

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG - 2015**

**AVALIAÇÕES DE IMÓVEIS URBANOS: UTILIZAÇÃO
DA LÓGICA FUZZY E COMPARAÇÃO DOS
RESULTADOS COM O DEA – ENVOLTÓRIA DE DUPLA FACE**

RESUMO

Este trabalho apresenta uma comparação dos resultados obtidos com o tratamento de dados definidos na NBR 14653 – Norma Técnica de Avaliação de Bens, especificamente com a Envoltória de Dados e a Lógica *Fuzzy*, como alternativas para avaliação de imóveis urbanos utilizando o método comparativo direto de dados de mercado (MCDDM). Será apresentado um breve resumo de cada uma destas metodologias e a sua aplicação em um estudo de caso real.

Palavras chave: *Avaliações de Imóveis. Envoltória de Dados. Lógica Fuzzy.*

INTRODUÇÃO

A NBR 14653-2, da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, prevê no item 8.2.1.4.3 – Tratamento Científico, em sua segunda alínea a utilização de outras ferramentas, além da regressão linear, para a indução do comportamento do mercado, citando, dentre as metodologias para o tratamento dos dados, a utilização de redes neurais artificiais, a análise envoltória de dados e a regressão espacial.

A aplicação da Regressão Linear exige o atendimento aos seus pressupostos básicos para que a análise seja validada. Neste sentido, a utilização desta metodologia encontra dificuldades em questões de grande importância e que têm sido discutidas no meio acadêmico, que são a autocorrelação espacial, o desconhecimento da forma funcional para o modelo a ser adotado e a criação de escalas para as variáveis qualitativas. Em González et al (2000) é feita uma análise conceitual das dificuldades encontradas na determinação dos modelos de regressão linear, encorajando os estudiosos a buscar fundamentos em outras metodologias, como as Redes Neurais Artificiais (RNA's), o DEA e, neste trabalho, a lógica *fuzzy*.

O processo de avaliação de imóveis envolve a estimação de diversos parâmetros populacionais referentes às variáveis selecionadas para representar o comportamento do mercado imobiliário. De forma implícita, estas variáveis, denominadas variáveis independentes ou de entrada, se relacionam com o valor do imóvel, variável dependente ou de saída, de forma não-linear.

Em trabalhos publicados pelo meio acadêmico, verifica-se que alguns modelos lineares têm sido utilizados adequadamente para descrever o comportamento do mercado imobiliário. Contudo, uma grande parte destes processos, independente da sua natureza, apresenta comportamentos não lineares e que levam a modelos complexos exigindo soluções analíticas e/ou numéricas. Quando se utiliza a transformação de variáveis buscando a linearização dos valores, e principalmente quando esta prática é aplicada à variável dependente, essa complexidade restringe e dificulta o conhecimento e a análise dos próprios processos.

Uma das limitações da regressão linear múltipla está concentrada no mapeamento de dados através de uma aproximação linear de dados de mercado. Esta aproximação linear pode não refletir o valor de mercado do imóvel avaliando, especialmente quando os dados são altamente dispersos e com características intrínsecas e extrínsecas as mais variadas. Neste sentido, é clara a necessidade de novas técnicas visando representar os processos de avaliação de imóveis e um dos objetivos deste trabalho é propor novas abordagens com a utilização da lógica *fuzzy* conjuntamente com a análise envoltória de dados.

Quando há a necessidade de considerar aspectos subjetivos, ambíguos, de difícil mensuração no valor de um imóvel, há a dificuldade em trabalhar com variáveis que se mostram subjetivas, difusas e de difícil mensuração.

Dentro destes cenários de subjetividade, abstrato, em que as considerações de variáveis difusas, necessitam ser trabalhadas com maior transparência através de métodos científicos, a utilização de novas ferramentas, como a Lógica *Fuzzy*, se apresenta como uma opção, um campo a ser melhor pesquisado e experimentado.

A Lógica *Fuzzy* é um método desenvolvido nos anos 1960 pelo professor Lotfi A. Zadeh, em resposta a uma necessidade de se fornecer um ferramental matemático que contemplasse os aspectos imprecisos no raciocínio lógico dos seres humanos e

também as situações ambíguas, não passíveis do processamento convencional computacional fundamentado na lógica booleana (NICOLETTI, 2009).

A expressão *Fuzzy* (difuso, nebuloso) foi utilizada pela primeira vez em 1965 em uma publicação feita por este professor de Teorias dos Sistemas da Universidade da Califórnia, Berkeley, considerado o pai da Teoria de Conjuntos Fuzzy (SIMÕES, 2007).

Desde então esta lógica seguiu os mesmos rumos de outras recentes tecnologias: criada nos Estados Unidos, desenvolvida na Europa, massificada no Japão, estando agora, novamente, retornando aos Estados Unidos. Atualmente é amplamente utilizado em vários setores e atividades, tais como: robótica, automação de linhas de produção, simulações financeiras, avaliações, entre outros (FUZZYTECH, 2014).

Busca-se como objetivo geral trabalhar, de forma complementar à metodologia tradicional prevista em norma, as ferramentas da Teoria *Fuzzy*, mais precisamente dos Conjuntos Fuzzy, de forma a permitir a adequada consideração das variáveis subjetivas na formação do valor de um imóvel, bem como contribuir para a sua correta aplicação na Avaliação de Imóveis.

Nas seções seguintes são apresentadas cada uma das metodologias, a base de dados selecionada, a construção das duas técnicas e a análise dos resultados. Finalmente as conclusões e as perspectivas futuras são apontadas.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Avaliação de Imóveis

A avaliação de imóveis se apresenta como uma grande atividade da engenharia, com impacto direto na viabilização de milhares de negócios. Os primeiros trabalhos de avaliação remontam aos anos 40 do século XX, com o engenheiro Berrini (Duarte, 2007), sendo que a atividade vem apresentando um avançado estágio de evolução, inclusive quando comparados a países como EUA, Inglaterra e França, os quais são considerados grandes potências mundiais (PELLI, 2010).

Tem na norma ABNT NBR 14.653 partes 1 a 7, importante instrumento desta evolução, pois esta permite a padronização de procedimentos bem como a introdução de conceitos e de exigências técnicas que se traduzem em trabalhos de mercado executados com fundamentação e precisão mínima desejada.

Há de se citar também a atuação de instituições como o IBAPE São Paulo e o IBAPE Entidade Federativa Nacional, que se empenham na melhoria e divulgação desta ciência, enquanto engenharia, e de trabalhos altamente qualificados, enquanto negócio e mercado (DUARTE, 2007).

1.2 Lógica Fuzzy

1.2.1 Breve História

Em 1965, o professor de Teoria dos Sistema da Universidade de Berkeley, Lotfi A. Zadeh, que desenvolveu a teoria dos Conjuntos Fuzzy, publicou o trabalho: "*Fuzzy sets, information and control*" e é quem cita pela primeira vez o termo Fuzzy, sendo considerado, desta forma, o criador desta lógica. Não há uma tradução precisa para a palavra Fuzzy em português, sendo encontrado termos como: difusa, nebulosa, vago, impreciso (SIMÕES, 2007). O trabalho do professor Zadeh está disponível em <<http://www.berkeley.edu/index.html>>.

