

Utilização de uma Rede Neural Artificial e Análise Multicritério para Determinação do Valor de Aluguel de Apartamentos

Anita M^a da Rocha Fernandes, Daniela S. Moreira, Ramices dos Santos Silva

{anita,ramices}@univali.br; dani.smoreira@gmail.com

Curso de Ciência da Computação – UNIVALI – Universidade do Vale do Itajaí -Campus São José – São José – Santa Catarina

RESUMO

O mercado imobiliário tem grande importância na economia nacional, pois o valor de mercado dos imóveis estimado através das avaliações em massa serve como base para os cálculos de demanda habitacional. O resultado dessas avaliações deve ser o mais preciso possível, pois os erros cometidos nessas estimativas podem prejudicar grande parte da população. Este artigo apresenta a aplicação do método de análise multicritério TODIM para ordenar as alternativas de imóveis calculando um valor médio de aluguel para cada alternativa, em conjunto com redes neurais artificiais. O resultado do TODIM é usado como uma das entradas da RNA e as outras entradas correspondem às características do imóvel. A rede criada foi do tipo MLP (Multilayer Perceptron), com conexões do tipo feedforward e o algoritmo de treinamento utilizado foi o backpropagation com supervisão. O resultado das avaliações realizadas no protótipo foi considerado como adequado, dentro do esperado, pelos especialistas da área, indicando que a utilização dessas técnicas em conjunto, traz bons resultados para o mercado imobiliário.

Palavras-Chave: Mercado imobiliário, Análise Multicritério, Redes Neurais Artificiais.

1. INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário de acordo com o volume de recursos utilizados em suas transações, assim como sua significância social, representa um segmento cuja importância é relevante para a economia nacional. Para o estudo deste mercado, a base para os cálculos de demanda habitacional, voltado às aplicações de recursos financeiros, é calculada pelo valor de mercado cuja estimativa é dada através das avaliações em massa (PELLI NETO, 2006). A avaliação em massa, segundo González (2002), é uma avaliação sistemática de um grupo de imóveis, em uma determinada data, de uma determinada tipologia, em diferentes localizações em um espaço urbano cujo apoio é dado pelo uso de procedimentos padronizados e testes estatísticos.

Avaliar um imóvel é a tarefa, conforme González (2008), que obtém a estimativa de um valor provável que o imóvel pode atingir no mercado, sendo consideradas as características particulares desse imóvel, as condições normais de mercado, o equilíbrio entre as partes interessadas na negociação, assim como, os prazos e condições dessa negociação. O conceito de valor citado por González (2008) é dado de acordo com o mercado imobiliário cuja concorrência é imperfeita, onde o mesmo é diferente do custo e também do preço do imóvel.

A concorrência imperfeita explicada por Hipólito (2007) é dada em função das características apresentadas pelo mercado, tais como: heterogeneidade dos imóveis e de suas localizações, o que dificulta a comparação entre imóveis; falta de informações precisas; as pressões que ambas as partes são submetidas (comprador e vendedor) no momento das negociações; os diversos fatores psicológicos e culturais que comprometem a avaliação subjetiva da qualidade do bem; a existência de grupos de agentes profissionais qualificados para obter os melhores negócios para si ou para os seus representados. A consequência do mercado imperfeito é que não necessariamente a aceitação do preço coincide com o valor de

mercado, existindo uma faixa de preços razoáveis, dentro da qual está o valor de mercado do imóvel.

Percebe-se então, que o mercado imobiliário tem grande importância para a economia do Brasil. Além da geração de empregos na área da construção civil e imobiliária, ele está ligado à arrecadação de tributos, taxas, impostos, onde grande parte destas é calculada com base no valor venal do imóvel. O valor venal, segundo Pelli Neto (2006), é o valor mais provável que o imóvel será transacionado, calculado com base nos preços praticados no mercado imobiliário.

Há órgãos governamentais que na tomada de decisão utilizam, como parâmetro, o valor de mercado. Com isso, o estudo deste mercado influencia diretamente juntamente com outras análises, nas elaborações de plantas genéricas de valores para a cobrança de impostos e desapropriações, assim como, nas cobranças de impostos sobre o ganho de capital pela Receita Federal, nas decisões do Poder Judiciário, na determinação da garantia de operações dos agentes financeiros, nas análises de viabilidade de empreendimentos e operações de compra e venda de imóveis (PELLI NETO, 2006).

Segundo Dantas (1998), a metodologia mais adequada para a realização de um trabalho de avaliação depende das condições do mercado apresentadas ao avaliador, das informações coletadas neste mercado e também, da natureza do trabalho que será realizado.

Para Damodaram (2003, *apud* HIPÓLITO 2007), o problema de uma avaliação não é a falta de modelos para avaliar um ativo, e sim, a qualidade dos modelos existentes, onde a escolha do modelo correto é tão crítica quanto o domínio técnico e conhecimento que o avaliador deve ter no momento da escolha do modelo a ser utilizado, onde a opção errada poderá implicar em resultados com grandes erros de avaliação.

