

III-341 – ANÁLISE DA GESTÃO MUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATRAVÉS DA LÓGICA FUZZY: UM ESTUDO APLICADO A UMA COOPERATIVA E AO ÓRGÃO PÚBLICO DE SOROCABA

Natasha Cristina Vieira da Silva⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Coordenadora de projetos relacionados a Recursos Naturais, em programa denominado Smart Campus FACENS (conceito de Cidades Inteligentes), na Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS). Iniciará pós-graduação em Gestão Socioambiental para a Sustentabilidade, na Fundação Instituto de Administração (FIA).

Luiza Amalia Pinto Cantão

Graduação em Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestre em Matemática Aplicada pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor Assistente Doutor da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus de Sorocaba, desde 2004.

Sandro Donnini Mancini

Graduação em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Professor Assistente Doutor (de 2003 à 2011) e Professor Adjunto, desde 2011, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus de Sorocaba.

Endereço⁽¹⁾: Rua Atílio Piffer, 705 – Casa Verde – São Paulo – SP – CEP: 02516-000 – Brasil – Tel: +55 (11) 9 63978966 - e-mail: natashacrvs@gmail.com.

RESUMO

O município de Sorocaba possui um programa de coleta seletiva desde 2007, o qual contempla ações conjuntas entre organizações de catadores (cooperativas) e a Prefeitura Municipal. O intuito de uma coleta seletiva é obter os resíduos sólidos passíveis de um retorno ao ciclo produtivo, ou seja, segregá-los para que sejam enviados a um processo denominado de reciclagem. Sendo uma solução com indícios favoráveis ao meio ambiente, à sociedade e à economia, analisar o processo de reciclagem dentro do complexo “triagem-empresa processadora” de Sorocaba, sob o olhar da lógica fuzzy, pode ser um bom caminho para o aumento da efetividade do processo, de forma a interligar variáveis inerentes ao contexto de gestão de resíduos sólidos e, dessa forma, compreender onde agir para corrigir possíveis falhas. Para a conexão de assuntos de reciclagem, é inevitável não transcorrer sobre sustentabilidade, em seu real conceito. Conhecer indicadores atrelados à sustentabilidade e o quanto eles estão impactando em cada eixo do tripé (meio ambiente, sociedade e economia) é de grande valia para, quiçá, solucionar desafios encontrados nos programas de coleta seletiva e da reciclagem. Novamente, a lógica fuzzy ingressa como a ferramenta para esse conhecimento e essa medição. Sorocaba cresceu, de forma significativa, em seu processo de reciclagem, apesar do baixo valor encontrado para a porcentagem de resíduos que retornam, de fato, ao ciclo produtivo. Com a análise de aspectos estudados, houve uma melhor compreensão das variáveis ligadas ao programa de coleta seletiva e ligadas às cooperativas do município, possibilitando medidas para concretizar o retorno de mais resíduos passíveis de reciclagem. É essa conexão entre diversos aspectos que faz da lógica fuzzy um instrumento adequado às situações complexas e, dessa forma, adequado no auxílio aos casos de tomadas de decisões, ação que envolve opiniões pessoais.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos, lógica fuzzy, sustentabilidade, gestão ambiental, tomada de decisão.

INTRODUÇÃO

Atualmente, mais de 165 milhões de brasileiros (85%) vivem em cidades e a qualidade de vida dessa população depende, em parcela significativamente considerável, de políticas públicas, em seus variados setores, que ponderem os aspectos ambientais (MMA *et al*, 2012).

O caminho para atingir essa urbanização e concentração populacional foi traçado em questão de tempo. O processo acelerado desses fenômenos nas cidades levou a alterações no padrão de consumo da sociedade, aumentando não só a produção incomensurável de resíduos sólidos, como também as suas características, fator que constituiu um grande desafio para as administrações públicas. Agravando a situação, o manejo de forma inadequada dos resíduos sólidos pode gerar riscos ambientais, sociais e econômicos e à saúde pública (MMA *et al*, 2012).

Todos esses fatos apontam para uma ação absoluta no que tange à gestão de resíduos sólidos, questão socioambiental estratégica que necessita de novas diretrizes. E, para isso, é importante entender de que forma os gestores atuam nesse seguimento do poder público. As grandes quantidades de resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas e o modo de tratamento e descarte desses pela sociedade moderna são objetos de estudo e questões preocupantes para os pesquisadores. O descarte e tratamento inadequados causam sérios efeitos negativos no meio ambiente, bem como sérios problemas de ordem social e econômica.

Dentro desse contexto, a atividade de reciclar aparece como uma alternativa para reduzir o que se joga “fora” e, conseqüentemente, as condições adversas prejudiciais que advêm do inadequado manejo do resíduo. O programa de reciclagem é um projeto e, dessa forma, é necessário que se tenha conhecimento de onde estão as falhas no mesmo para propor a solução.

O trabalho objetiva determinar um índice, baseado em dados de gestão de resíduos sólidos no município de Sorocaba (SP), cujo significado traz o entendimento do por que se faz necessária a escolha conjunta de variáveis para tomada de decisão pública nessa gestão. Com embasamento no resultado, avaliar se o município é sustentável, isto é, suas ações são alicerçadas no tripé “ambiente, sociedade e economia”. Planeja-se discutir como, por meio das saídas obtidas com a ferramenta, podem-se identificar falhas e tomar decisões frente ao importante ramo de gestão de resíduos sólidos urbanos e como interligar o meio ambiente com a sociedade e com a economia. Entende-se aqui que o ramo de resíduos sólidos citado é aquele sob responsabilidade do poder municipal e considerado reciclável.

Sendo uma alternativa em pró dos pilares ambiental, social e econômico, é de extrema importância que se entenda todo o caminho de um programa de reciclagem para que a sociedade possa ter o retorno esperado. Inerente a esse fator, é fundamental também o conhecimento de indicadores que, se efetivos, permitem que um município seja realmente sustentável. A elaboração de indicadores para avaliar a sustentabilidade ambiental, social, econômico-financeira e sanitária dos programas pode ser um instrumento relevante para monitorar os programas, propor metas e alternativas de gestão e ampliar seu alcance e seu fortalecimento.

CONCEITUAÇÃO

A lógica convencional utiliza distinções definidas para a separação de conjuntos. Por exemplo, uma pessoa com 1,60 metros de altura é considerada alta ou baixa e nunca os dois. A divisão criada por essa construção da lógica convencional, muitas vezes, é um processo complicado e pode não refletir a realidade do desafio a ser modelado (MARRO *et al*, 2008). Em contrapartida, a lógica fuzzy busca modelar o senso de palavras, a tomada de decisão ou o senso comum. Conseqüentemente, há condução das pesquisas para sistemas mais adequados à realidade.

Apesar do termo fuzzy, na língua inglesa, possuir diversos significados, os quais variam conforme contexto, o significado básico consiste em vagueza, incerteza. E, embora não possua uma tradução na língua portuguesa de forma unânime, os exemplos mais populares são “nebuloso” e “difuso” (MARRO *et al*, 2008).

A lógica fuzzy procura solucionar a reprodução do conhecimento impreciso. Seu principal objetivo é modelar, computacionalmente, o raciocínio humano, o qual é, muitas vezes, impreciso e ambíguo.

A lógica fuzzy foi introduzida em 1930 por Jan Lukasiewicz, filósofo e lógico polonês, quem propôs a utilização de um intervalo de valores [0,1], cujo intuito era exibir a possibilidade de uma declaração ser falsa ou verdadeira. Passados sete anos, Max Black sugeriu a ideia de que a continuidade descrevia graus e, assim, definiu o primeiro conjunto fuzzy e descreveu operações com conjunto fuzzy. Em 1965, o professor Lofti Asker Zadeh publicou o artigo Fuzzy Sets, documento que ficou conhecido como a origem da lógica fuzzy. Zadeh redescobriu a ideia de fuzzificação (MARRO *et al*, 2008).

De acordo com Cox (1995), o que diferencia a lógica fuzzy da lógica clássica é a capacidade da primeira de se aproximar do mundo onde não existem somente respostas extremas, ou seja, dá espaço ao meio termo, apresentando a possibilidade de mensurar o grau de aproximação da solução exata e inferir algo que seja necessário.

A lógica fuzzy baseia-se na Teoria dos Conjuntos Fuzzy, que infere que dado certo elemento pertencente a um domínio, é verificado o grau de pertinência desse em relação ao conjunto. Logo, o grau de pertinência é a referência para validar a intensidade com que um elemento pertence ao conjunto.

O grau de pertinência é obtido por meio de determinada função, conhecida como função de pertinência, a qual geralmente é definida em um intervalo de 0 a 1, sendo que 0 significa que o elemento não pertence ao conjunto e 1, que o elemento pertence ao conjunto. Pode-se entender o intervalo como escala de porcentagem, ou seja, de 0% (0) a 100% (1). A função de pertinência depende do desafio a ser modelado e da capacidade do computador disponível para atender o que se deseja. Há diversas opções para a escolha de uma função de pertinência, sendo as mais utilizadas a triangular, a trapezoidal e a gaussiana.

A função triangular (trimf) é uma função de 'x' e depende de três parâmetros escalares [a b c], dos quais "a" e "c" determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores iguais a 0, e "b" é o ponto onde a função de pertinência é máxima (igual a 1). A figura 1 revela a função de pertinência triangular (PIMENTEIRA, 2010).

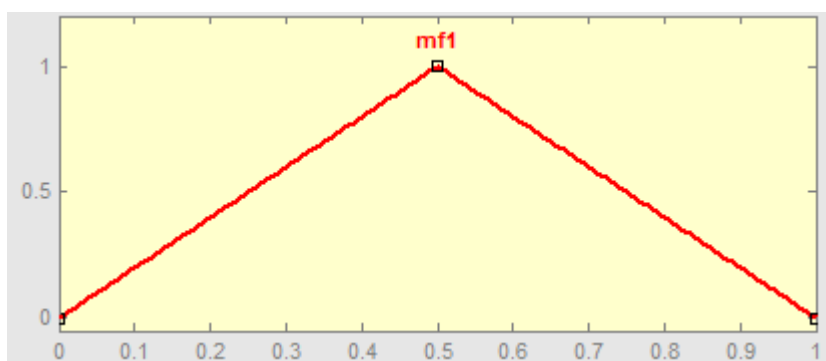


Figura 1: Função de pertinência triangular.

Fonte: MATLAB 7.10.0.

A função trapezoidal (trapmf) é caracterizada por ser um conjunto de quatro parâmetros escalares [a b c d], dos quais "a" e "d" indicam o intervalo dentro do qual a função assume valores iguais a 0; "b" e "c", o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e equivalente a 1. A figura 2 exhibe a função de pertinência trapezoidal (PIMENTEIRA, 2010).

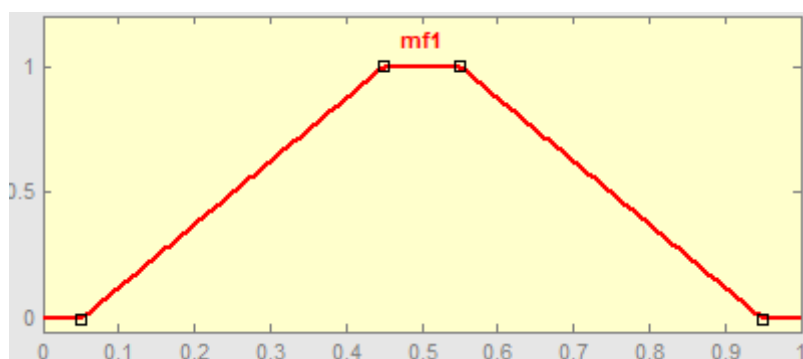


Figura 2: Função de pertinência trapezoidal.

Fonte: MATLAB 7.10.0.

A função gaussiana (gaussmf) é definida por sua média e seu desvio padrão. Para todo domínio da variável em estudo, possui valores diferentes de 0 e possui um decaimento suave. A figura 3 mostra a função de pertinência gaussiana (PIMENTEIRA, 2010).

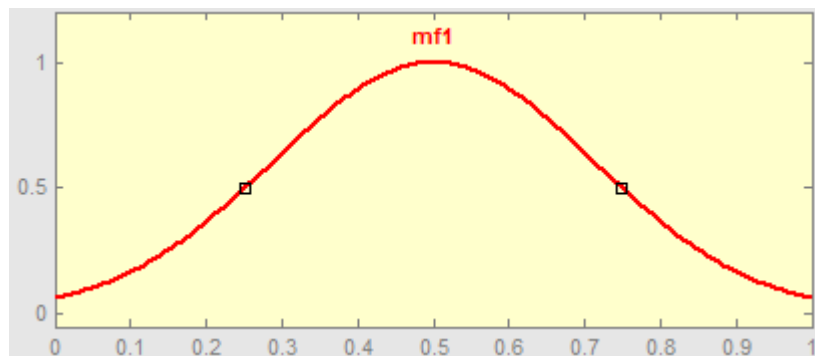


Figura 3: Função de pertinência gaussiana.

Fonte: MATLAB 7.10.0.

É de valia analisar com cautela essa etapa para que seja realizada a escolha mais adequada ao modelo.

Os conjuntos fuzzy possuem uma menor rigidez, se comparados com aqueles da lógica convencional, pois os primeiros admitem graus parciais de pertinência. Na lógica convencional, define-se com clareza o conceito de pertinência: os elementos de um conjunto A em determinado Universo X pertence ou não pertence àquele conjunto. A função característica f_A expressa a situação (TANSCHKEIT, 2000):

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se e somente se } x \in A \\ 0, & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

Na lógica fuzzy, generaliza-se a função característica de forma que haja a possibilidade de se assumir um número infinito de valores diferenciados no intervalo [0,1]. Dessa forma, um conjunto fuzzy A em X é expresso como um conjunto de pares ordenados:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Onde $\mu_A(x)$ é a função de pertinência de $x \in A$, definida como o mapeamento de X no intervalo fechado [0,1]:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

Variável linguística é uma entidade utilizada para representar um conceito ou uma variável de dado desafio, de forma imprecisa. A variável linguística admite somente valores determinados na linguagem fuzzy em estudo (MARRO *et al*, 2008). Por exemplo, a temperatura de um processo, a qual assumiria valores *baixa*, *média* e *alta* (Figura 4).

