIGA, José Eli da. O desenvolvimento agrícola: uma visão histórica. São Paulo, EDUSP/Hucitec, 1991.

VIALLI, A. “Não estamos avançando na velocidade suficiente”. 2007. Jornal o Estado de São Paulo. Terça-feira, 23 de outubro de 2007.

Anexo- Regras de inferencia dos 7 sistemas utilizados no IMQA

[illegible]

- | Sistemas com 9 regras |
|---|
| 1. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is baixa) and (col.lixo is baixa) then (serv.san is baixa) (1) |
| 2. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is baixa) and (col.lixo is media) then (serv.san is baixa) (1) |
| 3. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is baixa) and (col.lixo is alta) then (serv.san is media.baixa) (1) |
| 4. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is media) and (col.lixo is baixa) then (serv.san is baixa) (1) |
| 5. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is media) and (col.lixo is media) then (serv.san is media.baixa) (1) |
| 6. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is media) and (col.lixo is alta) then (serv.san is media) (1) |
| 7. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is alta) and (col.lixo is baixa) then (serv.san is media.baixa) (1) |
| 8. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is alta) and (col.lixo is media) then (serv.san is media) (1) |
| 9. If (abst.agua is baixa) and (inst.san is alta) and (col.lixo is alta) then (serv.san is media.alta) (1) |