Hipólito (2007) apresenta quais são os métodos e as normas utilizadas em diferentes países na avaliação de imóveis. Dentre eles estão a Regressão Linear Múltipla, os Modelos Hedônicos e as Redes Neurais Artificiais.

Os modelos hedônicos, segundo Pelli Neto (2006), são modelos onde os preços dos imóveis podem ser decompostos em preços de acordo com seus atributos ou suas características. Na Engenharia de Avaliações, os preços dos imóveis têm sido definidos de acordo com a expressão monetária dos dados de mercado em oferta ou efetivamente transacionados. São representados pela expressão: $P = f(x_1, x_2, \dots, x_n, \beta)$, onde f é o indicativo da forma funcional; P é o preço do bem; $x_1 \dots x_n$ são as características ou atributos relacionados com a estrutura física, tais como: a localização; aspectos econômicos e temporais; e β são os parâmetros a serem estimados.

O uso da Regressão Linear implica no atendimento de pressupostos básicos para que a análise estatística seja validada. Nestas condições, duas questões importantes são discutidas no meio acadêmico, o desconhecimento da forma funcional que descreve a relação entre as variáveis e a dificuldade da estimação dos parâmetros relativos à distribuição espacial dos imóveis (PELLI NETO, 2006).

No estudo realizado por Gonzáles e Formoso (2000) é feita uma análise conceitual das dificuldades encontradas na determinação dos modelos de formação de preços utilizando Regressão Linear, propondo a utilização de Inteligência Artificial (IA) e Análise Multicritério para a solução dos problemas encontrados com as técnicas já utilizadas.

Segundo Pelli Neto (2006), as Redes Neurais Artificiais tem sido aplicadas recentemente na área de Engenharia de Avaliações, sendo aceita como metodologia pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira (ABNT NBR) 14653-2 que trata da avaliação de imóveis urbanos.

Uma Rede Neural Artificial (RNA) é um modelo matemático que se assemelha com as estruturas neurais biológicas e que possui a capacidade computacional adquirida por meio de aprendizado e generalização (BRAGA & CARVALHO, 2000). O processo de aprendizado é interativo e através dele a RNA deve melhorar o seu desempenho de modo gradativo à medida que interage com o meio externo (REZENDE, 2003).

Para Pelli Neto (2006), a generalização surge devido à capacidade de fornecer respostas consistentes para dados que não foram apresentados durante a etapa de treinamento. O processamento da informação em RNAs é realizado por neurônios artificiais, onde o armazenamento e o processamento da informação são realizados de maneira paralela e distribuídos por elementos processadores relativamente simples (REZENDE, 2003). Pelli Neto (2006) ressalta que as aplicações de Redes Neurais Artificiais em avaliações de imóveis apresentam boas perspectivas e os resultados obtidos até o momento indicam que essa técnica é uma das melhores ferramentas computacionais para áreas onde os dados não podem ser representados unicamente por modelos lineares.

Neste trabalho, foi utilizado o *framework* Joone (Java Object Neural Engine) para os testes e demais operações que se referem às Redes Neurais Artificiais. A opção por este *framework* se deve ao bom desempenho do mesmo em trabalhos já realizados, conforme citam os autores: Dantas, Lingerfelt e Diniz (2006); Mafra *et al* (2008); Pinheiro Neto e Vieira (2005), entre outros.

O *framework* Joone tem como objetivo criar, treinar e testar Redes Neurais Artificiais. Suas aplicações, segundo Marrone (2007), podem ser criadas em máquinas locais, treinadas em um ambiente modular e tem como base, componentes acopláveis, que permitem a construção de novos algoritmos de aprendizado e arquitetura de redes neurais. A aplicação Joone é construída a partir de seus componentes, com módulos anexáveis, reusáveis e persistentes. Sendo assim, Marrone (2007), afirma que é possível construir aplicações combinando estes componentes com editores gráficos e controlando a lógica de *scripts*. O Joone pode ser utilizado na construção de sistemas personalizáveis, adotado de maneira embutida para ampliar as funções de uma aplicação já existente, ou usado na construção de aplicações móveis.