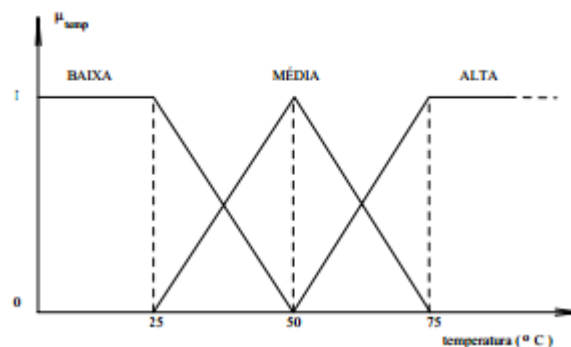


Figura 4: Variável linguística "Temperatura".

Fonte: Gomide *et al*.

Modificadores são termos que mudam o modo dos conjuntos fuzzy, isto é, mudam a intensidade dos valores fuzzy, por exemplo, advérbios muito, pouco, extremamente, dentre outros (MARRO *et al.*, 2008). Retomando o exemplo da variável linguística “Temperatura”, seus valores poderiam ser expressos como *muito alta*, *pouco alta*, *extremamente média*, dentre outros.

Um sistema baseado em regras fuzzy possui quatro componentes: processador de entrada; coleção de regras linguísticas (base de regras), método de inferência fuzzy; processador de saída. A figura 5 revela um sistema baseado em regras fuzzy.

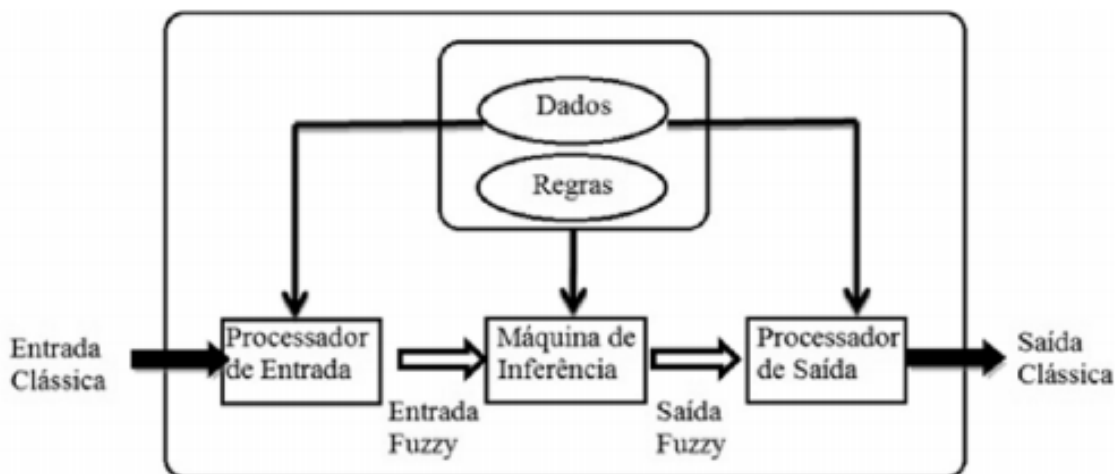


Figura 5: Sistema baseado em regras fuzzy.

Fonte: Castanho *et al.* (2010).

Processador de entrada (fuzzificação)

A fuzzificação consiste em realizar a transformação de um dado numérico em valores linguísticos. Para o programa computacional fuzzificar esse dado, as funções de pertinência são determinadas e utilizadas.

Inferência

A inferência um processo de avaliação das entradas inseridas na etapa de fuzzificação, que objetiva, através de regras definidas, a obtenção de conclusões fazendo uso da Teoria dos Conjuntos Fuzzy. A inferência engloba a definição e a análise das regras e, posteriormente, a criação da região resultante.

Na definição das regras, trabalha-se com proposições condicionais (“se X é Z, então Y é W”) ou com proposições não condicionais, isto é, o elemento é definido, sem condições (“X é Z”).

Trabalhando-se com proposições condicionais, na análise das regras, cada antecedente (lado “se”) tem um grau de pertinência. A ação da regra (lado “então”) representa a saída nebulosa da regra, cuja intensidade é calculada baseando-se nos valores dos antecedentes.

Para obter um conjunto difuso de saída “x” a partir da inferência nas regras, há duas técnicas a serem utilizadas: agregação e composição. A agregação define o quão apropriado cada regra é para a situação modelada. A composição define o resultado obtido depois de realizada a inferência, isto é, calcula o quanto cada regra influencia as variáveis de saída.

Para exemplificar a questão da agregação e da composição, suponha-se que um analista de projetos em certa empresa determina o risco de um projeto. Para isso, as variáveis de entrada devem ser analisadas: quantidade de dinheiro e quantidade de pessoas envolvidas no projeto. A base de regras para análise será:

- Se *dinheiro* é adequado ou *pessoal* é baixo, **então** *risco* é pequeno;
- Se *dinheiro* é médio e *pessoal* é alto, **então** *risco* é normal;
- Se *dinheiro* é inadequado, **então** *risco* é alto.

O processo de inferência é realizado através de modelos de inferência, os quais são escolhidos com base no tipo de desafio a ser resolvido. O modelo de Mamdani é o método mais utilizado para inferência fuzzy (COSTA, 2013). Proposto, em 1975, pelo professor Ebrahim Mamdani, com o intuito de controlar uma máquina a vapor, o modelo de Mamdani baseia-se na intuição, de forma que cada regra é uma proposição condicional fuzzy e diferenciadas relações fuzzy podem dela advir.

Defuzzificação

A defuzzificação é a etapa na qual os valores linguísticos são convertidos em números reais para a variável de saída do sistema. Corresponde à ligação funcional entre as regiões fuzzy e o valor esperado.

Há diversas técnicas de defuzzificação, podendo-se destacar: Centróide (Centro de Gravidade), First-of-Maxima e Critério Máximo, representadas nas figuras 6, 7, 8, respectivamente.

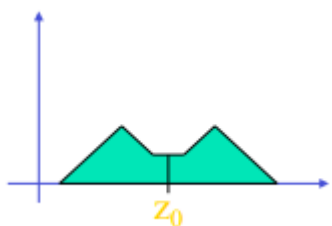


Figura 6: Centróide.
Fonte: Roisenberg (2012).

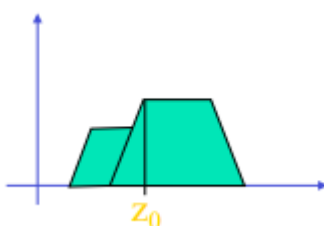


Figura 7: First-of-Maxima.
Fonte: Roisenberg (2012).



Figura 8: Critério Máximo.
Fonte: Roisenberg (2012).

Um ambiente de computação científica para utilização da Teoria dos Conjuntos Fuzzy é MATLAB®, composto pelo *Fuzzy Logical Toolbox*. Há um guia Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, elaborado pelo The MathWorks para utilizar o *Fuzzy Logical Toolbox* (THE MATHWORKS, 1999).

A grande vantagem da lógica fuzzy é traduzir termos da linguagem utilizada nas comunicações diárias em expressões matemáticas, através das propriedades dos conjuntos fuzzy e dos métodos de fuzzificação e defuzzificação. Além da rapidez da construção do sistema, Shaw e Simões (1999) afirmam que estratégias baseadas na lógica fuzzy, geralmente, revelam-se como mais eficientes e de custos menores, exatamente por se fundamentarem em implementações linguísticas.

Os conjuntos fuzzy podem ser representados de maneira fácil, além de representarem a forma de pensar dos especialistas sobre um dado desafio. E mais, sistemas fuzzy são validados de igual modo que os sistemas convencionais e a calibração desses é mais simples, face à existência de diversas regras.

O sistema fuzzy possui um comportamento diferente do que o comportamento de um modelo matemático clássico, visto que não é preciso que ele seja desenvolvido ou até mesmo conhecido. Caracteriza-se por ser um universo que apresenta um sistema imerso em suas definidas regras, nas suas funções de pertinência e em seus métodos de fuzzificação e defuzzificação (PIMENTEIRA, 2010).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho baseou-se no estudo realizado por Pimenteira (2010), que escreveu sobre os impactos das decisões dos gestores das políticas públicas, e no estudo realizado por Besen *et al* (2006), que expôs os indicadores de sustentabilidade para programas municipais de coleta seletiva.

Obtivemos dados específicos através de questionários. As respostas para as perguntas desses questionários serão exibidas ao longo do estudo. Os mesmos foram direcionados para:

- Central de Reciclagem da Zona Oeste de Sorocaba, situada no município de Sorocaba (SP);
- Especialista na área de resíduos sólidos;
- Assessora técnica da Secretaria de Serviços Públicos de Sorocaba.

Utilizou-se o software *Fuzzy Logic Toolbox*, o qual consiste em uma coleção de funções construídas no programa computacional MATLAB®.

A partir do estudo de Pimenteira (2010), buscaram-se as variáveis necessárias para a obtenção do Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos. A descrição dessas variáveis será realizada no item “Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos”.

Levantaram-se documentos e estudos fundamentados, os quais corroboraram para fundamentar os intervalos requisitados para o funcionamento do sistema computacional (intervalos para “Efeito Fuzzy”) e para suas classificações.

Com base nas variáveis levantadas, elaborou-se um questionário com perguntas direcionadas à Prefeitura do Município de Sorocaba, para satisfazer dados numéricos do Município, os quais foram utilizados para alcançar o Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos.

Implementaram-se os intervalos para “Efeito Fuzzy” de cada variável (qualitativas e quantitativas) no *Fuzzy Logic Toolbox*, do programa MATLAB®. As funções de pertinência utilizadas foram a trapezoidal, pois é uma função que caracteriza de forma melhor os extremos, e triangular, a qual é um caso particular da função trapezoidal e possui fácil modo intuitivo de utilização de cálculo pelos tomadores de decisão (LIN *et al*, 2007).

As bases de regras foram criadas a fim de conectar as informações inseridas. O método de inferência de Mamdani foi o escolhido para relacionar as entradas e as saídas do conjunto de regras, já que o mesmo possibilita incorporar ao sistema o conhecimento acadêmico, a experiência e a intuição dos especialistas. Além do que, do ponto de vista matemático, possui uma estrutura simples de operações. Nesse método, a saída é construída pela superposição dos consequentes das regras individuais.

Por fim, para alcançar o Grau de Sustentabilidade da Gestão de Resíduos Sólidos Recicláveis (valor numérico de saída), utilizou-se o Método do Centro de Gravidade para a defuzzificação.

Com base no estudo de Besen (2006), levantaram-se os indicadores bem como os intervalos para “Efeito Fuzzy” para avaliar os graus de sustentabilidade tanto do programa sorocabano de coleta seletiva existente como da Central de Reciclagem do município. A descrição desses indicadores será realizada nos itens “Grau de Sustentabilidade do Programa de Coleta Seletiva” e “Grau de Sustentabilidade da Cooperativa”.

Com base nos indicadores, elaboraram-se algumas perguntas com diferenciados direcionamentos à Prefeitura Municipal de Sorocaba e a um especialista na área de resíduos sólidos, para obtenção de dados numéricos do Município de Sorocaba no ramo de coleta seletiva; e à Central de Reciclagem, para aquisição de números de um estabelecimento que tria os resíduos para destinar de forma ambientalmente adequada.

O procedimento adotado no programa computacional foi o mesmo para obtenção do grau de sustentabilidade do programa sorocabano de coleta seletiva e para obtenção do grau de sustentabilidade da Central de Reciclagem do município. A diferença é que para obtenção do primeiro, houve apenas uma interação para determinar o valor numérico de saída. Já para obtenção do segundo, houve duas interações, pois há uma quantidade maior de variáveis a serem analisadas.

Implementaram-se os intervalos para “Efeito Fuzzy” de cada indicador no *Fuzzy Logic Toolbox*, do programa MATLAB®. Utilizaram-se as funções de pertinência trapezoidal e triangular, pelos mesmos motivos citados em parágrafo anterior.

Criaram-se as bases de regras a fim de conectar as informações inseridas. Utilizou-se o método de inferência de Mamdani para relacionar as entradas e as saídas do conjunto de regras e, por fim, para alcançar os Graus de Sustentabilidade (valores numéricos de saída), utilizou-se o Método do Centro de Gravidade para a defuzzificação.

Uma análise crítica baseada no resultado do Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos foi realizada para possibilitar o conhecimento de onde e como agir de forma que facilite a tomada de decisão do gestor.

Após a obtenção dos Graus de Sustentabilidade do Programa de Coleta Seletiva e da Cooperativa, analisou-se o resultado para compreender como uma tomada de decisão no manejo de resíduos sólidos é de fundamental importância frente à sociedade, ao meio ambiente e à economia.

Interligaram-se as duas etapas do estudo de forma a verificar, com base no conceito de sustentabilidade, como diversas variáveis se interligam e como a lógica fuzzy contribui para o conhecimento de qual parte seria possível intervir para que o complexo da Gestão de Resíduos Sólidos do município como um todo cresça de forma adequada e contínua.

GRAU DE SUSTENTABILIDADE DA GESTÃO MUNICIPAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A primeira parte do estudo consistiu em obter o Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, através da lógica fuzzy.

Os dados de entrada podem ser um número preciso, quando derivado de uma medição, ou ainda um conjunto fuzzy, quando provido de um observador humano ou na forma de questionário.

De acordo com Pimenteira (2010), as variáveis para inserção no programa computacional MATLAB® são classificadas em qualitativas e quantitativas. As variáveis qualitativas referem-se a parâmetros que necessitam da interferência do órgão público para que se obtenham valores numéricos; as variáveis quantitativas são parâmetros que possuem seus valores numéricos independente do órgão público. O quadro 1 exibe as variáveis levantadas.

Quadro 1: Variáveis qualitativas e quantitativas para obtenção do Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos.

Variáveis qualitativas	Variáveis quantitativas
Orçamento municipal para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU)	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)
Qualidade dos serviços de disposição final	Matéria orgânica
Sistema de coleta seletiva	Matéria comumente reciclável
Sistema de reciclagem	Lixo per capita (kg/hab.dia)

- Orçamento municipal para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU)

Essa variável revela a preocupação do gestor com a limpeza do município.

As variáveis linguísticas utilizadas para fuzzificação foram atribuídas conforme o Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (2011) e estão de acordo com a tabela 1.

Tabela 1: Variáveis linguísticas referentes ao “Orçamento municipal para a GRSU”.