Desde então, a história da lógica Fuzzy seguiu o mesmo caminho que outras tecnologias recentes, quer seja, inventada nos Estados Unidos, desenvolvida na Europa, massificada no Japão (FUZZYTECH, 2014).

O Professor Lotfi Zadeh afirma que o computador não pode resolver problemas, tais como os que prescindem de habilidades humanas. A menos, é claro, que seja capaz de pensar na forma característica de um ser humano (FUZZYTECH, 2014).

Os seres humanos, muitas vezes dependem de expressões linguísticas imprecisas como "perto", "pouco", "bonito", já o processamento booleano de um computador é limitado a um modo 0-1, preto-branco, tudo ou nada, verdadeiro ou falso.

Neste contexto, Lotfi Zadeh enfatiza o fato de que facilmente nos deixamos levar por um desejo de atingir a maior precisão possível, sem prestar atenção ao caráter impreciso da realidade (FUZZYTECH, 2014). A lógica Fuzzy foi criada e desenvolvida a partir dessa necessidade: a de se desenvolver uma tecnologia que conseguisse trabalhar a imprecisão e a incerteza da expressão humana.

A lógica Fuzzy vem sendo utilizada em diversas áreas e aplicações tais como: Automação Industrial, Monitoramento de Glaucoma, Geração de energia a base de carvão, Sistemas de Refrigeração complexos, Planta de incineração de resíduos, Sistema de Tratamento de Água, motor de indução AC, Limitador de Velocidade Caminhão, Eletrodomésticos, Engenharia Automotiva, *Antilock Braking System* (freios ABS), Planos de voo, Fusão Nuclear, Controle de Tráfego, Sistemas de Sonar.

A lógica Fuzzy tem a vantagem de, apesar da matemática teórica complexa que a sustenta, ser de fácil entendimento e de aplicação simples. A inteligência do sistema não está oculto em equações diferenciais e complexos códigos fontes (FUZZYTECH, 2014).

1.2.2 Conceitos Básicos

a) Incerteza Estocástica versus Incerteza Léxica

A teoria da lógica difusa lida com a incerteza, assim como a teoria probabilística e a teoria da informação. Destaca-se na teoria da incerteza duas formas básicas: incerteza estocástica e incerteza léxica.

A incerteza estocástica trata a incerteza através da ocorrência de um determinado evento. Por exemplo: ocorrência ou não de chuva no dia de amanhã. A incerteza léxica existe devido a linguagem humana, não existindo definições exatas (Simões, 2007). Por exemplo: as pessoas têm conceitos e percepções diferentes para chuva, chuva forte, garoa.

Assim a diferença está no uso da expressão probabilidade. Na estocástica ela é expressa em termos matemáticos, e na incerteza léxica esta probabilidade não é quantificada em um valor, mas representada por uma categoria subjetiva (FUZZYTECH, 2014).

Em muitos momentos de decisão as informações se encontram vagas e imprecisas, de maneira que só podem ser compreendidas por sua representação qualitativa. Neste contexto, a lógica difusa trabalha as informações que se encontram imprecisas, traduzindo expressões verbais vagas, imprecisas, ambíguas, qualitativas, de categoria subjetiva, de uso comum na linguagem humana, em valores numéricos. Por isto a lógica difusa trabalha diretamente com a incerteza léxica (CALDEIRA, 2007).

b) Variáveis Linguísticas

O bloco de construção principal de qualquer sistema de lógica *fuzzy*, é a assim chamada "variável linguística". Pode ser considerada o nome dado a um conjunto fuzzy. A capacidade de classificar de modo impreciso as variáveis de um problema em termos qualitativos ao invés de quantitativos, traduz a ideia de variável linguística (SIMÕES, 2007).

De fato, uma variável linguística é caracterizada por $\{n, T, X, m(n)\}$ onde n é o nome da variável (por exemplo, altura, temperatura, pressão, febre, etc.), T é o conjunto de termos linguísticos de n (alto, baixo, pouco, extenso, etc.), X é o domínio (Universo) de valores de n sobre o qual o significado do termo linguístico é determinado (a febre pode estar, por exemplo, entre 35 e 40 °C) e $m(t)$ é uma função semântica que assinala para cada termo linguístico $t \in T$ o seu significado, que é um conjunto fuzzy em X (ou seja, $m: T \rightarrow (X)$ onde (X) é o espaço dos conjuntos fuzzy) (ORTEGA, 2001).

Estas variáveis representam de modo impreciso, ou seja, linguístico, conceitos de variáveis dados a um problema, admitindo termos como "médio", "muito pequeno", "longe", "forte", "bonito". Estes valores se contrapõem aos valores precisos admitidos pelas variáveis numéricas.

Estes termos são usados para expressar ideias, conceitos, conhecimentos e também percepções na comunicação humana, sendo que em muitas áreas são a forma mais importante, senão a única, de quantificar os dados e informações. O uso de termos linguísticos é frequente no nosso cotidiano, tais como o "dia está muito quente", "o ônibus estava lotado", "Tal pessoa é alta, magra". Todos estes termos possuem um significado e transmitem informação.

Aqui, várias categorias subjetivas que descrevem o mesmo contexto são combinadas. Por exemplo, no caso de febre. Existe não só a febre forte, mas também a temperatura elevada, a temperatura normal, e a baixa temperatura. Estes são chamados "termos linguísticos" e representam os possíveis valores de uma variável linguística. Exemplo: "a temperatura está alta".

A variável "temperatura" está recebendo o valor (termo linguístico) "alta", que é um dos conjuntos fuzzy definidos para esta variável. Pode-se, ainda, lançar mão dos modificadores, que são os termos ou operações que modificam a forma dos conjuntos fuzzy, ou seja, a intensidade dos valores. Como exemplo pode-se citar os advérbios "quase", "muito", "pouco" entre outros, que podem ser tanto aumentadores como diminuidores, conforme aumentam ou diminuem a área de pertinência dos conjuntos fuzzy.

Na Figura 1 pode-se observar um exemplo de variável linguística em que o nome da variável é "Altura", que representa a altura de uma pessoa. Os termos linguísticos que atribuem um significado semi-quantitativo a variável "Altura" são: Baixo, Médio, Alto. O domínio, em centímetros, da variável é o intervalo [150, 200].

As variáveis linguísticas são expressas dentro de determinado domínio de valores. A definição deste domínio é feita por um especialista da área em estudo, sendo o papel deste fundamental na modelagem fuzzy.

As variáveis numéricas expressam o seu valor e utilidade e são amplamente empregadas nas ciências exatas (engenharia, física, matemática, etc.), porém, as variáveis linguísticas têm conquistado cada vez maior importância devido ao desenvolvimento das áreas de inteligência artificial e processos de decisão.

A capacidade de combinar variáveis linguísticas e numéricas é uma das principais razões do sucesso das aplicações da lógica fuzzy em sistemas inteligentes, tanto na engenharia quanto em muitas outras áreas que lidam com domínios contínuos (ORTEGA, 2001).

c) Funções de Pertinência

Ao contrário da lógica convencional, a lógica difusa utiliza ideias de que todas as coisas (temperatura, velocidade, altura) admitem graus de pertinência (μ). Com isso, a lógica fuzzy tenta modelar o senso das palavras, tomadas de decisão ou senso comum do ser humano.