Orçamento municipal para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos			
Classificação	Baixo	Médio	Alto
Porcentagem	0% - 7%	7,1% - 10%	10,1% - 15%
Para efeito fuzzy	[0 0 3.8 7]	[6.5 8 10]	[8.76 12 15 15]

Em termos de linguagem fuzzy, é comum a introdução de advérbios de intensidade a cada variável. Na tabela 1, as porcentagens entre 0% e 7% são consideradas como um baixo orçamento municipal. Se a porcentagem for 6,7%, por exemplo, pode-se dizer que o orçamento municipal é um “pouco” baixo, visto que está muito próximo do valor mínimo considerado como um orçamento médio. Diante disso, a linha “Para efeito fuzzy” desta e de todas as tabelas seguintes apresenta os valores inseridos no programa computacional MATLAB®.

- Qualidade dos serviços de disposição final

O modo como o gestor decide a forma com que o resíduo será disposto influencia na questão das condições dessa disposição e/ou destinação. Esse é um fator que pode impactar a população próxima e/ou distante daquela que gerou o resíduo.

As variáveis linguísticas utilizadas para fuzzificação foram atribuídas de acordo com o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares (CETESB, 2012). O Inventário apresenta as condições dos sistemas de disposição e tratamento de resíduos sólidos urbanos nos municípios do Estado de São Paulo, por meio dos diversos índices.

No estudo, o denominado Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) foi aquele tomado como base, entendendo que a disposição final, no caso, é o Aterro Sanitário.

A tabela 2 exibe a atribuição das variáveis linguísticas.

Tabela 2: Variáveis linguísticas referentes à “Qualidade dos serviços de disposição final”.

Qualidade dos serviços de disposição final			
Classificação	Baixa (condições inadequadas)	Média (condições controladas)	Alta (condições adequadas)
Porcentagem	0% - 60%	60,1% - 80%	80,1% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 29 60]	[56 68 80]	[76 88 100 100]

- Sistema de coleta seletiva

Possuir um sistema de coleta seletiva mostra um investimento do poder público para que haja uma segregação dos resíduos gerados já na fonte, isto é, antes que chegue ao destino final. A existência desse sistema ou de projetos dele leva a um processo de conscientização ambiental, bem como de educação ambiental da população.

Para a fuzzificação, baseou-se nos índices estudados por Besen *et al* (2006), exibidos na tabela 3.

Tabela 3: Variáveis linguísticas referentes ao “Sistema de coleta seletiva”.

Sistema de coleta seletiva			
Classificação	Baixo	Médio	Alto
Porcentagem	0% - 30%	31,1% - 74,9%	75% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 18 30]	[24 53 74.9]	[70 86 100 100]

- Sistema de reciclagem

A reciclagem é um processo independente à existência da coleta seletiva. É real ver cidades que possuem a reciclagem, por meio de setores informais ou de cooperativa de catadores, sem haver, necessariamente, a coleta seletiva. Isso advém do fato de pessoas que aproveitam a reciclagem para gerar ou complementar a renda. Já o setor formal é constituído pelo serviço público de coleta de lixo e se faz presente pela concessão de subsídios para orientar a mão de obra.

O percentual de lixo reciclado no estado de São Paulo varia de 2% a 5% (RIBEIRO, 2013), valores distantes do intervalo considerado alto, na opinião do gestor público. A tabela 4 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação, conforme os especialistas.

Tabela 4: Variáveis linguísticas referentes ao “Sistema de reciclagem”.

Sistema de reciclagem			
Classificação	Baixo	Médio	Alto
Porcentagem	0% - 5%	5,1% - 9,9%	10% - 20%
Para efeito fuzzy	[0 0 2 5]	[4 7 9.9]	[9 14 20 20]

A significância das variáveis quantitativas advém da análise em conjunto com a impressão do especialista. Quando o gestor verifica o valor de uma variável quantitativa e torna pública a sua impressão, a precisão da ferramenta é muito maior, visto que possibilita a clareza do impacto daquela informação sobre quem a utilizará diretamente.

- Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)

O IDH foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU), no início da década de 1990, e é a base empírica dos Relatórios de Desenvolvimento Humano, cuja responsabilidade é a de monitoramento do processo de desenvolvimento mundial. O índice é calculado a partir da distribuição de renda, saúde e educação.

Conforme o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Humano (PNUD), o IDH possui as classificações reveladas na tabela 5, para variáveis linguísticas.

Tabela 5: Variáveis linguísticas referentes ao “IDH”.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)			
Classificação	Baixo	Médio	Alto
Intervalo	0 – 0,49	0,5 – 0,79	0,8 – 1,0
Para efeito fuzzy	[0 0 0,25 0,49]	[0,4 0,65 0,79]	[0,7 0,88 1 1]

- Matéria orgânica

A quantidade de matéria orgânica no lixo domiciliar determina o poder aquisitivo da população. Em locais onde o poder aquisitivo é baixo, a quantidade de matéria orgânica corresponde a um valor acima de 50% (PIMENTEIRA, 2010), visto que há uma menor quantidade de embalagens nos alimentos e, conseqüentemente, maior quantidade de matéria orgânica. Essa variável possibilita também a identificação de fontes de proliferação de vetores, bem como a estimação do potencial de geração de metano dentro da parte úmida do lixo.

Atribuíram-se as classificações para as variáveis linguísticas com base em comparações com outros municípios (Tabela 6).

Tabela 6: Variáveis linguísticas referentes à “Matéria orgânica”.

Matéria orgânica			
Classificação	Baixa	Média	Alta
Porcentagem	0% - 50%	50,1% - 55,5%	55,6% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 30 50]	[47 51 55.5]	[53.5 78 100 100]

- Matéria comumente reciclável

É na matéria comumente reciclável que há a possibilidade de encontrarem-se elementos passíveis de reciclagem.

As classificações para as variáveis linguísticas foram estabelecidas de acordo com comparações com outros municípios e estão indicadas na tabela 7.

Tabela 7: Variáveis linguísticas referentes à “Matéria comumente reciclável”.

Matéria comumente reciclável			
Classificação	Baixa	Média	Alta
Porcentagem	0% - 34%	34,1% - 38,1%	38,2% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 21 34]	[31.7 34 38.1]	[36 60 100 100]

- Lixo per capita (kg/hab.dia)

É o valor numérico de quanto cada pessoa gera de resíduos sólidos por dia.

Conforme o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos (CETESB, 2011), os níveis de classificação do lixo gerado por habitante estão de acordo com a tabela 8.

Tabela 8: Variáveis linguísticas referentes ao “Lixo per capita”.

Lixo per capita (kg/hab.dia)			
Classificação	Baixo	Média	Alta
Intervalo	0 – 0,49	0,5 – 0,69	> 0,7
Para efeito fuzzy	[0 0 0,25 0,49]	[0,4 0,55 0,69]	[0,6 0,7 1 1]

As quatro variáveis qualitativas e as quatro variáveis quantitativas são denominadas de primárias, todas caracterizadas de modo que reflitam a Gestão de Resíduos Sólidos. Combinando-se essas variáveis, pode-se chegar ao índice final, o Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, o qual advém da combinação de um dado empírico com a subjetividade da tomada de decisão do gestor.

A combinação das variáveis qualitativas e quantitativas descritas conduziu à obtenção de novos parâmetros.

Efeito Limpeza: reflete as condições de desenvolvimento humano no município e as condições dessa limpeza serão baseadas no quanto do orçamento municipal será destinado a esse serviço, revelando uma melhor ou pior sensação de bem-estar para a população. Esta variável advém da combinação entre a variável qualitativa “Orçamento municipal para a GRSU” e a variável quantitativa “IDH”.

Efeito Emissão de Metano: a quantidade de matéria orgânica juntamente com a qualidade da disposição final interfere na etapa final do processo global de degradação anaeróbica de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono. A variável Efeito Emissão de Metano advém da combinação entre a variável qualitativa “Qualidade dos serviços de disposição final” e a variável quantitativa “Matéria orgânica”.

Efeito Conservação de Energia: identifica o custo de oportunidade do poder público em estimular o processo de coleta seletiva. É o menor custo de oportunidade que ocasiona o incentivo à reciclagem, visto que o poder público realiza a coleta com orçamento público, e, dessa forma, o programa de coleta seletiva seria financiado por esse mesmo recurso. Logo, há três importantes fatores para a ocorrência do programa de coleta seletiva. O tomador de decisão deve analisar o orçamento, a gravimetria do lixo gerado e possíveis compradores da matéria prima gerada com a ação. Essa variável advém da combinação entre a variável qualitativa “Sistema de coleta seletiva” e a variável quantitativa “Matéria comumente reciclável”.

Efeito Lixo Rico: revela a forma espontânea na existência de movimentos para coletar bens inservíveis para a sociedade, visto que, neste caso, a reciclagem ocorre porque há interesse em obter-se renda, advinda do lixo, e não há, necessariamente, incentivo do poder público para a ocorrência da ação. Esta variável advém da combinação entre a variável qualitativa “Sistema de reciclagem” e a variável quantitativa “Lixo per capita”.

Foi realizado o cruzamento dos Efeitos descritos acima para alcançar os índices para os denominados impactos.

Impacto de Emissão: ao cruzar-se o “Efeito Limpeza” com o “Efeito de Emissão de Metano”, são determinadas as condições de vida populacional e o quanto do gás essa população emite, em posse de boa qualidade de limpeza.

Impacto Energético: resultante do cruzamento entre o “Efeito Conservação de Energia” e o “Efeito Lixo Rico”, o Impacto Energético, além de medir a conservação de energia com sistemas que envolvam a reciclagem, procura identificar a economia energética e a economia financeira existentes na coleta de lixo.

Finalmente, o cruzamento do “Impacto de Emissão” com o “Impacto Energético” resulta no objeto almejado da primeira parte do estudo: o Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, valor defuzzificado dos cruzamentos de todas as variáveis fuzzy.

A obtenção do Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos demonstra o porquê de que, quando as variáveis são determinadas separadamente para tomada de decisão, há mau dimensionamento de seus impactos.

O Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos é um indicador de classificação mais humanista do desafio de gerir recursos públicos, o qual permite aos gestores decidirem de forma mais precisa.

DADOS DO MUNICÍPIO DE SOROCABA

- Orçamento municipal para a GRSU

Conforme Santana (2013), Sorocaba paga R\$ 3,6 milhões mensais para a coleta, transporte e disposição final do lixo urbano: são R\$ 2,5 milhões para coleta e transporte e R\$ 1,14 milhões para a disposição final. Anualmente, o valor pago é de R\$ 43,2 milhões.

De acordo com Clebson Aparecido Ribeiro, Secretário do Meio Ambiente, para realizar o serviço de coleta seletiva, a Prefeitura Municipal de Sorocaba gasta 3,6 vezes mais do que gasta com a disposição do lixo, pelo fato do método ser mais caro e pelo fato da baixa quantidade de material recolhido. Sendo assim, são gastos, mensalmente, R\$ 13 milhões na coleta seletiva e, anualmente, R\$ 156 milhões.

Na gestão municipal anterior, encaminhou-se o projeto de lei com o orçamento de 2013 de R\$ 1,835 bilhão. Dessa forma, somando-se os valores pagos para a coleta comum de lixo e a coleta seletiva (R\$ 199,2 milhões), o orçamento municipal destinado ao GRSU é de 11%.

- Qualidade dos serviços de disposição final

De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares (CETESB, 2012), o denominado Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) do município de Sorocaba foi de 9,5 (ou 95%).

- Sistema de coleta seletiva

A coleta seletiva do município de Sorocaba atinge 50%, no entanto, a ação é efetiva em apenas 15% da área, devido à segregação dos resíduos realizada pela população.

- Sistema de reciclagem

Sorocaba recicla 2% dos resíduos gerados por dia.

A Central de Reciclagem Zona Oeste repassa à Prefeitura Municipal de Sorocaba dados referentes às quantidades de recicláveis comercializados.

- IDH

Segundo a FIESP, Sorocaba possui o IDH de 0,798.

- Matéria orgânica e Matéria comumente reciclável

44% dos resíduos de Sorocaba são matéria orgânica e 36% são matéria comumente reciclável.

- Lixo per capita

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população sorocabana é de 586.625 habitantes.

Os registros da Prefeitura do Município acerca do material encaminhado para disposição final contabilizaram 494,25 t/dia, no ano de 2013. Essa quantidade, acrescida da quantidade coletada seletivamente (19,23 t/dia útil), faz com que a geração de resíduos atinja 513,48 t/dia.

Dessa forma, tem-se um lixo per capita de 0,88 kg/hab.dia.

A tabela 9 exibe o resumo dos dados de Sorocaba frente às variáveis qualitativas e quantitativas.

Tabela 9: Resumo das variáveis qualitativas e quantitativas de Sorocaba.

Variáveis qualitativas				Variáveis quantitativas			
Orçamento municipal para a GRSU	Qualidade dos serviços de disposição final	Sistema de coleta seletiva	Sistema de reciclagem	IDH	Matéria orgânica	Matéria comumente reciclável	Lixo per capita
11%	97%	15%	2%	0,798	44%	36%	0,88 kg/hab.dia

MATLAB® – INTERAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DOS CONJUNTOS FUZZY

Os estudos e questionários realizados foram utilizados para a construção dos conjuntos fuzzy das variáveis quantitativas e para definição dos vetores linguísticos das variáveis qualitativas.

O quadro 2 revela a base de regras constituídas pela junção “se-então” para o “Efeito Limpeza”.

Quadro 2: Base de regras - “Efeito Limpeza”.

Base de Regras Fuzzy – Efeito Limpeza			
	SE	E	ENTÃO
	IDH	Orçamento municipal para a GRSU	Efeito Limpeza
1	Baixo	Baixo	Baixo
2	Baixo	Médio	Baixo
3	Baixo	Alto	Médio
4	Médio	Baixo	Baixo
5	Médio	Médio	Médio
6	Médio	Alto	Alto
7	Alto	Baixo	Médio
8	Alto	Médio	Alto
9	Alto	Alto	Alto

O comportamento das regras é exibido na figura 9.



Figura 9: Comportamento das regras - “Efeito Limpeza”.

Ao cruzar a variável quantitativa “IDH” com a variável qualitativa “Orçamento municipal para a GRSU”, resulta-se em uma inferência de um valor, no intervalo [0 1].

Sorocaba, com um IDH de 0,798 e com 11% destinados ao GRSU, após a defuzzificação, apresentou o valor 0,85, como revela a figura 9. Dessa forma, esses valores de IDH e de orçamento possibilitam adequadas condições em relação à limpeza pública, levando à população sorocabana uma sensação de bem-estar.

Simulando a mudança de valores no município de Sorocaba, devido a qualquer situação que venha a ocorrer, infere-se que o IDH é fator relevante para uma boa limpeza, no entanto, o quanto do orçamento é destinado para esses serviços mostra-se como fundamental diante da sensação de satisfação da população.

Condições apropriadas de limpeza pública são de extrema importância para o município, visto que a exposição indevida dos resíduos gera incômodos à população, tanto pelo mau odor quanto pela poluição visual e degradação do ambiente.

O quadro 3 revela a base de regras constituídas pela junção “se-então” para o “Efeito Emissão de Metano”.

Quadro 3: Base de regras - “Efeito Emissão de Metano”.

Base de Regras Fuzzy – Efeito Emissão de Metano			
	SE	E	ENTÃO
	Matéria orgânica	Qualidade dos serviços de disposição final	Efeito Emissão de Metano
1	Baixa	Baixa	Baixo
2	Baixa	Média	Baixo
3	Baixa	Alta	Baixo
4	Média	Baixa	Médio
5	Média	Média	Médio
6	Média	Alta	Baixo
7	Alta	Baixa	Alto
8	Alta	Média	Alto
9	Alta	Alta	Baixo

O comportamento das regras é exibido na figura 10.



Figura 10: Comportamento das regras - “Efeito Emissão de Metano”.

O cruzamento da variável quantitativa “Matéria orgânica” com a variável qualitativa “Qualidade dos serviços de disposição final” resulta em uma inferência de um valor, no intervalo [0 1].

Sorocaba, com 44% de matéria orgânica e 95% de qualidade de disposição final, após a defuzzificação, apresentou o valor para o “Efeito Emissão de Metano” de 0,169 (Figura 10), valor baixo em termos fuzzy, indicando a baixa emissão do gás.

O metano é um gás combustível produzido por fontes naturais ou por fontes antropogênicas (controladas ou influenciadas pelos homens), basicamente. Dentre as fontes antropogênicas, uma das principais, em questão de quantidades emitidas, é o manejo de resíduos sólidos, incluindo o tratamento de efluentes e a disposição desses resíduos em aterros sanitários (Figura 11).

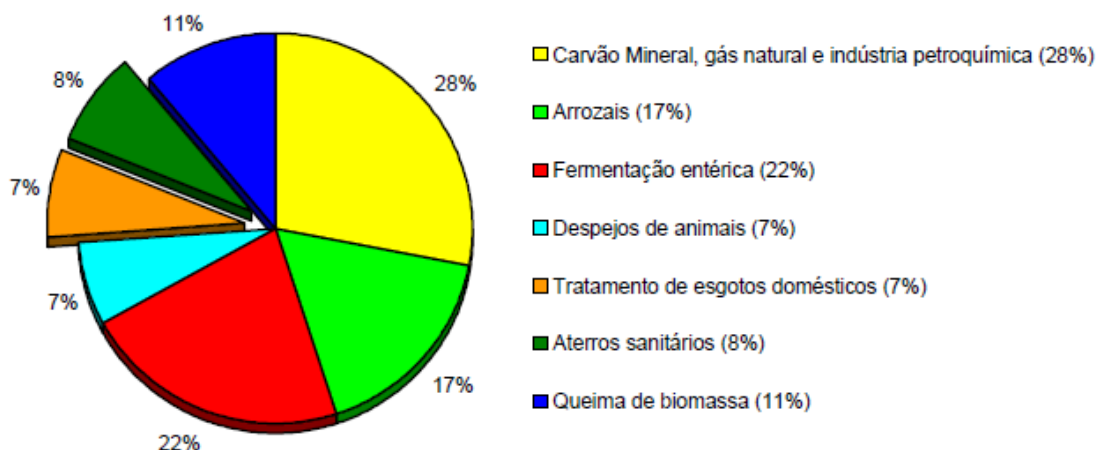


Figura 11: Fontes antropogênicas de metano.
Fonte: IPCC, 1995.

O índice de emissão de metano encontrado para Sorocaba foi um valor baixo, situação de grande vantagem para o município, visto que esse gás proveniente dos aterros contribui em proporção considerável para as emissões globais de metano.

É importante a atenção para essas variáveis, visto que à medida que a quantidade de matéria orgânica aumenta, maior a emissão de metano para o meio, quando essa for disposta em Aterro Sanitário. E o mesmo raciocínio vale para o serviço de qualidade da disposição final, já que quanto melhor a estrutura desse local, maior o aprisionamento do gás, ação que possibilita a obtenção de energia.

O quadro 4 apresenta a base de regras constituídas pela junção “se-então” para o “Efeito Conservação de Energia”.

Quadro 4: Base de regras - “Efeito Conservação de Energia”.

Base de Regras Fuzzy – Efeito Conservação de Energia			
	SE	E	ENTÃO
	Matéria comumente reciclável	Sistema de coleta seletiva	Efeito Conservação de Energia
1	Baixa	Baixo	Baixo
2	Baixa	Médio	Baixo
3	Baixa	Alto	Médio
4	Média	Baixo	Baixo
5	Média	Médio	Médio
6	Média	Alto	Alto
7	Alta	Baixo	Médio
8	Alta	Médio	Alto
9	Alta	Alto	Alto

O comportamento das regras é exibido na figura 12.



Figura 12: Comportamento das regras - “Efeito Conservação de Energia”.

O cruzamento da variável quantitativa “Matéria comumente reciclável” com a variável qualitativa “Sistema de coleta seletiva” resulta em uma inferência de um valor, no intervalo [0 1], o qual representa de que forma a coleta seletiva pode impactar na sociedade, em função da quantidade de matéria comumente reciclável presente nos resíduos sólidos.

Sorocaba, com 36% de matéria comumente reciclável e abrangendo uma área de 15% para a coleta seletiva, após a defuzzificação, apresentou, para o “Efeito Conservação de Energia”, o valor de 0,152, considerado baixo (Figura 12).

Segundo o gestor público, a área abrangida pela coleta seletiva é de 50%, no entanto, apenas em 15% dela a ação se mostra eficiente. A lógica fuzzy permite auxiliar no suporte à tomada de decisão do gestor diante das variáveis envolvidas “matéria comumente reciclável” e “sistema de coleta seletiva”. O fato é que a coleta seletiva está muito mais ampla do que o inserido no programa computacional e, dessa forma, deve-se trabalhar na variável “matéria comumente reciclável”, por meio da ferramenta educação ambiental. Atuar com mais campanhas pela cidade alertando que a coleta seletiva passa por diversos pontos e que todos são importantes para o contexto de um melhor ambiente. Assim, não trabalhar com a questão de gerar mais resíduos comumente recicláveis, mas sim de separá-los da matéria orgânica.

O valor baixo obtido na saída mostra que, apesar de haver materiais passíveis de reciclagem nos resíduos, a solução mais adequada à destinação deles não está aplicada, a qual evitaria extração exacerbada de recursos naturais e, conseqüentemente, menos energia seria utilizada, já que o processo de fazer novos produtos a partir desses recursos necessita de grande parcela dessas. Assim, haveria uma maior conservação de energia, caso a coleta seletiva pudesse, de fato, coletar todo o material reciclável que a população gera.

Além do que, quanto o governo deve despendar, renunciando alguma oportunidade? Isso remete à inovação na utilização de ferramentas para conscientizar ambientalmente a população, visto que, quanto mais efetiva for essa ferramenta, menos o governo terá de renunciar alguma oportunidade para gastar com a coleta seletiva.

Bem baixo, próxima de 0, a saída indica que os recursos financeiros destinados à conscientização sobre resíduos são nível básico. Por não existir uma segregação efetiva em todos os locais que a coleta seletiva passa, não haveria um direcionamento econômico do governo prioritário, ou seja, outra oportunidade, que não seja o âmbito dos resíduos sólidos, provavelmente, teria anteposição econômica.

O quadro 5 revela a base de regras constituídas pela junção “se-então” para o “Efeito Lixo Rico”.

Quadro 5: Base de regras - “Efeito Lixo Rico”.

Base de Regras Fuzzy – Efeito Lixo Rico			
	SE	E	ENTÃO
	Lixo per capita	Sistema de reciclagem	Efeito Lixo Rico
1	Baixo	Baixo	Baixo
2	Baixo	Médio	Médio
3	Baixo	Alto	Médio
4	Médio	Baixo	Baixo
5	Médio	Médio	Médio
6	Médio	Alto	Alto
7	Alto	Baixo	Baixo
8	Alto	Médio	Médio
9	Alto	Alto	Alto

O comportamento das regras é exibido na figura 13.

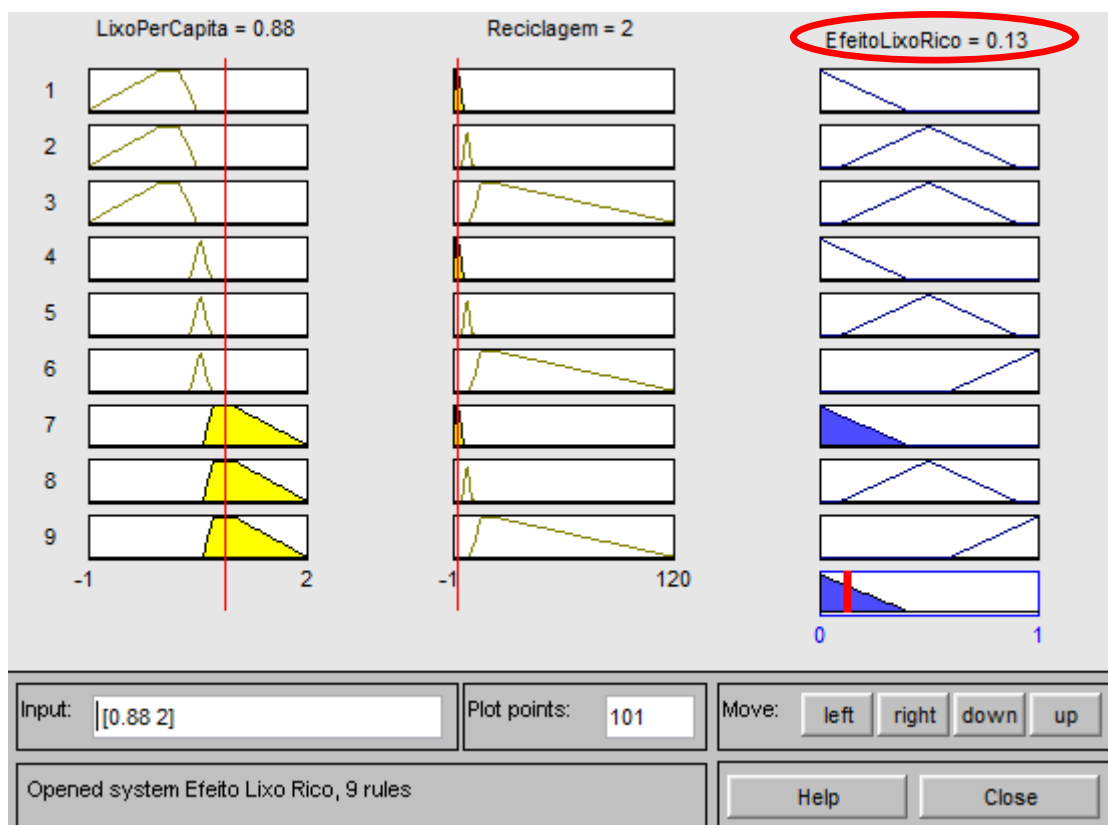


Figura 13: Comportamento das regras - “Efeito Lixo Rico”.

O cruzamento da variável quantitativa “Lixo per capita” com a variável qualitativa “Sistema de reciclagem” resulta em uma inferência de um valor, no intervalo [0 1].

A população sorocabana produz 0,88 kg por dia e o município recicla 2%. Após a defuzzificação, 0,13 foi o valor encontrado para o “Efeito Lixo Rico” (figura 13), o que revela uma situação ruim.

A reciclagem é um processo econômico ligado com a disponibilidade de matéria prima. 0,88 kg por dia por habitante é um valor significativo e, conseqüentemente, haverá um grande volume de resíduos diariamente, incluindo os recicláveis.

Dessa forma, a reciclagem entra como uma solução para redução efetiva desse volume, visto que o processo retornará o resíduo ao ciclo sob forma de produto novamente. Daí a importância não só das Cooperativas que triam os resíduos para reciclagem, mas dos catadores autônomos, isto é, pessoas que trabalham por si só. São eles que buscam o denominado lixo rico (fonte de renda no lixo). A questão a se considerar é o acesso a esses recicláveis, de forma a zerar o risco à saúde. Dar maiores subsídios a quem coleta os recicláveis pela cidade é um fator interessante para o “Efeito Lixo Rico”.

A tabela 10 resume os valores defuzzificados obtidos para cada parâmetro.

Tabela 10: Resumo dos valores defuzzificados para as variáveis “Efeito Limpeza”, “Efeito Emissão de Metano”, “Efeito Conservação de Energia” e “Efeito Lixo Rico”.

Variáveis	Valores defuzzificados
Efeito Limpeza	0,85
Efeito Emissão de Metano	0,169
Efeito Conservação de Energia	0,152
Efeito Lixo Rico	0,13

A tabela 11 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação com base nos resultados obtidos das variáveis do cruzamento e do próprio resultado obtido do “Efeito Limpeza”.

Tabela 11: Variáveis linguísticas referentes ao “Efeito Limpeza”.

Efeito Limpeza			
Classificação	Baixo	Médio	Alto
Intervalo	0 – 0,3	0,31 – 0,5	0,51 – 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.13 0.3]	[0.24 0.37 0.5]	[0.47 0.7 1 1]

A tabela 12 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação com base nos resultados obtidos das variáveis do cruzamento e do próprio resultado obtido do “Efeito Emissão de Metano”.

Tabela 12: Variáveis linguísticas referentes ao “Efeito Emissão de Metano”.

Efeito Emissão de Metano			
Classificação	Baixo	Médio	Alto
Intervalo	0 – 0,4	0,41 – 0,55	0,56 – 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.23 0.4]	[0.3 0.46 0.55]	[0.49 0.6 1 1]

O quadro 6 revela a base de regras constituídas pela junção “se-então” para o “Impacto de Emissão”.

Quadro 6: Base de regras - “Impacto de Emissão”.

Base de Regras Fuzzy – Impacto de Emissão			
	SE	E	ENTÃO
	Efeito Limpeza	Efeito Emissão de Metano	Impacto de Emissão
1	Baixo	Baixo	Baixo
2	Baixo	Médio	Médio
3	Baixo	Alto	Alto
4	Médio	Baixo	Baixo
5	Médio	Médio	Médio
6	Médio	Alto	Médio
7	Alto	Baixo	Baixo
8	Alto	Médio	Médio
9	Alto	Alto	Alto

O comportamento das regras é exibido na figura 14.