Pode-se dizer que a pertinência, no sistema fuzzy, equivale a probabilidade dos modelos estatísticos, sendo os casos $\mu = 0$ e $\mu = 1$ um caso particular do conjunto fuzzy (elemento pertence totalmente a um conjunto) e os casos em que $0 < \mu < 1$ representam graus parciais de pertinência (CALDEIRA, 2007).

Observe a Figura 1 em que tem-se dois elementos $x_1 = 169$ cm e $x_2 = 171$ cm. Utilizando-se da lógica clássica, esses elementos pertencem a conjuntos diferentes (baixo e médio, respectivamente). No entanto, na realidade fica difícil de afirmar que uma pessoa com 169 cm e outra com 171 cm pertencem a conjuntos diferentes.

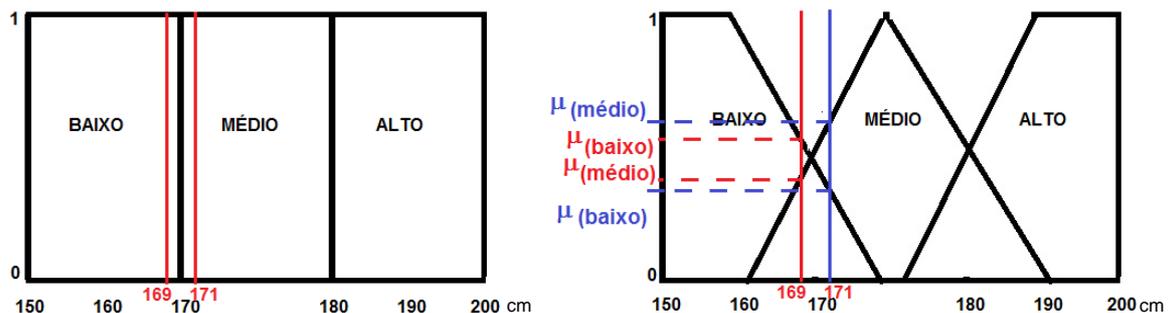


Figura 1 Classificação para alturas de pessoas em conjuntos clássicos (esquerda) e fuzzy (direita) considerando, para estes, seus graus de pertinência.

Já na lógica difusa, tanto x_1 quanto x_2 tem graus de pertinências aos conjuntos fuzzy definidos, que podem variar de 0 a 1. Desta forma, a lógica fuzzy pode ser considerada como um conjunto de princípios matemáticos para representação do conhecimento baseado no grau de pertinência (graus de verdade), fazendo com que uma sentença possa ser parcialmente verdadeira e parcialmente falsa.

Nota-se que não existe na lógica fuzzy um limite abrupto como na lógica tradicional, possuindo o grau de pertinência variações suaves no intervalo [0-1], representando de forma mais realista o conhecimento humano (CALDEIRA, 2007).

A definição da forma da função de pertinência depende muito dos atores envolvidos e dos conhecimentos destes em relação ao problema estudado, sendo que as formas mais comuns utilizadas são as triangulares e os trapézios, como utilizado na Figura 1.

d) Base de Regras

A construção da Base de Regras é ponto nevrálgico do sistema e deve ser consultado um especialista da área em estudo para que os resultados sejam precisos e pertinentes. São utilizados para operar de maneira correta conjuntos Fuzzy, com o intuito de se obter consequentes. É necessário raciocínio coerente com o que se

deseja modelar, devendo ser dividido em 2 etapas: (1) avaliar o antecedente da regra, (2) aplica o resultado ao consequente (SIMÕES, 2007).

1.2.3 Modelo de Mandami

Para a inferência Fuzzy existem vários modelos propostos como o de Takagi-Sugeno e o modelo de Mandami, que é o mais comumente utilizado. Neste trabalho será utilizado o modelo de Mandami.

O Modelo de Mandami foi criado pelo professor Ebrahim Mandami da Universidade de Londres em 1975, baseando-se em regras de conjunto Fuzzy no intuito de representar experiências da vida real. Para a construção deste sistema foi definido um processo de raciocínio dividido em três passos: Fuzzificação, Inferência, Defuzzificação. A etapa de Inferência possui 2 etapas: Avaliação das regras Fuzzy e Agregação das Regras Fuzzy. (SIMÕES, 2007).

a) Fuzzificação

Fuzzificação significa usar as funções de pertinência das variáveis linguísticas para calcular o grau com que cada variável pertence a cada um dos conjuntos fuzzy envolvidos no processo. É o primeiro passo do sistema lógico fuzzy e corresponde a transformação dos dados de entrada iniciais em suas respectivas variáveis linguísticas. Nesta etapa todas as incertezas associadas a estas variáveis devem ser consideradas.

Aqui existe a necessidade de que especialistas da área estudada sejam consultados durante a atribuição de valores relacionados aos graus de pertinência para cada uma das variáveis em estudo, para melhor precisão dos resultados (SIMÕES, 2007).

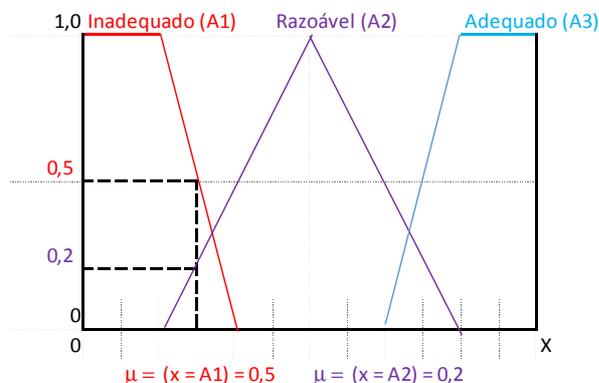


Figura 2 Fuzzificação

b) Inferência

A finalidade da inferência Fuzzy é relacionar as possíveis variáveis entre si, através de uma base de regras pré-estabelecidas, conforme objetivos do algoritmo. Pode-se separar esta fase em dois componentes: Avaliação das Regras Fuzzy e Agregação.

A avaliação das regras Fuzzy: após a obtenção das entradas fuzzificadas, as mesmas devem ser aplicadas nos antecedentes (parcela “SE”), obtendo assim o valor do consequente (parcela “Então”) para cada uma das regras. Para os antecedentes compostos, os operadores lógicos AND e OR são utilizados para obter um único resultado. No caso do operador OR é utilizada a união (maior grau de pertinência) e no caso do operador AND é utilizada a intersecção (menor grau de pertinência).

Depois de se obter um único valor do antecedente, é necessário obter o valor do consequente, através de um método de correlação dos mesmos, sendo o mais comum conhecido como clipped, onde o consequente é “cortado” para o nível de valor verdade do antecedente da regra avaliada, ou seja, o valor obtido é simplesmente passado para o consequente da regra (SIMÕES, 2007).

- IF [x IS A3(0) OR y IS (B1(0,1)] THEN [Z IS c1 (0,1)]

Agregação das regras: nesta etapa são agregadas todas as funções membro dos consequentes de cada regra em um único conjunto Fuzzy, que será depois utilizado na etapa de Defuzzificação para a obtenção da solução do algoritmo.