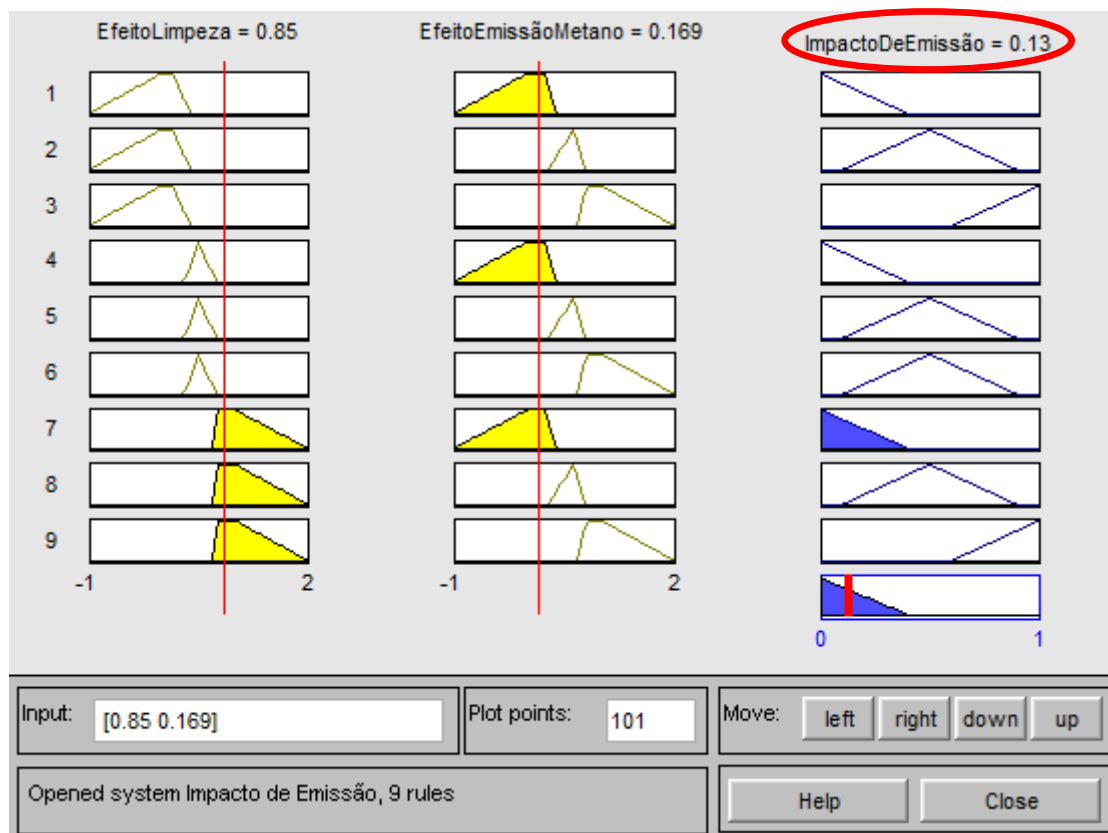


Figura 14: Comportamento das regras - “Impacto de Emissão”.

O cruzamento da variável “Efeito Limpeza” com a variável “Efeito Emissão de Metano” resulta em uma inferência de um valor, no intervalo [0 1], o qual significa as emissões e seus impactos à sociedade, em função da limpeza pública e da quantidade de metano que escapa para a atmosfera.

Obteve-se um valor defuzzificado de 0,13 (Figura 14), fator favorável ao município, visto que o impacto que o metano traz à população é baixo. Simulando o aumento da emissão de metano na cidade de Sorocaba, o impacto de emissão aumenta também. Aliando-se a uma baixa limpeza pública, pode-se dizer que o aumento se mantém expressivo. Dessa forma, a tomada de decisão do gestor atua na manutenção da boa limpeza pública. Claro que seria interessante unir um bom controle sobre o escape de metano à atmosfera a essa boa limpeza. Isso leva à percepção de que nenhuma variável age sozinha e, através dela, é conhecido onde operar para que o problema diminua e/ou não aumente.

A tabela 13 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação com base nos resultados obtidos das variáveis do cruzamento e do próprio resultado obtido do “Efeito Conservação de Energia”.

Tabela 13: Variáveis linguísticas referentes ao “Efeito Conservação de Energia”.

Efeito Conservação de Energia			
Classificação	Baixo	Média	Alta
Intervalo	0 – 0,45	0,46 – 0,8	0,81 - 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.26 0.45]	[0.32 0.56 0.75]	[0.69 0.81 1 1]

A tabela 14 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação com base nos resultados obtidos das variáveis do cruzamento e do próprio resultado obtido do “Efeito Lixo Rico”.

Tabela 14: Variáveis linguísticas referentes ao “Efeito Lixo Rico”.

Efeito Lixo Rico			
Classificação	Baixo	Média	Alta
Intervalo	0 – 0,3	0,31 – 0,68	0,69 - 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.2 0.3]	[0.22 0.5 0.68]	[0.6 0.69 1 1]

O quadro 7 revela a base de regras constituídas pela junção “se-então” para o “Impacto Energético”.

Quadro 7: Base de regras - “Impacto Energético”.

Base de Regras Fuzzy – Impacto Energético			
	SE	E	ENTÃO
	Efeito Conservação de Energia	Efeito Lixo Rico	Impacto Energético
1	Baixo	Baixo	Baixo
2	Baixo	Médio	Baixo
3	Baixo	Alto	Médio
4	Médio	Baixo	Baixo
5	Médio	Médio	Médio
6	Médio	Alto	Médio
7	Alto	Baixo	Médio
8	Alto	Médio	Alto
9	Alto	Alto	Alto

O comportamento das regras é exibido na figura 15.

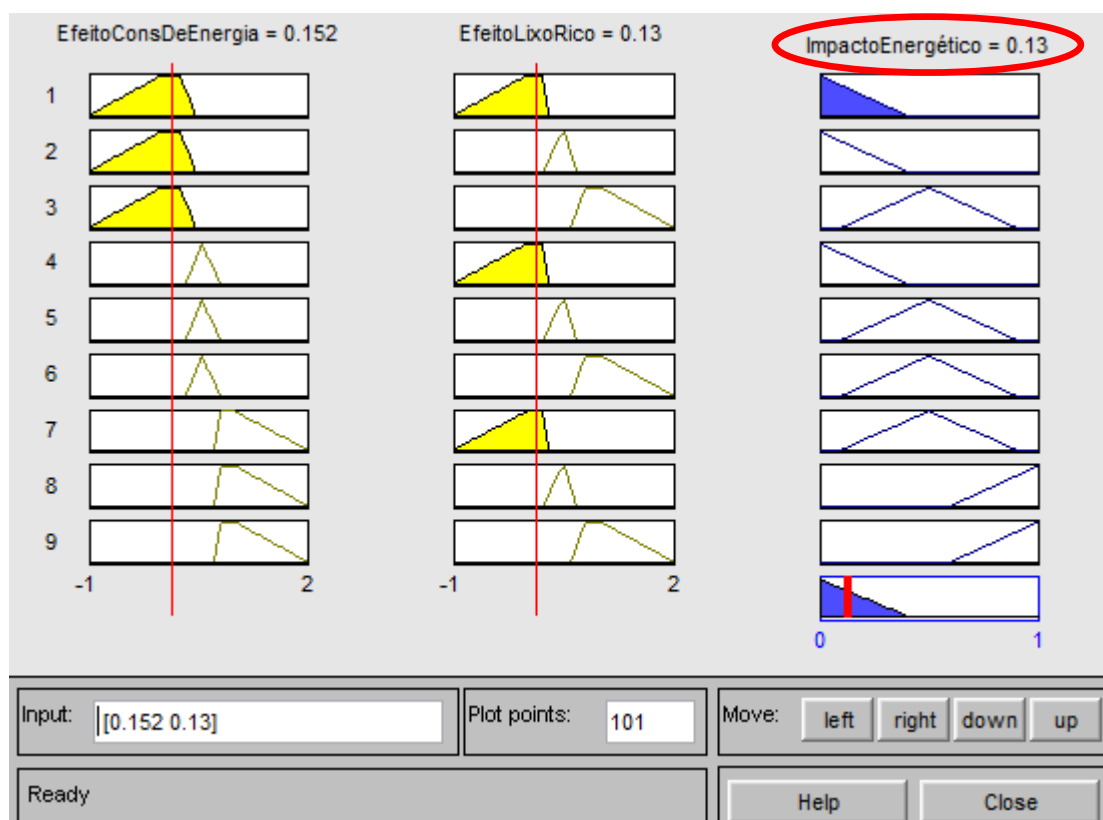


Figura 15: Comportamento das regras - “Impacto Energético”.

O cruzamento da variável “Efeito Conservação de Energia” com a variável “Efeito Lixo Rico” resulta em uma inferência de um valor, no intervalo [0 1], representando os impactos de energia e à sociedade, em função da reciclagem e do custo de oportunidade para que os resíduos retornem ao ciclo produtivo.

A saída obtida do sistema de inferência de 0,13 (Figura 15) revela que o impacto energético trazido ao município de Sorocaba é considerado bem baixo. Ao passo que se aumentam a conservação de energia e o lixo rico, esse impacto tende a aumentar significativamente. Dessa forma, quanto mais estímulo aos autônomos que coletam os resíduos para reciclagem e quanto mais o governo priorizar as soluções para os resíduos gerados, menos recursos naturais serão extraídos e menos energia será gasta, havendo maior conservação desse recurso e trazendo impacto positivo à sociedade.

Tabela 15: Resumo dos valores defuzzificados para as variáveis “Impacto de Emissão” e “Impacto Energético”.

Variáveis	Valores defuzzificado
Impacto de Emissão	0,13
Impacto Energético	0,13

A tabela 16 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação com base nos resultados obtidos anteriormente.

Tabela 16: Variáveis linguísticas referentes ao “Impacto de Emissão”.

Impacto de Emissão			
	Baixo	Média	Alto
Porcentagem	0 – 0,2	0,21 – 0,5	0,51 - 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.12 0.2]	[0.16 0.35 0.5]	[0.45 0.74 1 1]

A tabela 17 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação com base nos resultados obtidos anteriormente.

Tabela 17: Variáveis linguísticas referentes ao “Impacto Energético”.

Impacto Energético			
	Baixo	Média	Alto
Porcentagem	0 – 0,1	0,11 – 0,7	0,71 - 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.03 0.1]	[0.06 0.43 0.7]	[0.67 0.84 1 1]

O quadro 8 revela a base de regras constituídas pela junção “se-então” para o “Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos”, construído com base nas informações levantadas pelo impacto das emissões e da conservação de energia, refletindo a combinação de regras anterior.

Quadro 8: Base de regras - “Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos”.

Base de Regras Fuzzy – Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos			
	SE	E	ENTÃO
	Impacto de Emissão	Impacto Energético	Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos
1	Baixo	Baixo	Baixo
2	Baixo	Médio	Médio
3	Baixo	Alto	Alto
4	Médio	Baixo	Baixo
5	Médio	Médio	Médio
6	Médio	Alto	Alto
7	Alto	Baixo	Baixo
8	Alto	Médio	Médio
9	Alto	Alto	Médio

O comportamento das regras é exibido na figura 16.

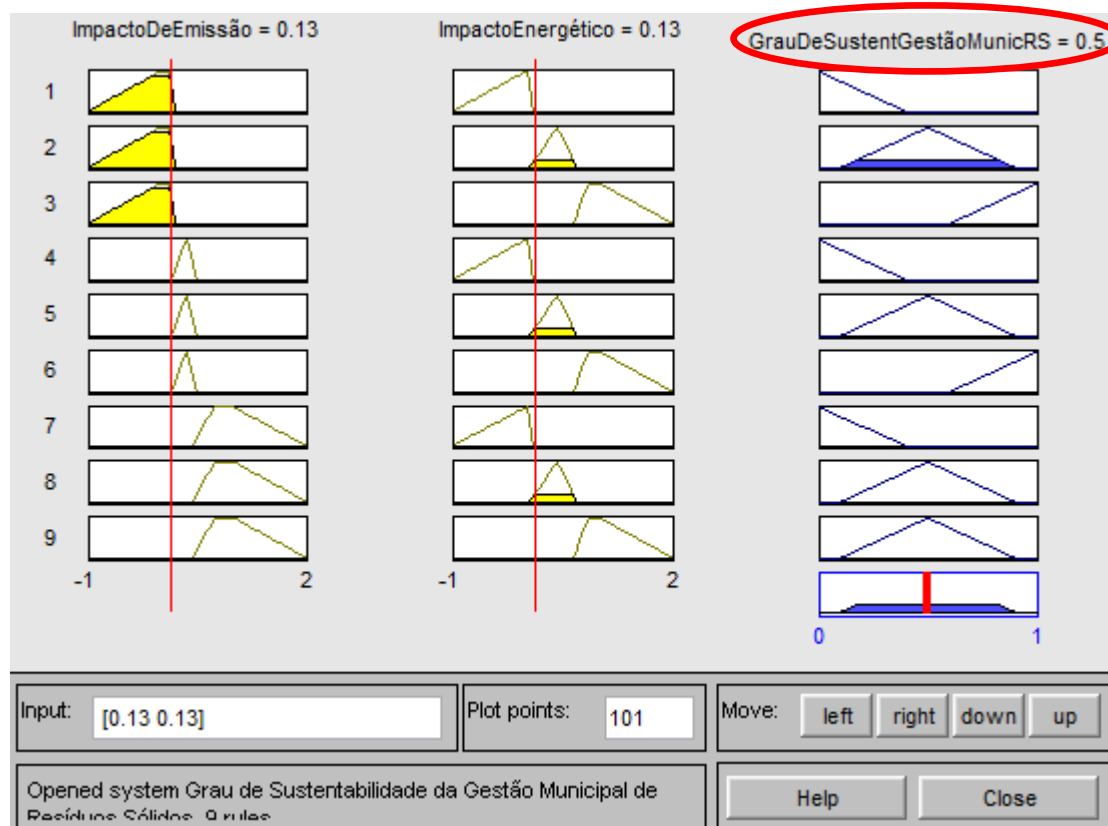


Figura 16: Comportamento das regras - “Grau de Sustentabilidade da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos”.

O cruzamento das últimas variáveis resulta em uma inferência de um valor, no intervalo [0 1].

O valor defuzzificado obtido de 0,5 (ou 50%) permite classificar o município de Sorocaba em posição média quando se trata de sustentabilidade, de fato.