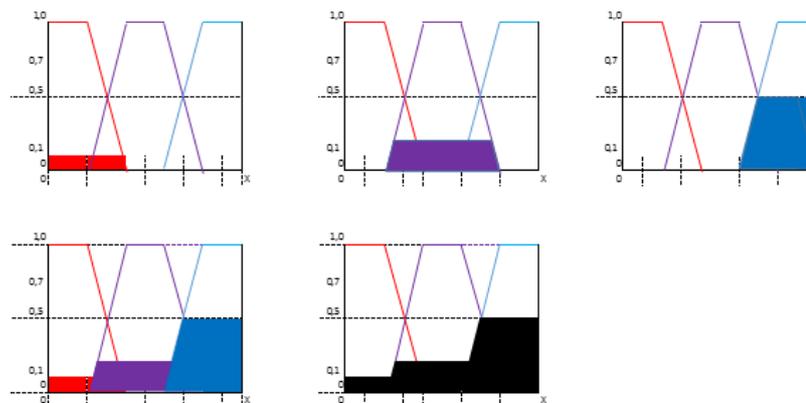


Figura 3 Agregação das regras Fuzzy

c) Defuzzificação

Para se obter um resultado numérico é necessário defuzzificar a saída obtida na etapa anterior. Neste processo ocorre a conversão difuso para escalar, e as informações qualitativas passam a uma informação quantitativa.

Os métodos de defuzzificação mais utilizados são os do Centro de Área (CoA), o do Centro de Máximos (CoM), Média dos Máximo (MoM) e o do Centroide (CoG) para citar alguns (Nicoletti, 2009).

Como exemplo, o método do centroide (CoG), Figura 4, obtém o ponto onde uma linha vertical divide ao meio um conjunto agregado, sendo este o valor de saída.

$$CoG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x) \cdot x}{\sum_{x=a}^b \mu(x)}$$

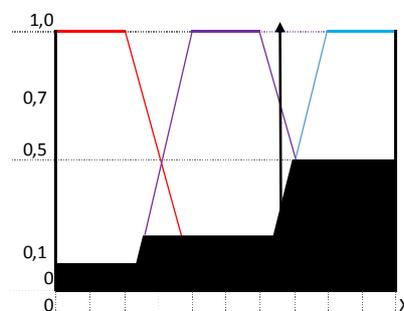


Figura 4 Modelo do Centroide (CoG)

1.3 Análise Envoltória de Dados - EDO-DEA (VRS)

O DEA surgiu como instrumento para avaliar a eficiência de um conjunto de unidades de produção, diferindo do enfoque estatístico tradicional na medida em que

não se propõe a relacionar uma determinada unidade com a média ou a mediana dos resultados das unidades comparáveis, mas sim com a unidade mais eficiente (benchmarking). Ao invés de ser um método com enfoque nas medidas de “tendência central”, a intenção é se situar nas unidades extremas que compõem a “fronteira ou envoltória” dos dados. A utilização dessa ferramenta para a engenharia de avaliações foi proposta pela primeira vez por Novaes, 2002e pode ser sintetizada da seguinte forma:

- Os imóveis que fazem parte da amostra colhida no mercado imobiliário são interpretados no ambiente da metodologia DEA, como as “unidades de produção”;
- Para o vendedor do imóvel, os “insumos” (*inputs*) da sua “unidade de produção” são os atributos (características intrínsecas e extrínsecas) do imóvel relevantes para a sua valorização, como localização, área, etc.; o “produto” (*output*) da sua “unidade” é o preço, que pode ser expresso pelo Valor Total do Bem;
- Para o comprador, inversamente, o *input* é o preço e os *outputs* são os atributos (localização, área, etc.);

Desta forma, ficam constituídas, assim, duas óticas para a DEA: a do vendedor e a do comprador. Para o vendedor, o objetivo é oferecer certos atributos relevantes de um imóvel (área, localização, etc.) e obter por eles o maior preço possível; na visão do comprador, o objetivo é pagar um determinado preço e obter em troca o máximo de atributos relevantes de um imóvel (área, localização, etc.).

Ao coletarmos uma amostra do Mercado Imobiliário, podemos construir, assim, duas fronteiras eficientes: a do vendedor e a do comprador:

- Os imóveis que constituem a fronteira eficiente do comprador são aqueles que a partir de atributos relevantes, se paga o menor preço;
- Os imóveis que constituem a fronteira eficiente do vendedor são aqueles em que se obtém um máximo de preço, para um dado conjunto de atributos importantes;
- Os imóveis compreendidos entre as duas fronteiras (envoltórias de dados) fazem parte do espaço competitivo, sendo possível projetar o seu valor nas duas fronteiras eficientes;

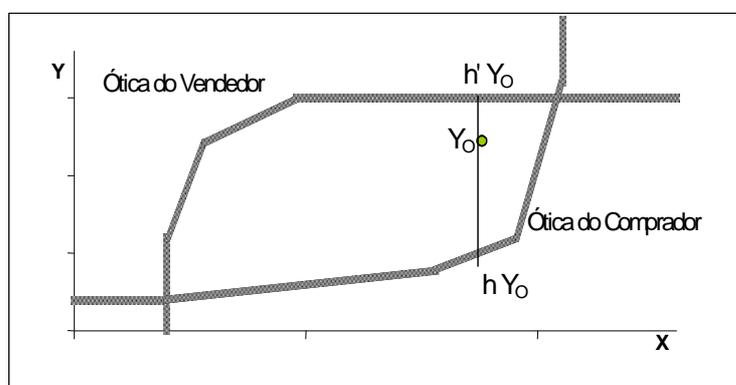


Figura 5 Gráfico de uma situação hipotética, onde: Y = preço e X= área, com a definição das fronteiras eficientes para cada uma das duas óticas.

Formulação

A formulação do método EDO-DEA para o modelo Produto-orientado (no caso da avaliação, corresponde à ótica do vendedor) é a mesma do modelo clássico DEA e se utiliza da formulação do seguinte problema de programação linear (CHARNES et al, 1978):

a) Problema do Envelope Dual (Ótica do Vendedor)

Maximizar h , tal que:

$$\begin{aligned} X_k &\geq \lambda X \\ h Y_k &\leq \lambda Y \\ \lambda &\geq 0 \\ h' &= 1/h \\ \sum \lambda &= 1 \end{aligned} \tag{1}$$

Onde:

h = eficiência

X = vetor de atributos dos imóveis (insumos)

X_k = vetor de atributos do imóvel k (insumos)

Y = vetor de preços dos imóveis (produtos)

Y_k = preço do imóvel k (produto)

λ = vetor dos pesos da combinação linear dos insumos e dos produtos de unidades eficientes

Na formulação do método EDO-DEA modelo insumo-orientado (ótica do comprador) é feita uma transposição das variáveis do modelo clássico, trocando-se o insumo X pelo produto Y e vice-versa, resultando nas formulações (3) e (4) dos seguintes problemas de programação linear (NOVAES, 2002):

b) Problema do Envelope Dual (Ótica do Comprador)

Minimizar h , tal que:

$$\begin{aligned} \lambda X &\geq X_k \\ h Y_k &\geq \lambda Y \\ \lambda &\geq 0, \\ \sum \lambda &= 1 \end{aligned} \tag{2}$$

Onde:

h = eficiência

X = vetor de atributos dos imóveis (produtos)

X_k = vetor de atributos do imóvel k (produtos)

Y = vetor de preços dos imóveis (insumos)

Y_k = preço do imóvel k (insumo)

λ = vetor dos pesos da combinação linear dos insumos e dos produtos de unidades eficientes

O EDO-DEA permite que cada dado de mercado, com os seus respectivos atributos e preço, possam ser associados a valores nas fronteiras do comprador e do vendedor perfeitamente justificados pelos imóveis eficientes em cada uma das óticas. Torna-se possível, portanto, considerando um conjunto de dados de mercado, estabelecer para um determinado imóvel que se deseja avaliar, que valor ele deveria apresentar para ser considerado “eficiente” do ponto de vista do comprador e que valor ele deveria apresentar para ser “eficiente” do ponto de vista do vendedor, estabelecendo-se um intervalo para a negociação semelhante ao “intervalo de confiança” da inferência estatística ou ao “campo de arbítrio” do avaliador.

2 ESTUDO DE CASO

2.1 Descrição da proposta

A proposta será dividida e discutida nos seguintes tópicos e sub-tópicos:

- Descrição do Imóvel avaliando;
- Avaliação do imóvel avaliando pela metodologia tradicional da ABNT NBR 14.653-2:2011: Método Comparativo Direto de Dados de Mercado: Técnica Inferência Estatística, com a utilização do sistema SISDEA® da Pelli Sistemas Ltda., versão 1.24;
- Avaliação do Imóvel avaliando utilizando a Lógica Fuzzy, no software MatLab®, considerando variáveis subjetivas que influenciam na formação do valor do imóvel;
- Análise dos resultados obtidos por cada uma das metodologias acima.

2.2 Imóvel Avaliando

Trata-se de empreendimento residencial multifamiliar, localizado no bairro da Bela Vista, na cidade de São Paulo, capital. O referido imóvel está localizado próximo a avenida Paulista, foi concluído em 2009.

O terreno possui configuração retangular, frente única para a rua Doutor Seng, área total de 1.225,00 m² e frente de 49.0 m. Sobre o terreno está erguido um empreendimento, composto por uma torre de 9 andares, 3 sobre-solos, garagem exclusiva, apartamentos de zelador, equipamentos sociais e cobertura com ático e piscina, com área total de construção de 7.690,90 m², totalizando 93 unidades autônomas de 01 dormitório, apartamento de zelador, 106 vagas de garagem, 3 elevadores, piscina, hidromassagem, sauna, espaço zen, sala alongamento\yoga, churrasqueira, espaço cyber, salão de festas, espaço gourmet, salão de jogos, sala de ginástica.

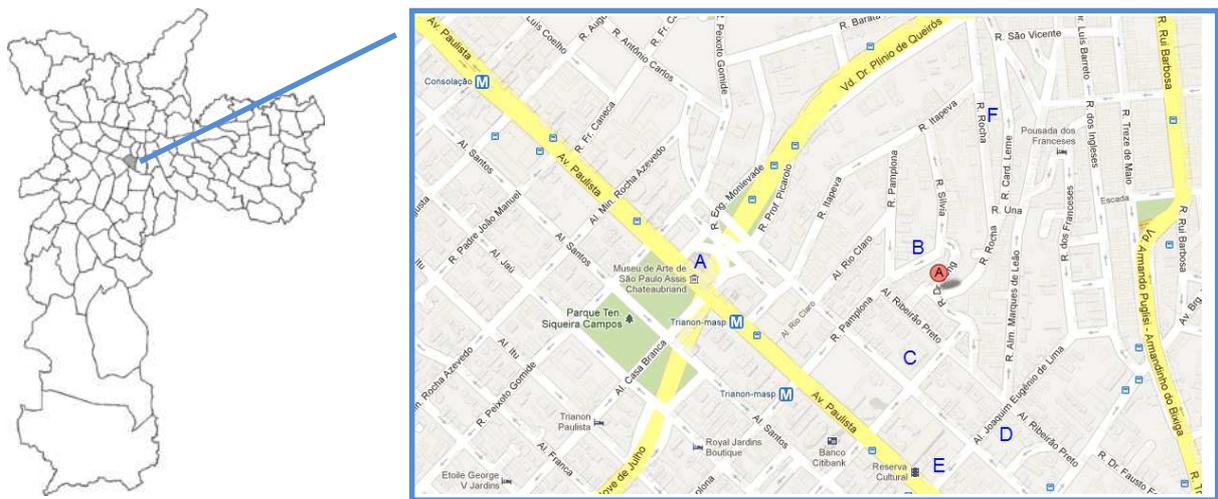


Figura 6 Localização do imóvel avaliando



Figura 7 Imóvel Avaliando.

2.3 Avaliação: Método Comparativo Dados Mercado: Inferência Estatística

Para a realização desta avaliação pelo Método Comparativo de dados de Mercado, com a utilização da Regressão Linear, foram pesquisados 25 elementos, sendo utilizados efetivamente 21 elementos deste trabalho.

Observa-se que os dados amostrais se referem a valores pretéritos. Isso se justifica por não ser objeto deste a indicação de valores para o imóvel, mas a comparação entre metodologias de cálculo.

Após os testes estatísticos, concluiu-se que as variáveis que mais contribuem para a formação do preço unitário (por m² de área útil) são:

- **Área Privativa (m²):** área privativa da unidade habitacional. Variável quantitativa contínua.
- **Idade:** idade da construção. Variável dicotômica sendo:
0: empreendimentos com mais de 5 anos de construção.
1: empreendimento com até 5 anos de construção (inclusive).
- **Oferta:** Indica se tratar de oferta ou de transação efetivamente concretizada. Variável dicotômica sendo: 0 (zero): para venda e 1 (um) para oferta.
- **Localização:** Indica se o empreendimento está situado em área mais valorizada (no máximo 500 metros da avenida Paulista ou morro dos Ingleses) ou em local

mais desvalorizada (bairro do Bixiga ou a mais de 500 metros da avenida paulista). Variável dicotômica sendo: 0 (zero) p/ área mais desvalorizada e 1 (um) p/ área mais valorizada.

2.4 Avaliação: Lógica Fuzzy

Para a realização desta avaliação com a utilização da Lógica Fuzzy foi utilizado a mesma pesquisa utilizada para o MCDM do item anterior, sendo utilizado aqui todos os 25 elementos pesquisados.

Decidiu-se pela utilização das variáveis independentes área, localização e padrão, conforme descrição abaixo, para esta avaliação.

- **Área Privativa (m²):** Variável qualitativa que representa a área privativa da unidade habitacional em função da percepção que o tamanho passa. Será utilizada na escala pequena, média, grande.
- **Padrão:** variável qualitativa que, de forma subjetiva, indica se o imóvel possui qualidades como: ser novo, estado de conservação aparente, possuir arquitetura mais contemporânea ou antiga, infraestrutura disponível. Esta variável substitui a variável idade utilizada no método feito por inferência estatística. Será utilizado na escala: Velho (ou antigo); Normal, Bom (ou moderno).
- **Localização:** variável qualitativa que indica a percepção da qualidade do local, microrregião, em que o imóvel está inserido, buscando considerar valores como: trânsito, aparência, ruídos, vizinhança, infraestrutura, disponibilidade, segurança, comportamento local. Será utilizado na escala: Ruim, Médio, Bom.

A variável oferta, utilizada na inferência estatística, não foi aqui considerado por representar uma variável dicotômica não passível de interpretação subjetiva.

Após definirmos as variáveis, com a utilização do software Matlab®, definiram-se as relações de pertinência para cada variável, como se segue:

- **Área:** com escala de 30 m² a 60 m².