O estudo enquadrrou variáveis a níveis econômico, ambiental e social, permitindo simular aumentos e/ou decréscimos nos dados de Sorocaba frente a essas variáveis.

Uma boa limpeza pública, advinda de bom IDH e um orçamento interessante para a gestão municipal de resíduos, associada a uma baixa emissão de metano, parâmetro originário de uma qualidade alta de disposição final e de baixa quantidade de matéria orgânica presente no resíduo, trouxe ao município um fator favorável de baixos impactos causados pela emissão de metano. Ao simular aumento no orçamento (aumento do efeito limpeza) e diminuição na quantidade de matéria orgânica (diminuição do efeito emissão de metano), o impacto da emissão de metano diminui ainda mais.

Contudo, o baixo valor encontrado para a conservação de energia foi remetido de um sistema de baixa eficiência de coleta seletiva. Assim como o baixo valor para o denominado lixo rico, o qual foi remetido de quantidade significativa de resíduos gerados por habitante diariamente e de baixa reciclagem também. Esse panorama trouxe a Sorocaba condições desfavoráveis em relação aos impactos energéticos. Ao simular aumento no sistema de coleta seletiva, diminuição de geração de resíduos, bem como aumento da reciclagem, os impactos energéticos trazidos são bem maiores.

Dessa forma, considerando situações hipotéticas de condições favoráveis (não 100% propriamente ditos) para as variáveis sugeridas acima, ter-se-ia um baixo impacto de emissão menor ainda do que o obtido (0,143) e um

alto impacto energético (0,838). Esse cenário poderia acarretar um grau de sustentabilidade de 84,5%, isto é, haveria um acréscimo de 34,5% em relação ao grau de sustentabilidade obtido.

A lógica fuzzy permite analisar variáveis inseridas no contexto de reciclagem de um município de forma a contemplar a opinião das pessoas, ou seja, contemplar as incertezas que existem no assunto. Não é apenas o bom e o ruim, mas o quanto é bom ou o quanto é ruim. É pouco bom? É muito ruim? E, a partir disto, poder entender onde agir para que a meta cresça continuamente. Saber onde investir, o que incentivar, onde a população e o governo podem auxiliar, todos são fatores decisivos para que o município atinja um patamar cada vez melhor em relação à reciclagem de seus resíduos.

Sorocaba é um município que cresceu consideravelmente na gestão de resíduos sólidos. Pelo caminhar, pode-se dizer que o valor de saída obtido tende, realmente, a aumentar. E a lógica fuzzy pode contribuir para isso, frente ao cruzamento de variáveis fundamentais para entendimento dessa área.

Contudo, é importante que se pense não apenas nas questões ligadas à reciclagem, mas na sustentabilidade, de fato. Como alinhar os pilares “meio ambiente, economia e sociedade”? Esse tripé é fundamental também para que as metas ambientais cresçam de forma contínua.

INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ALICERÇADA NOS TRÊS PILARES

Em âmbito nacional são utilizados diversos indicadores de resíduos sólidos. Municipalmente, prefeituras também utilizam indicadores para gestão de resíduos sólidos e para monitoramento de programas de coleta seletiva.

Um grupo de indicadores de referência para o planejamento e avaliação do desempenho de programas de coleta seletiva foi definido por Bringuenti (2004). Validaram-se os indicadores de referência: Cobertura de atendimento do programa; Índice de Recuperação de Materiais Recicláveis (IRMR); Quantidade mensal coletada seletivamente; Custo de triagem; Quantidade de itens de materiais recicláveis comercializados; Custo total do programa.

A pesquisa COSELIX - “Programas municipais de coleta seletiva de lixo como fator de sustentabilidade dos sistemas públicos de saneamento ambiental na região metropolitana de São Paulo” (GÜNTHER *et al*, 2007; RIBEIRO *et al*, 2006) definiu, com base no conhecimento técnico, duas matrizes conceituais diferentes de sustentabilidade, a partir das quais selecionou e formulou indicadores específicos de gestão e programas de coleta seletiva. Além do mais, determinou premissas de sustentabilidade de programas municipais de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores.

Dessa forma, houve a construção de indicadores com base na sistematização do universo de variáveis selecionadas, definida a partir do conceito de sustentabilidade. O conhecimento técnico de pesquisadores utilizado para escolha das variáveis e do estabelecimento de suas respectivas gradações também contribuiu para essa construção.

GRAU DE SUSTENTABILIDADE DO PROGRAMA DE COLETA SELETIVA

A tabela 18 revela o conjunto de variáveis, suas gradações e os respectivos valores para efeito fuzzy propostos para os programas de coleta seletiva.

Tabela 18: Variáveis, gradações e valores fuzzy para o “Grau de Sustentabilidade do Programa de Coleta Seletiva”.

Cobertura da coleta			
Classificação	Baixo	Médio	Alto
Porcentagem	0% - 30,1%	30,2% - 74,9%	75% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 13.4 30.1]	[26.1 52.2 74.9]	[73.1 86.9 100 100]
Índice de Recuperação de Materiais Recicláveis (IRMR) *			
Classificação	Baixo	Média	Alta
Porcentagem	0% - 5%	5,1% - 10%	10,1% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 3.3 5]	[4.2 7.4 10]	[9.3 50.6 100 100]
Índice de Rejeito (IR) **			
Classificação	Baixo	Média	Alta
Porcentagem	0% - 7%	7,1% - 20%	20,1% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 4.2 7]	[6.7 14.3 20]	[19.1 57.4 100 100]

$$*IRMR (\%) = \left(\frac{CS - RT}{CS + CR} \right) \times 100$$

Onde,

IRMR (%) = Índice de Recuperação de Materiais Recicláveis;

CS = Quantidade da coleta seletiva;

RT = Quantidade de rejeito da triagem;

CR = Quantidade da coleta regular.

Fonte: Günther *et al* (2006) e Besen *et al* (2006).

Observação: 10% para esse índice foi um valor aceito como meta para os programas de coleta seletiva do país.

$$**IR (\%) = \left(\frac{CS - MC}{CS} \right) \times 100$$

Onde,

IR (%) = Índice de Rejeito;

CS = Quantidade da coleta seletiva;

MC = Quantidade de materiais comercializados;

Fonte: Briguenthi (2004).

Em relação à cobertura de coleta, a Prefeitura possui uma rota que engloba 50% da área de Sorocaba.

Para o IRMR, foram obtidos dados dos estudos da Prefeitura Municipal de Sorocaba. Para o IR, foram obtidos dados a partir das contabilizações realizadas pelas Cooperativas e enviadas à Prefeitura Municipal de Sorocaba.

A tabela 19 revela os dados numéricos utilizados para o IRMR e para o IR bem como os valores obtidos para esses índices.

Tabela 19: Dados numéricos do IRMR e do IR.

Quantidade da coleta seletiva (t/dia)	Quantidade de rejeito na triagem (%)	Quantidade da coleta regular (t/dia)	IRMR (%)
19,23	10	494,25	1,8
Quantidade da coleta seletiva (t/dia)	Quantidade de materiais comercializados (t/dia)		IR (%)
19,23	12,69		34

A tabela 20 exhibe o resumo dos dados de Sorocaba frente às variáveis qualitativas e quantitativas.

Tabela 20: Dados de Sorocaba para a cobertura de coleta, o IRMR e o IR.

Variáveis	Valores
Cobertura de coleta (%)	15
IRMR (%)	1,8
IR (%)	34

O quadro 9 exibe a base de regras fuzzy para obtenção do “Grau de Sustentabilidade do Programa de Coleta Seletiva”.

Quadro 9: Base de regras - “Grau de Sustentabilidade do Programa de Coleta Seletiva”.

Base de Regras Fuzzy – Grau de Sustentabilidade do Programa de Coleta Seletiva				
	SE	E	E	ENTÃO
	Cobertura de coleta	IRMR	IR	Grau de Sustentabilidade do Programa de Coleta Seletiva
1	Alta	Alto	Baixo	Alto
2	Alta	Alto	Médio	Alto
3	Alta	Alto	Alto	Médio
4	Alta	Médio	Baixo	Alto
5	Alta	Médio	Médio	Médio
6	Alta	Médio	Alto	Baixo
7	Alta	Baixo	Baixo	Alto
8	Alta	Baixo	Médio	Médio
9	Alta	Baixo	Alto	Baixo
10	Média	Médio	Baixo	Médio
11	Média	Médio	Médio	Médio
12	Média	Médio	Alto	Baixo
13	Média	Alto	Baixo	Alto
14	Média	Alto	Médio	Médio
15	Média	Alto	Alto	Médio
16	Média	Baixo	Baixo	Médio
17	Média	Baixo	Médio	Médio
18	Média	Baixo	Alto	Baixo
19	Baixa	Baixo	Baixo	Baixo
20	Baixa	Baixo	Médio	Baixo
21	Baixa	Baixo	Alto	Baixo
22	Baixa	Alto	Baixo	Alto
23	Baixa	Alto	Médio	Médio
24	Baixa	Alto	Alto	Baixo
25	Baixa	Médio	Baixo	Médio
26	Baixa	Médio	Médio	Médio
27	Baixa	Médio	Alto	Baixo

O comportamento das regras é exibido na figura 17.

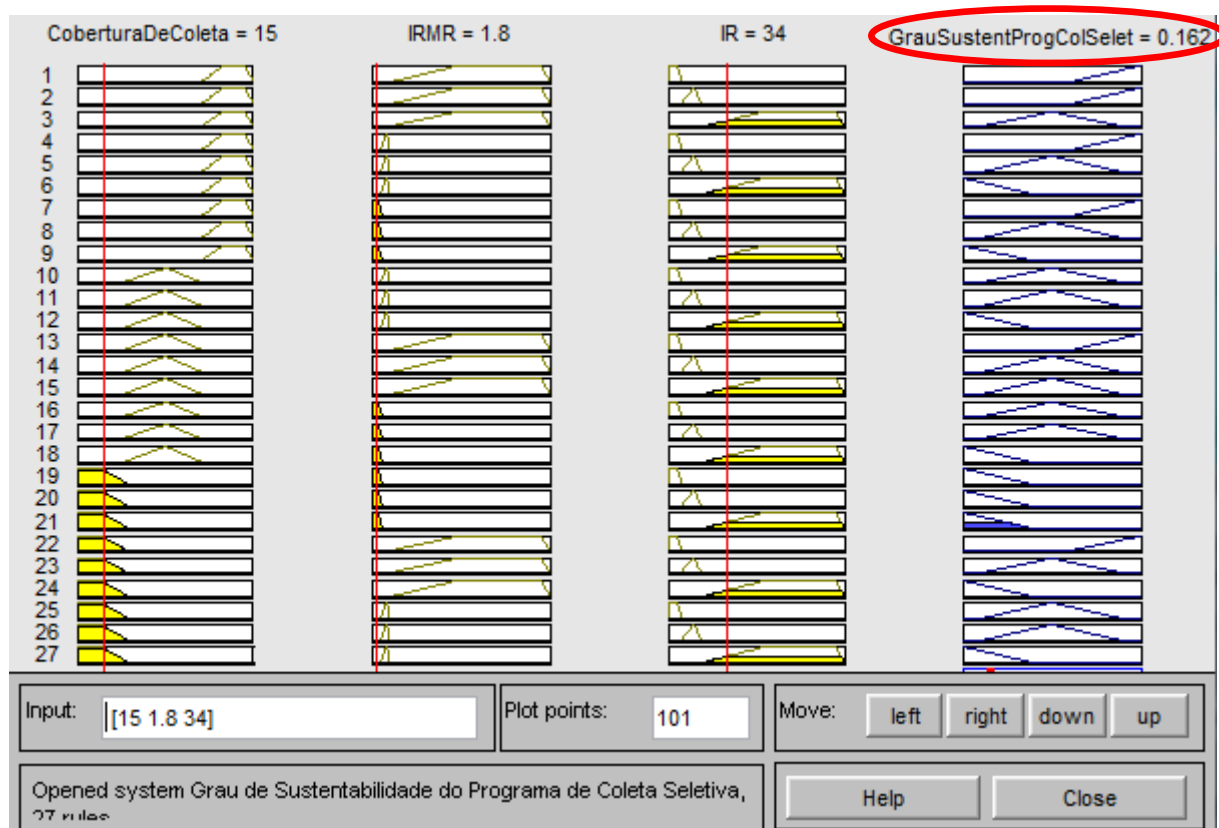


Figura 17: Comportamento das regras - “Grau de Sustentabilidade do Programa de Coleta Seletiva”.

São definidos os graus de sustentabilidade, conforme Besen *et al* (2006):

Baixo: 0% a 19%;

Médio: 20% a 39%;

Alto: 40% a 60%.

O programa municipal de coleta seletiva de Sorocaba apresentou um grau baixo de sustentabilidade (0,162 ou 16,2%), conforme exibe a figura 17.

Entretanto, há fatores a serem considerados (sem fuzzificação). Há de considerar o indicador de taxa específica para a coleta do resíduo bem como o indicador de marco legal.

Sorocaba apresenta uma cobrança de taxa de coleta de resíduo juntamente com o IPTU, parâmetro classificado como médio. Em questão de marco legal, o município ainda não possui um Plano Estadual de Resíduos Sólidos, contudo há um Inventário Estadual de Resíduos Sólidos. Essa situação enquadra Sorocaba em um parâmetro médio também, quando se avalia o indicador “marco legal”.

Dessa forma, com a análise das variáveis, pode-se dizer que o programa sorocabano de coleta seletiva não atinge, de fato, o alto grau de sustentabilidade, mesmo considerando-se parâmetros não fuzzificáveis, ficando em patamar próximo ao médio.

GRAU DE SUSTENTABILIDADE DA COOPERATIVA

A tabela 21 revela o conjunto de variáveis, suas gradações e os respectivos valores para efeito fuzzy propostos para as cooperativas.

Tabela 21: Variáveis, gradações e valores fuzzy para o “Grau de Sustentabilidade da Cooperativa”.

Rotatividade anual			
Classificação	Baixa	Média	Alta
Porcentagem	0% - 24.9%	25% - 49.9%	50% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 14.1 24.9]	[22.4 38.6 49.9]	[47.3 76.2 100 100]
Capacitação dos membros			
Classificação	Baixa	Média	Alta
Porcentagem	0% - 49.9%	50% - 74.9%	75% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 23.2 49.9]	[47.7 62.1 74.9]	[73.8 87.3 100 100]
Renda mensal por membro (em salário mínimo)			
Classificação	Baixa	Média	Alta
Intervalo	0,1 – 0,9	1 – 1,9	2 - 5
Para efeito fuzzy	[0 0.1 0.4 0.9]	[0.72 1.3 1.9]	[1.72 3.6 5 5]
Participação dos membros			
Classificação	Baixa	Média	Alta
Porcentagem	0% - 29.9%	30% - 49.9%	50% - 100%
Para efeito fuzzy	[0 0 18.1 29.9]	[27.7 40.1 49.9]	[48.2 76.4 100 100]
Quantidade de horas trabalhadas dia/membro			
Classificação	Baixa	Média	Alta
Intervalo	1 - 4	4,1 – 6	6,1 - 12
Para efeito fuzzy	[0 1 2.2 4]	[3.6 4.3 6]	[5.7 7.2 12 12]
Quantidade de benefícios para os membros			
Classificação	Baixa	Média	Alta
Intervalo	0 – 2	3 – 4	5 - 30
Para efeito fuzzy	[0 0 1.1 2]	[1.5 3.5 4]	[3.8 15 30 30]

Visitou-se a Central de Reciclagem Zona Oeste, no dia 11/11/2013, às 16h15min, e realizou-se o questionário com um membro. As respostas seguem conforme tabela 22.

Tabela 22: Dados da Central de Reciclagem Zona Oeste.

Variáveis	Central de Reciclagem Zona Oeste
Rotatividade	40%
Capacitação dos membros	Há capacitação de todos os membros (100%)
Renda mensal por membro	1,5 salário mínimo
Participação dos membros	50%
Quantidade de horas trabalhadas por membro	9h
Quantidade de benefícios dos membros	02 (11% INSS e R\$ 120,00 na farmácia)

O quadro 10 exibe a base de regras fuzzy feita para o cruzamento entre as variáveis “Rotatividade anual” e “Renda mensal por membro”, resultando na saída “Dinâmica econômica e organizacional” da cooperativa.

Quadro 10: Base de regras – “Dinâmica Econômica e Organizacional”.

Base de Regras Fuzzy – Dinâmica econômica e organizacional			
	SE	E	ENTÃO
	Rotatividade anual	Renda mensal por membro	Dinâmica Econômica e Organizacional
1	Baixa	Baixa	Média
2	Baixa	Média	Média
3	Baixa	Alta	Alta
4	Média	Baixa	Baixa
5	Média	Média	Média
6	Média	Alta	Alta
7	Alta	Baixa	Baixa
8	Alta	Média	Média
9	Alta	Alta	Média

O comportamento das regras é exibido na figura 18.

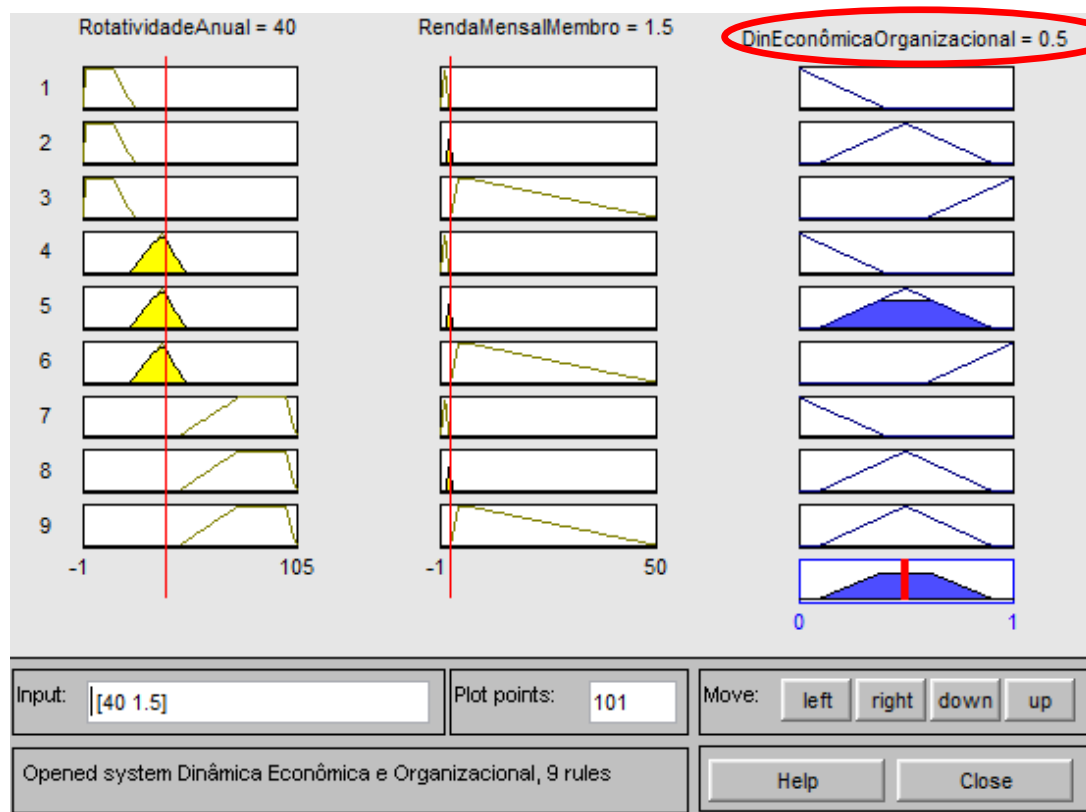


Figura 18: Comportamento das regras - “Dinâmica econômica e organizacional”.

A renda é um parâmetro que poderia acarretar uma menor rotatividade dentro da Cooperativa. Certamente, não é o fator principal, há de considerarem variáveis como as condições de saúde do trabalhador, por exemplo. Contudo, é um parâmetro que influencia a saída e entrada de novos membros com frequência. A junção dessas duas variáveis revela a dinâmica econômica e organizacional da Cooperativa.

No caso, a Cooperativa apresentou um valor de 0,5 em relação à dinâmica econômica e à organização, ou seja, valor médio (Figura 18). Apesar dos parâmetros de renda mensal por membro e de rotatividade apresentarem valores relativamente baixos, há funcionários de mais de 05 anos. Logo, a rotatividade é, em sua maior parte, em torno dos novos membros.

O quadro 11 exibe a base de regras fuzzy realizada para o cruzamento entre as variáveis “Capacitação dos membros” e “Participação dos membros”, resultando na saída “Dinâmica social” da Cooperativa.

Quadro 11: Base de regras - “Dinâmica social”.

Base de Regras Fuzzy – Dinâmica social			
	SE	E	ENTÃO
	Capacitação dos membros	Participação dos membros	Dinâmica Social
1	Baixa	Baixa	Baixa
2	Baixa	Média	Baixa
3	Baixa	Alta	Média
4	Média	Baixa	Baixa
5	Média	Média	Média
6	Média	Alta	Alta
7	Alta	Baixa	Baixa
8	Alta	Média	Média
9	Alta	Alta	Alta

O comportamento das regras é exibido na figura 19.

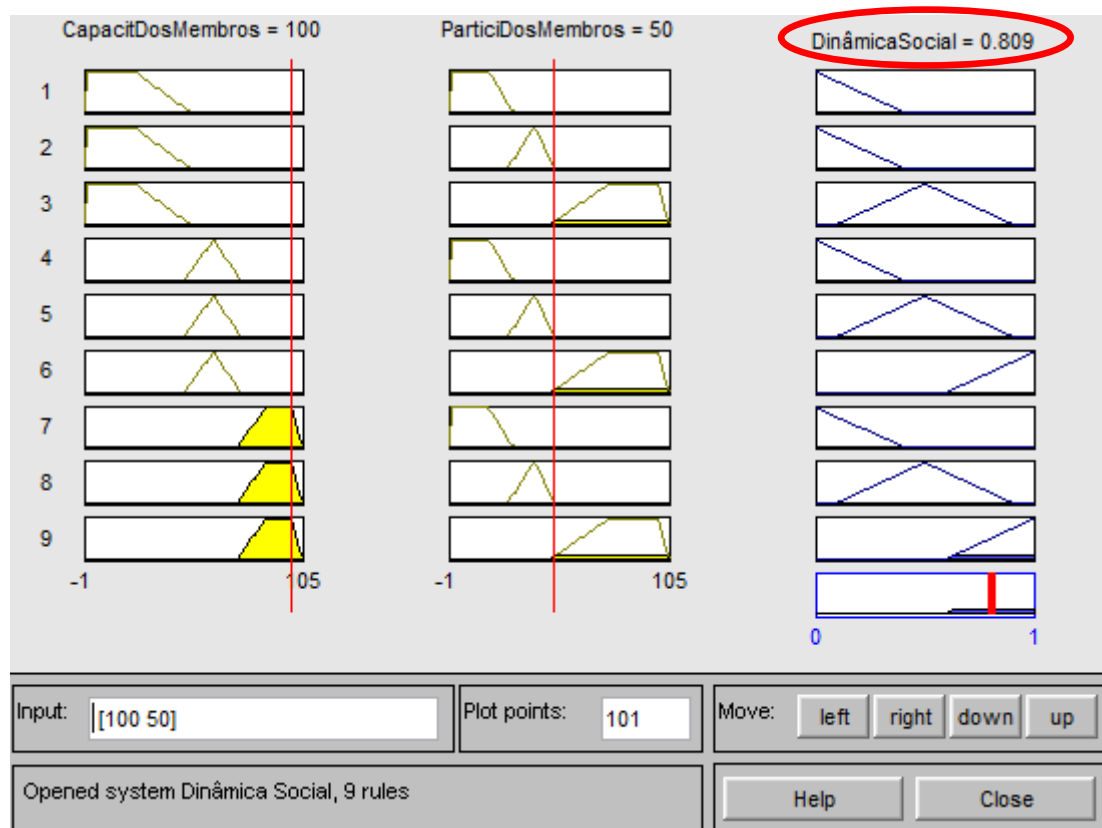


Figura 19: Comportamento das regras - “Dinâmica social”.

Quanto maior a participação dos membros e a capacitação desses para o crescimento contínuo do desempenho das atividades de coleta, segregação e comercialização, melhor a dinâmica social da Cooperativa. A Central apresentou uma dinâmica social alta, com o valor de saída em 0,809 (Figura 19).

O quadro 12 exibe a base de regras fuzzy feita para o cruzamento entre as variáveis “Quantidade de horas trabalhadas dia/membro” e “Quantidade de benefícios para os membros”, resultando na saída “Condições de trabalho” da Cooperativa.

Quadro 12: Base de regras - “Condições de trabalho”.

Base de Regras Fuzzy			
	SE	E	ENTÃO
	Quantidade de horas trabalhadas dia/membro	Quantidade de benefícios para os membros	Condições de Trabalho
1	Baixa	Baixa	Baixas
2	Baixa	Média	Baixas
3	Baixa	Alta	Média
4	Média	Baixa	Baixas
5	Média	Média	Médias
6	Média	Alta	Altas
7	Alta	Baixa	Médias
8	Alta	Média	Altas
9	Alta	Alta	Altas

O comportamento das regras é exibido na figura 20.



Figura 20: Comportamento das regras - “Condições de trabalho”.

A quantidade de horas de trabalho é fator fundamental para a segurança e saúde do trabalhador. Os benefícios dados aos membros também motivam e auxiliam em suas vidas pessoais. A associação desses dois fatores gera a qualidade das condições de trabalho dos membros. A Central apresentou condições de trabalho adequadas, visto que o valor defuzzificado foi de 0,826, conforme figura 20.

A tabela 23 resume os valores obtidos para as variáveis “Dinâmica Econômica e Organizacional”, “Dinâmica Social” e “Condições de Trabalho”.

Tabela 23: Valores obtidos para as variáveis “Dinâmica econômica e organizacional”, “Dinâmica social” e “Condições de trabalho”.

Variáveis	Valores defuzzificados
Dinâmica Econômica e Organizacional	0,5
Dinâmica Social	0,809
Condições de Trabalho	0,826

As divisões das variáveis para fuzzificação estão com base nos resultados obtidos anteriormente (Tabela 24).

Tabela 24: Variáveis linguísticas referentes à “Dinâmica Econômica e Organizacional”.

Dinâmica Econômica e Organizacional			
	Baixa	Média	Alta
Porcentagem	0 – 0,2	0,21 – 0,5	0,51 - 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.12 0.2]	[0.16 0.35 0.5]	[0.42 0.74 1 1]

A tabela 25 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação com base nos resultados obtidos anteriormente.

Tabela 25: Variáveis linguísticas referentes à “Dinâmica Social”.

Dinâmica Social			
	Baixa	Média	Alta
Porcentagem	0 – 0,1	0,11 – 0,7	0,71 - 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.03 0.1]	[0.06 0.43 0.7]	[0.65 0.84 1 1]

A tabela 26 atribui as divisões das variáveis para fuzzificação com base nos resultados obtidos anteriormente.

Tabela 26: Variáveis linguísticas referentes às “Condições de Trabalho”.

Condições de Trabalho			
	Baixas	Médias	Altas
Porcentagem	0 – 0,1	0,11 – 0,5	0,51 - 1
Para efeito fuzzy	[0 0 0.05 0.1]	[0.05 0.31 0.5]	[0.42 0.7 1 1]

O quadro 13 exibe a base de regras fuzzy constituídas pela junção “se-então” feita para o cruzamento entre as variáveis obtidas “Dinâmica Econômica e Organizacional”, “Dinâmica Social” e “Condições de Trabalho”, resultando na saída desejada “Grau de Sustentabilidade da Cooperativa”.

Quadro 13: Base de regras - “Grau de Sustentabilidade da Cooperativa”.

Base de Regras Fuzzy – Grau de Sustentabilidade da Cooperativa				
	SE	E	E	ENTÃO
	Dinâmica Econômica e Organizacional	Dinâmica Social	Condições de Trabalho	Grau de Sustentabilidade da Cooperativa
1	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
2	Baixa	Baixa	Média	Baixa
3	Baixa	Baixa	Alta	Baixa
4	Baixa	Média	Baixa	Baixa
5	Baixa	Média	Média	Média
6	Baixa	Média	Alta	Média
7	Baixa	Alta	Baixa	Baixa
8	Baixa	Alta	Média	Média
9	Baixa	Alta	Alta	Alta
10	Média	Baixa	Baixa	Baixa
11	Média	Baixa	Média	Média
12	Média	Baixa	Alta	Média
13	Média	Média	Baixa	Média
14	Média	Média	Média	Média
15	Média	Média	Alta	Alta
16	Média	Alta	Baixa	Média
17	Média	Alta	Média	Média
18	Média	Alta	Alta	Alta
19	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
20	Alta	Baixa	Média	Média
21	Alta	Baixa	Alta	Alta
22	Alta	Média	Baixa	Média
23	Alta	Média	Média	Média
24	Alta	Média	Alta	Alta
25	Alta	Alta	Baixa	Alta
26	Alta	Alta	Média	Alta
27	Alta	Alta	Alta	Alta

O comportamento das regras é exibido na figura 21.