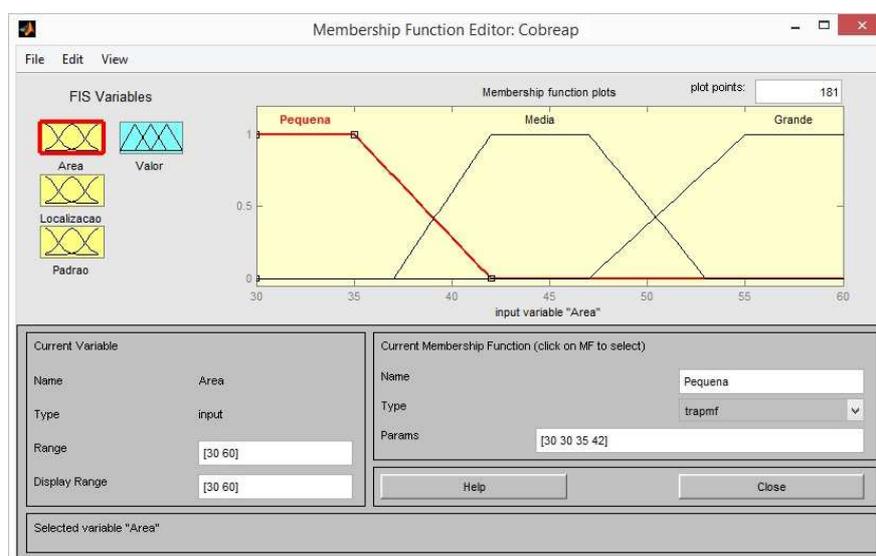


Figura 8 Função Pertinência: Área (entrada).

- Padrão: com escala de 0 a 10.

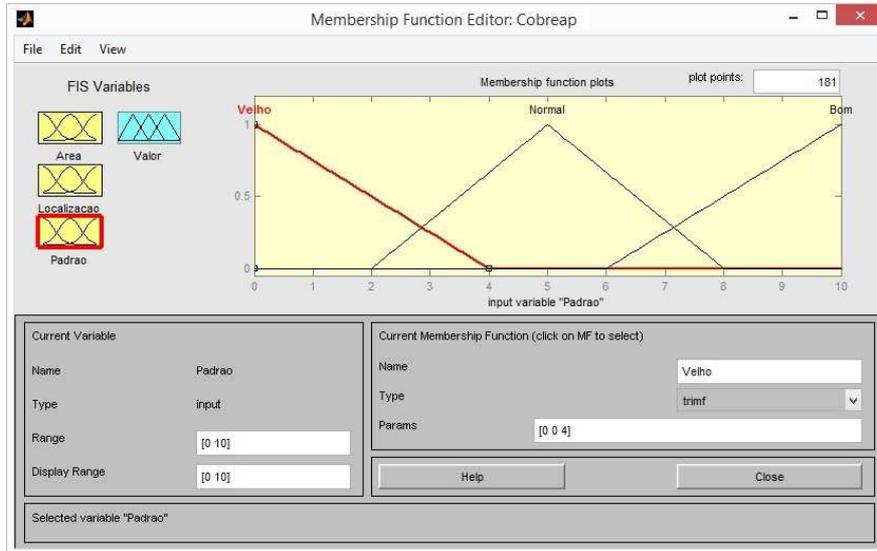


Figura 9 Função Pertinência: Padrão (entrada).

- Localização: com escala de 0 a 10

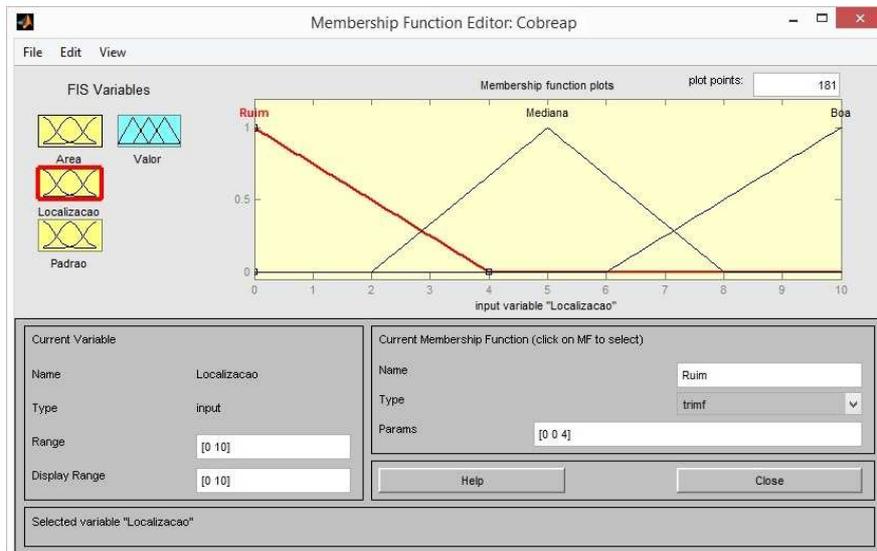


Figura 10 Função Pertinência: Localização (entrada).

- Valor: com escala de 300.000,00 a 600.000,00

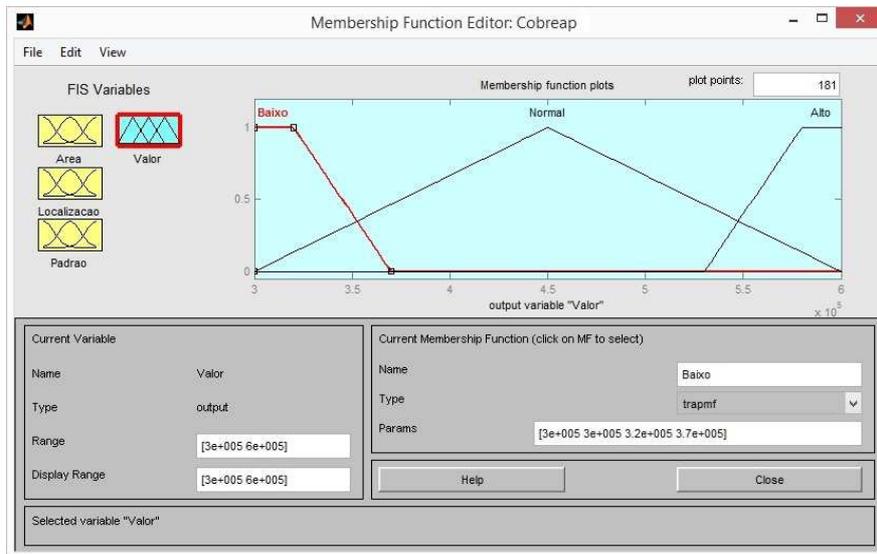


Figura 11 Função Pertinência: Valores (saída).

O Modelo será concebido com a metodologia proposta por Mandami:

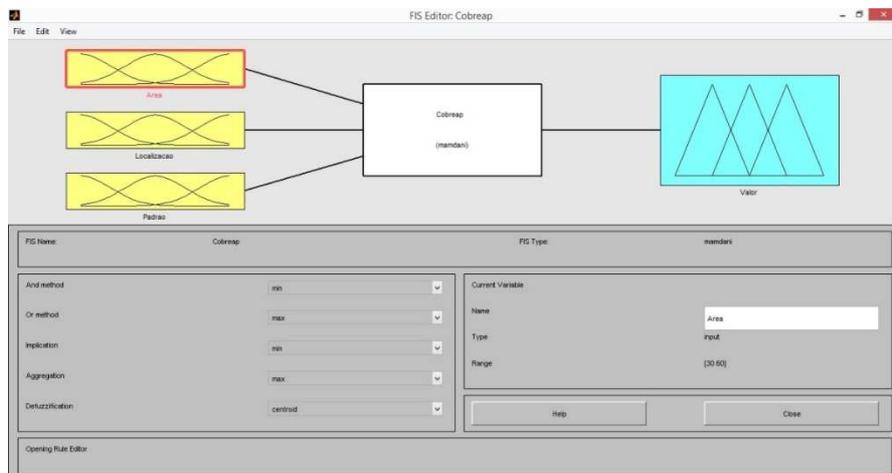


Figura 12 Modelo Fuzzy - Mandami.

Para esta avaliação, foram consideradas 30 proposições para sua base de regras (que descrevem as relações entre as variáveis linguísticas (subjetivas) e os conjuntos *Fuzzy*, utilizando-se conectivos lógicos).

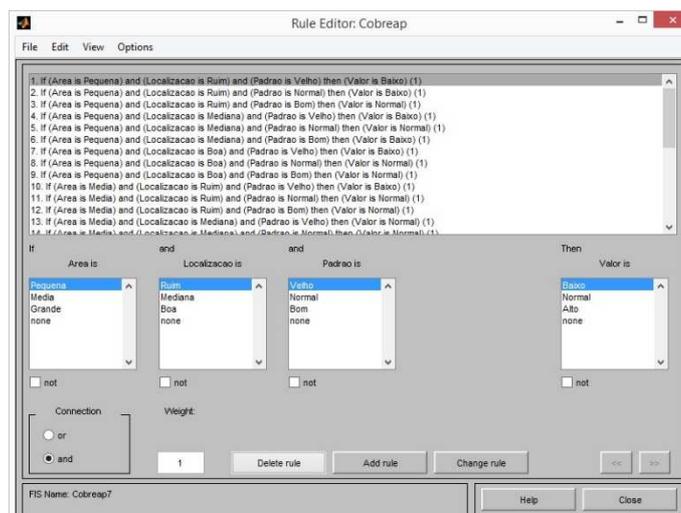


Figura 13 Base de Regras.

3 RESULTADOS

3.1 Avaliação do Imóvel: MCDDM: Inferência Estatística

Da avaliação pelo Método Comparativo Direto de Dados do Mercado (MCDDM), utilizando-se a técnica da Inferência Estatística, obteve-se os valores de mercado para o imóvel avaliando conforme indicado na Tabela 1, considerando para o imóvel avaliando:

- Área Privativa: 40.0 m²;
- Oferta: 0 (zero – venda);
- Idade: 1 (até 5 anos);
- Localização: 1 (área valorizada)

Tabela 1 Valores de Mercado para o imóvel avaliando pelo MCDDM: Inferência estatística

Valor	R\$ Mínimo (3.86%)	R\$ Médio	R\$ Máximo (3.86%)
Total	421.288,02	438.208,61	455.129,20
Unitário	10.532,20	10.955,22	11.378,23

Foram utilizados 21 elementos amostrais dos 25 pesquisados inicialmente, obtendo-se um Coeficiente de Correlação de 93.93%, Coeficiente de Determinação de 88.23,3%, sendo que quanto a especificação foi enquadrado no Grau de Fundamentação 2 e Grau de Precisão 3.

Equação Obtida:

$$\begin{aligned}
 \text{VALORTOTAL} = & -67306.79361 \\
 & +7864.002526 * \text{AREAPRIVATIVA} \\
 & +98024.82079 * \text{IDADE} \\
 & +51823.80595 * \text{OFERTA} \\
 & +92930.48393 * \text{LOCALIZACAO}
 \end{aligned}$$

O modelo foi verificado quanto aos seus pressupostos de linearidade, normalidade, homocedasticidade, autocorrelação, colinearidade/multicolinearidade, *outliers*, estando os mesmos adequados.

3.2 Avaliação do Imóvel: Modelagem Fuzzy

Para o imóvel avaliando foi considerado os seguintes valores para entrada no modelo utilizando a Lógica Fuzzy:

- Área Privativa: Entre pequena e média (40,00 m²).
- Padrão: Bom (imóvel com 5 anos de construção, ótimo estado de conservação, arquitetura moderna, possui total infraestrutura interna, lazer, piscinas, sauna, sala ginástica, sala gourmet, churrasqueira, entre outros e paisagismo).
- Localização: Bom (o imóvel está situado a cerca de 300 metros da avenida Paulista, obtendo todos os benefícios que esta importante referência da cidade de São Paulo proporciona, porém, devido a característica de localização, não recebe os impactos negativos que esta via tem: trânsito, barulho, manifestações. O local é limpo, de boa aparência, vizinhança tranquila, sem a ocorrência de bares e utilização pela vizinhança).

Com estes dados o valor da avaliação pelo modelo gerado pela Lógica fuzzy foi de R\$ 443.000,00 (quatrocentos e quarenta e três mil reais).

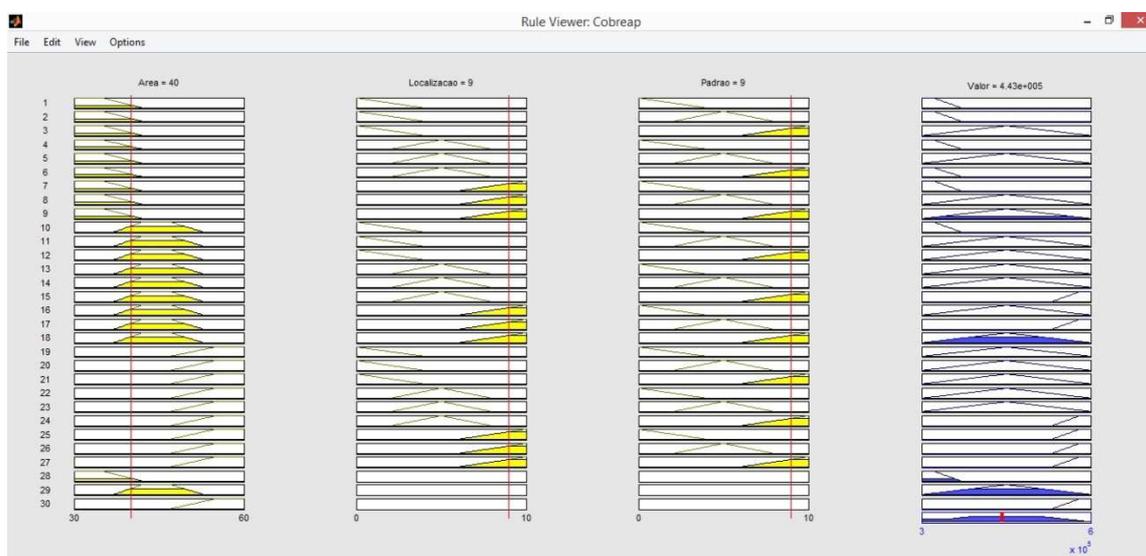


Figura 14 Valor Avaliação pelo modelo gerado pela Lógica fuzzy.