Figura 21: Comportamento das regras - “Grau de Sustentabilidade da Cooperativa”.

Os graus de sustentabilidade foram definidos de acordo com Besen *et al* (2006):

Baixo: 0% a 39%;

Médio: 40% a 79%;

Alto: 80% a 100%.

A Central de Reciclagem Zona Oeste apresentou um grau de sustentabilidade de 0,825, isto é, de 82,5% (Figura 21), atingindo o patamar de alta sustentabilidade.

Assim como na obtenção do grau de sustentabilidade para os programas de coleta seletiva, para o grau de sustentabilidade nas Cooperativas, há de se considerarem outros parâmetros sem fuzzificação: regularização da organização + instrumento legal de parceria (constituindo na dimensão política e institucional da Cooperativa); condição da instalação + equipamentos/veículos (constituindo na infraestrutura e equipamentos); quantidade de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e, por fim, a quantidade de parcerias das organizações.

A Central de Reciclagem possui um termo de parceria com a Prefeitura Municipal de Sorocaba e não há regularização, somente um controle interno na Cooperativa. Essa situação do município enquadra-o em condições baixas, conforme análise do grau de sustentabilidade.

A instalação é alugada pela Prefeitura Municipal de Sorocaba e os equipamentos/veículos, cedidos, também pelo mesmo órgão. A questão da situação da instalação insere a Cooperativa em um nível médio e a questão dos equipamentos/veículos, em um nível baixo.

Os membros possuem EPIs, dentre eles, luvas e óculos, materiais cedidos pelo órgão público sorocabano. Um importante ponto em questão de sustentabilidade para a Cooperativa, enquadrando-a em nível alto. Há 6 parcerias: UNISO, Pé de Planta, Coca Cola, Johnsons Control, Grale e Prefeitura Municipal de Sorocaba. Possuir mais de 02 parcerias é parâmetro alto em questão de sustentabilidade.

Com a análise do total das variáveis, pode-se dizer que o grau de sustentabilidade da Central de Reciclagem está relativamente alto.

A fim de se ter uma panorâmica da sustentabilidade das Cooperativas da cidade, seria interessante analisar essas variáveis referentes à outra Cooperativa existente no município, a Cooperativa de Reciclagem de Sorocaba (CORESO).

ANÁLISE CONJUNTA DO PROGRAMA DE COLETA SELETIVA E DA COOPERATIVA

A lógica fuzzy permite o conhecimento de onde agir e de como cada indivíduo ou órgão poderia contribuir para o melhoramento contínuo, em perspectiva de sustentabilidade.

Determinaram-se graus de sustentabilidade nível médio para o programa sorocabano de coleta seletiva e nível alto para uma cooperativa do município. Apesar de serem questões com suas próprias variáveis e considerações, não se pode desassociar um do outro, visto que é com base em um bom programa de coleta seletiva que a Cooperativa pode obter um bom desempenho frente ao ramo dos resíduos sólidos e melhorias para o meio ambiente.

Pela análise dos resultados, não se pode ainda dizer que o município de Sorocaba é sustentável. Entretanto, as ações e programas em realização pela cidade e pela população são medidas direcionadas para que a sustentabilidade seja um conceito aplicado, de fato. E, concomitantemente, a ferramenta possibilita agir em pontos específicos, o que pode aumentar o grau de sustentabilidade e, quiçá, solucionar desafios diários.

A LÓGICA FUZZY E A TOMADA DE DECISÃO

A tabela 27 resume os valores de saída (defuzzificados) obtidos para todos os graus de sustentabilidade do estudo.

Tabela 27: Valores de saída para os graus de sustentabilidade.

Variável	Valor de saída	Grau de sustentabilidade
Gestão Municipal de Resíduos Sólidos	0,5	Médio
Programa de Coleta Seletiva	0,162	Baixo
Cooperativa	0,825	Alto

Ao analisarem-se os graus de sustentabilidade do programa de coleta seletiva e de uma cooperativa do município de Sorocaba, é possível que haja uma melhor compreensão da gestão de resíduos sólidos como um todo.

Agir em variáveis ligadas ao programa de coleta seletiva e ligadas à associação conectada diretamente às empresas de reciclagem pode ser o caminho para que o nível de sustentabilidade de gestão de resíduos sólidos aumente continuamente.

Quanto mais efetiva a coleta seletiva, melhor os resíduos chegam às Cooperativas e, assim, há menos perda de recicláveis. É possível que se aproveite melhor um material, o qual pode perder-se na natureza e prejudicar o meio ambiente. É apontado que o alto custo financeiro da reciclagem é fator que dificulta sua disseminação. Contudo, essa diferença pode ser relativizada com os benefícios que a própria reciclagem traz: economia de água, de energia, de recursos naturais e o fomento dos processos de inclusão social. Além do que, quanto mais materiais reciclados, mais produtos retornam à cadeia produtiva e, consequentemente, aos consumidores.

Dessa forma, a gestão de resíduos pode se fortalecer cada vez mais sobre o tripé “meio ambiente, sociedade e economia”.

Conforme Conceição (2005), caso fosse realizada a reciclagem de todos os resíduos sólidos em Sorocaba, chegar-se-ia a 18% do orçamento municipal, de forma que a reciclagem seria fonte de receita ao invés de despesa.

SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DO ESTUDO

Para complementar e continuar o estudo, seria interessante considerarem-se mais parâmetros, os quais, não puderam ser fuzzificados.

Por exemplo, analisando-se o Grau de Sustentabilidade da Cooperativa, variáveis como regularização da organização, instrumento legal de parceria, condição da instalação, quantidade de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e quantidade de parcerias das organizações poderiam potencializar o estudo.

Além disso, seria conveniente analisar todas as variáveis consideradas no estudo para outra Cooperativa existente no município, a Cooperativa de Reciclagem de Sorocaba. Dessa forma, haveria uma panorâmica da sustentabilidade das Cooperativas da cidade.

CONCLUSÃO

A Lógica Fuzzy é uma ferramenta que apresenta respostas rápidas, fator de grande importância em meio onde é necessária uma tomada de decisão, como é o caso de um município que realiza a gestão dos resíduos sólidos. Além disso, a Lógica Fuzzy se mostra como um instrumento que possibilita saber onde agir, frente à interligação de variáveis necessárias para alcançar o resultado desejado. Não só onde agir, mas também o modo como cada indivíduo ou cada associação podem contribuir para o crescimento contínuo da efetividade de uma gestão de resíduos sólidos.

Infere-se que o programa sorocabano de coleta seletiva, com um valor de saída de 0,162, se mostrou com pontos a serem analisados e avaliados, isso porque o programa do município se enquadrou em um grau de sustentabilidade baixo. Assim, é possível que a interligação entre o econômico, a sociedade e o meio ambiente do sistema de coleta seletiva, não esteja consolidada ainda. Por outro lado, uma das cooperativas de Sorocaba se mostrou com um nível alto de sustentabilidade, apresentando o valor de saída de 0,825. Os pilares do meio ambiente, do social e do econômico da organização estão estruturados e, pela análise do ambiente, esses pilares tendem a ficar ainda mais altos.

O município de Sorocaba condisse com um grau médio de sustentabilidade (0,5), em termos de gestão de resíduos sólidos. E no que tange à simulação de aumento nos dados do município frente a indicadores econômicos, ambientais e sociais (portanto, condições ainda mais favoráveis), o cenário poderia ser 84,5% sustentável, isto é, o aumento em relação ao atual seria de 34,5%.

As análises dos níveis de sustentabilidade do programa de coleta seletiva e de uma das cooperativas de Sorocaba permitiram uma visão mais ampla da gestão municipal de resíduos sólidos desse município. Ao final de todos os resultados alcançados, é interessante observar que as etapas do estudo se interligam, quando o contexto é a gestão de resíduos sólidos, pensando em sociedade e governo. Um bom projeto de coleta seletiva, um conhecimento profundo das variáveis interligadas a ele e contribuição de todos os agentes envolvidos, leva a uma atuação cada vez melhor da Cooperativa na coleta e segregação dos resíduos gerados, ou seja, a perda do que poderia retornar ao ciclo produtivo (economia de recursos naturais) e do que poderia deixar de ser depositado no meio ambiente (melhores condições da natureza) pode diminuir, consideravelmente.

No entanto, para obter resultados que abranjam melhor a situação do município e que, consequentemente, contribuam para a melhoria da gestão de resíduos sólidos, variáveis como a taxa específica para a coleta do resíduo; marco legal; regularização da organização e instrumento legal de parceria (constituindo na dimensão política e institucional da Cooperativa); condição da instalação e equipamentos/veículos (constituindo na infraestrutura e equipamentos); quantidade de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs); e, por fim, a quantidade de parcerias das organizações. Seria necessário ligar essas variáveis à Lógica Fuzzy, para resultados mais expressivos.

Variáveis e indicadores vêm como instrumento para apoiar a gestão e o monitoramento dos projetos relacionados a resíduos sólidos, de forma que, se aprimorados, validados e testados, possam corroborar com a melhoria da qualidade de vida.

Sorocaba apresenta ações e programas visando atingir um equilíbrio entre o meio ambiente, a sociedade e economia. E esse olhar e preocupação trazem somente benefícios para àquele que age (economia de recursos naturais e o fomento dos processos de inclusão social, principalmente).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BESEN, G.R. Programas municipais de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores na Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

2. BESEN G. R.; RIBEIRO, H. Indicadores de sustentabilidade para programas municipais de coleta seletiva: métodos e técnicas de avaliação. São Paulo, 2006.
3. BRIGUENTHI, J. R. Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos: aspectos operacionais e da participação da população. Tese de Doutorado - Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
4. CASTANHO, M. J. P.; PEIXOTO, M. S. Teoria dos conjuntos fuzzy no MatLab. In: Primeiro Congresso Brasileiro de Sistemas Fuzzy. 44 p. Sorocaba, 2010.
5. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011). Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Governo do Estado de São Paulo (Secretaria do Meio Ambiente), 2011.
6. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2012). Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Governo do Estado de São Paulo (Secretaria do Meio Ambiente), 2012.
7. CONCEIÇÃO, M. M. Os empresários do lixo: um paradoxo da modernidade: análise interdisciplinar das cooperativas de reciclagem de lixo. Campinas, SP: Editora Átomo, 2. ed. 2005.
8. COSTA, B. S. J. Sistemas de inferência fuzzy evolutivos multi-estágios hierárquicos e suas aplicações na indústria. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN. 2013.
9. COX, E. Fuzzy Logic for Business and Industry. Rockland, MA: Charles River Media, Inc. 1995.
10. FIESP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/>>. Acesso em 10 fev. 2014.
11. GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.; TANSCHKEIT, R. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, SP.
12. GÜNTHER, W. M. R.; RIBEIRO, H.; JACOBI, P. R.; DEMAJOROVIC, J.; BESEN, G. R.; VIVEIROS, M (2006). Programas municipais de coleta seletiva de lixo como fator de sustentabilidade dos sistemas públicos de saneamento ambiental na Região Metropolitana de São Paulo. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA DE SAÚDE PÚBLICA, III, 2006. *Anais...* Fortaleza, 2006.
13. GÜNTHER, W. M. R.; BESEN, G. R.; JACOBI, P. R.; RIBEIRO, H.; VIVEIROS, M. (2007). Construção de indicadores de sustentabilidade de programas municipais de coleta seletiva e organizações de catadores - desafios conceituais e metodológicos. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. v. único. p. 1-8.
14. IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. Rio de Janeiro, 2011.
15. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 10 fev. 2014.
16. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. The Science of Climate Change: summary for policymakers. Office Graphics Studio. Madrid, 1995. 57 p.
17. LIN, H. Y.; HSU, P. Y.; SHEEN, G. J. A fuzzy-based decision-making procedure for data warehouse system selection. *Expert Systems with Applications*, v. 32, n. 3, p. 939-953, 2007.
18. MARRO, A. A.; SOUZA, A. M. C.; CAVALCANTE, E. R. S.; BEZERRA, G. S.; NUNES, R. O. Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações. Departamento de Informática e Matemática Aplicada. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Natal, 2008. 23 p.
19. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE (ICLEI). Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação. Brasília, 2012. 157 p.
20. ONU BRASIL. Índice de desenvolvimento humano. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/>>. Acesso em 10 fev. 2014.
21. PIMENTEIRA, C. A. P. Gestão integrada de resíduos sólidos no rio de janeiro: Impactos das decisões dos gestores nas políticas públicas. 2010. 290 f. Tese de Doutorado (Doutor em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, 2010.
22. RIBEIRO, C. A. Coleta Seletiva recicla 3% dos resíduos produzidos na cidade. Disponível em: <<http://diariodesorocaba.com.br/site2010/materia2.php?id=224753>>. Acesso em: 18 mar. 2014
23. RIBEIRO, H. Reciclagem de lixo na região de Ribeirão não chega a 3%. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ribeirao/101977-reciclagem-de-lixo-na-regiao-de-ribeirao-nao-chega-a-3.shtml>>. Acesso em 18 mar. 2014.
24. RIBEIRO, H.; BESEN, G. R.; GÜNTHER, W. M. R.; JACOBI, P. R.; DEMAJOROVIC, J. Recycling programs in partnership with scavenger associations as a sustainability factor in metropolitan São Paulo. In: U; Brebbia, C A; Tiezzi, E. (Org.). *The Sustainable City IV*. 1. ed. Southampton: Wit Press, 2006, v. único, p. 409-418.
25. ROISENBERG, M.; RECH, L. Lógica fuzzy (lógica nebulosa). 2012.

26. SANTANA, C. Contrato emergencial do lixo aumenta custo. Disponível em: <http://www.seuplaneta.com.br/Sorocaba/2013/12/contrato-emergencial-do-lixo-aumenta-custo.html>. Acesso em: 18 mar. 2014
27. SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. Controle e modelagem fuzzy. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999.
28. TANSCHKEIT, R. Fundamentos de lógica fuzzy e controle fuzzy. Departamento de Energia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro, 2000.
29. THE MATHWORKS. Fuzzy logic toolbox: for use with MATLAB. Version 2. Natick, MA. 1999.