3.3 Avaliação do Imóvel: Envelopamento de dados

Os resultados obtidos com o DEA estão listados a seguir:

Tabela 2 Resultados obtidos com o DEA

Dado	Preço	V(%)	C (%)	Valor	Residuo	Res. Relativo
2	580.000,00	100%	95%	564.790,59	15.209,41	2,62%
3	490.000,00	100%	96%	479.974,81	10.025,19	2,05%
4	450.000,00	100%	100%	449.939,19	60,81	0,01%

5	520.000,00	95%	100%	534.994,87	14.994,87	-2,88%
6	420.000,00	96%	100%	429.066,21	-9.066,21	-2,16%
7	480.000,00	100%	90%	455.990,19	24.009,81	5,00%
8	450.000,00	94%	100%	465.001,78	15.001,78	-3,33%
9	390.000,00	82%	100%	432.483,92	42.483,92	-10,89%
10	390.000,00	93%	100%	403.944,79	13.944,79	-3,58%
11	400.000,00	84%	98%	432.468,70	32.468,70	-8,12%
12	470.000,00	96%	100%	479.984,55	-9.984,55	-2,12%
13	550.000,00	95%	100%	564.820,71	14.820,71	-2,69%
14	440.000,00	100%	92%	421.760,49	18.239,51	4,15%
15	400.000,00	100%	98%	395.056,84	4.943,16	1,24%
16	410.000,00	98%	95%	403.945,54	6.054,46	1,48%
17	420.000,00	88%	93%	432.509,34	12.509,34	-2,98%
18	480.000,00	98%	98%	479.978,58	21,42	0,00%
19	420.000,00	100%	100%	420.094,43	-94,43	-0,02%
20	420.000,00	89%	100%	446.090,37	26.090,37	-6,21%
21	450.000,00	95%	93%	446.095,08	3.904,92	0,87%
23	450.000,00	80%	100%	507.082,34	57.082,34	-12,68%
24	550.000,00	100%	75%	482.402,70	67.597,30	12,29%
26	438.000,00	100%	96%	429.061,36	8.938,64	2,04%

3.4 Avaliação do Imóvel: Comparação Resultados

Comparando-se os valores obtidos entre as 2 metodologias, temos para o imóvel avaliando:

Tabela 3 Valores de Mercado para o imóvel avaliando pelo MCDDM: Inferência Estatística e Modelagem Fuzzy

MÉTODO	R\$	Diferença %
INF. ESTATÍSTICA	438.200,00	-
DEA	431.000,00	2,04%
MOD. FUZZY	443.000,00	1,09%

4 DISCUSSÕES/CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pelas metodologias mostraram-se coerentes com a realidade do imóvel considerado, há época considerada.

O MCDDM com a utilização da inferência estatística serviu como base comparativa, visto ser método já consagrado e utilizado no dia a dia a das avaliações. Já a metodologia pela lógica fuzzy, por ser ainda pouco aplicada, necessita ter seus resultados analisados com parcimônia, sendo que a repetição de trabalhos como este podem vir a subsidiar uma metodologia que tem se mostrado eficiente para dar respostas principalmente quando fatores subjetivos estão envolvidos.

Aqui cabe, talvez, a maior ressalva: a Lógica Fuzzy tem aplicação quando variáveis subjetivas estão envolvidas na análise. Pode-se citar como exemplo as variáveis qualitativas: subjetivas, difícil mensuração, sua percepção varia entre as pessoas. Caso contrário o caminho mais adequado é a utilização de outra metodologia, tal qual a Inferência Estatística.

Para o sucesso da utilização da lógica fuzzy, é necessário observar que as relações de pertinência e a base de regras precisam ser tecnicamente construídas e validadas por profissional técnico com expertise na área, no caso aqui, avaliações de imóveis, e conhecedor do mercado ao qual o imóvel está inserido. A participação deste profissional é que garantirá o sucesso da aplicação deste método e a pertinência de seus resultados.

Outro fator a considerar é a necessidade, pela própria complexidade de aplicação do método, da utilização de um software que aplique a Lógica Fuzzy na realidade do mercado de Avaliação de Imóveis, para permitir que seu uso seja aplicado de maneira adequada e comercial.

A proposta final deste trabalho enfatiza a necessidade da utilização paralela de um sistema computacional onde seja possível estimar o valor de mercado através de outras metodologias, além da Regressão Linear Múltipla, a fim de estabelecer intervalos de valores para os resultados obtidos pelos métodos utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-1:2001**: Avaliação de Bens. Parte 1: Procedimentos Gerais. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 14653-2:2011**: Avaliação de Bens. Parte 2: Imóveis Urbanos. Rio de Janeiro, 2011.

AGUADO, Alexandre Garcia; CANTANHED, Marco André. **Lógica Fuzzy**. Artigo. 2010. Disponível em < www.ft.unicamp.br>. Acessado em 10/02/2014.

CALDEIRA, André Machado et al. **Inteligência Computacional**: Aplicada a Administração, Economia e Engenharia em Matlab. São Paulo: Thomson, 2007. 370 p.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. **Measuring the Efficiency of Decision – Making Units**. European Journal of Operational Research. 2, No.6 - 1978.

CUN, Y. L.; BOSER, B.; DENKER, J. S.; SOLLA, S. A. **Optimal brain damage: Advances in Neural information processing systems**. Ed.: Morgan Kaufman, San Mateo. Vol.2, P 598, 1990.

DUARTE, André Augusto Azevedo Montenegro, et al. **Um novo enfoque na engenharia de avaliações: o método do entendimento racional**. In: COBREAP, XIV. 2007, Salvador/BA. Disponível em <<http://www.mrcl.com.br>>. Acesso em 10/02/2014, 21 p.

FUZZYTECH. **INFORM GmbH and Inform Software Corporation**. Conjunto de programas. Software. Library. Disponível em <<http://www.fuzzytech.com/>>. Acesso em: 10 fev 2014.

GONZÁLEZ, M. A. S.; FORMOSO, C.T. **Análise Conceitual das dificuldades na Determinação de Modelos de Formação de Preços através de Análise de Regressão**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE). Págs. 65 – 75, número 8, 2000.

GONZÁLEZ, M. A. S. **Metodologia de Avaliação de Imóveis**. Novo Hamburgo: Editora SGE, 2003.

GUJARATI, D. **Econometria Básica**. Makron Books, 2000.

HASSIBI, B.; STORK, D. G. In **Advances in neural information processing systems 5**. Ed.: Morgan Kaufmann, San Mateo. CA, p 164, 1993.

IBAPE/SP. INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS: **Avaliação de Imóveis Urbanos**. São Paulo, 2010.

NOVAES, L.F.L., **Envoltória sob Dupla Ótica aplicada na Avaliação Imobiliária em Ambiente do Sistema de Informação Geográfica**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Coppe/UFRJ. 2002.

NOVAES, L.F.L., PAIVA, S.A. **Situações onde a Aplicação da Análise de Envoltória de Dados (DEA) Apresenta Vantagens Sobre o Uso da Regressão Linear Múltipla**. XII COBREAP, Belo Horizonte/MG. 2003.

PELLI NETO, Antônio. **Intervalos de confiança, intervalos de predição e campo de arbítrio nas avaliações de imóveis urbanos**. Artigo. 2010. Disponível em <www.pellisistemas.com.br>. Acesso em 10/02/2014, 17 p.

SIMÕES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S. **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007. 186 p.