O método TODIM, conforme Rangel e Gomes (2007) é capaz de ordenar as alternativas de acordo com as preferências dos decisores, sendo que, para que isso ocorra é necessário incorporar a Teoria dos Prospectos que considera, segundo Kahneman e Tversky (1979, apud RANGEL & GOMES, 2007), o nível de aversão ao risco durante o processo decisório. Quando surge a necessidade de tomar-se uma decisão é porque existe mais de uma alternativa para a solução do problema em questão. Ainda que haja apenas uma ação a ser tomada como solução, é preciso analisar se a decisão será tomada ou não (GOMES, GOMES & ALMEIDA, 2006). O processo de tomada de decisão, segundo Gomes, Gomes e Almeida (2006), é como uma eleição por meio de um decisor, ou de um grupo de decisores, para escolher a melhor alternativa possível, existindo dessa forma um problema analítico. O Apoio Multicritério à Decisão é utilizado quando é necessário realizar seleção, classificação, ordenação ou descrição das possíveis alternativas de solução de um determinado problema de decisão com critérios qualitativos e quantitativos (RANGEL & GOMES, 2007). Há diversos métodos analíticos que são utilizados na prática sendo escolhido aquele que melhor se adapta ao problema estudado. Quando o problema é ordenar alternativas, ou seja, problemas do tipo **P_γ** (no caso deste trabalho, é ordenar as melhores alternativas dos imóveis), Rangel e Gomes (2007) sugerem a utilização do método Tomada de Decisão Iterativa e Multicritério (TODIM). Esse método possui uma característica relevante que é modelar os padrões de preferência dos decisores na presença de risco fundamentada na Teoria dos Prospectos.

A Teoria dos Prospectos, segundo Rangel e Gomes (2007), foi desenvolvida por dois psicólogos israelenses, Kahneman e Tversky (1979), que observaram o comportamento do ser humano nas tomadas de decisões que envolviam riscos. O resultado da análise realizada foi que, para os casos em que existem ganhos envolvidos, o ser humano tende a ser mais conservador, isto é, preferem ganhar menos a correr o risco maior de ganhar mais. No entanto, quando há perda, o ser humano prefere correr o risco de ter perdas maiores, nos casos onde existe a possibilidade não ter perdas, a admitir ter perdas menores (RANGEL & GOMES, 2007).

O método TODIM, segundo Gomes, Araya e Carignano (2004), tem como objetivo: construir um instrumento acessível aos profissionais que não possuem uma formação básica sobre os métodos de Apoio Multicritério à Decisão; ter uma fundamentação psicológica que leve em consideração o comportamento dos agentes de decisão em relação aos riscos; conseguir uma pré-ordem completa que servirá como uma recomendação; reunir tanto critérios quantitativos quanto qualitativos; proporcionar o trabalho com famílias de critérios estruturados conforme uma hierarquia; permitir uma representação transparente das preferências; permitir que a partir de uma família de critérios qualquer seja possível chegar a uma família de critérios coerente; tratar explicitamente a interdependência entre critérios; tratar explicitamente a interdependência entre alternativas potenciais; permitir a adequação, quando for necessária, a um problema que envolva múltiplos agentes de decisão; permitir praticar o juízo de valor em escalas cardinais, ordinais e verbais; e permitir utilizar uma base de dados contenha imprecisões.

O resultado da aplicação do método TODIM foi utilizado como uma das entradas da Rede Neural Artificial. Salientando que, a avaliação de imóveis consiste na determinação do valor de mercado de um determinado imóvel, ou seja, o preço mais provável que este imóvel atingiria em uma dada transação, de acordo com suas características e condições do mercado naquele momento (MICHAEL, 2004). Ainda que as estimativas de valor sejam consideradas importantes, e até mesmo decisivas para diversos tipos de utilizações, as técnicas que são utilizadas atualmente apresentam algumas limitações que implicam em resultados cuja precisão é comprometida forçando, desta maneira, um aperfeiçoamento dessas técnicas.

Sendo assim, foi desenvolvido o protótipo de uma ferramenta utilizando Redes Neurais Artificiais juntamente com o método TODIM para área imobiliária, como uma nova metodologia de avaliação na determinação do valor de aluguel de imóveis residenciais. A escolha por estas técnicas foi atribuída aos bons resultados obtidos pela aplicação das mesmas em trabalhos similares de avaliação, bem como, as características dessas técnicas se mostram adequadas para o problema estudado.

2. TRABALHOS CORRELATOS

De acordo com a pesquisa realizada verificou-se que a área do mercado imobiliário e as metodologias aplicadas para avaliação de imóveis são bastante exploradas no meio acadêmico, sendo tema de trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses. Em função da complexidade do tema, este trabalho limitou-se a avaliação de apartamentos residenciais e na determinação do valor de aluguel. Essa limitação de escopo tornou-se necessária, pois as variáveis que estão envolvidas na determinação do valor de um apartamento residencial são diferentes das variáveis de um imóvel comercial, de uma casa, assim como, a avaliação de terrenos e galpões. Nestas condições, o modelo para determinação do valor de aluguel deste trabalho foi desenvolvido para atender as características de um apartamento residencial única

e exclusivamente. Há diversas pesquisas na área que estão utilizando Redes Neurais Artificiais para avaliação de imóveis, independentemente do tipo de avaliação.

Pelli Neto (2004) afirma que a modelagem de sistemas reais que utilizam os mecanismos de inferência apresenta grandes avanços na área da engenharia, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão, visando não perder o foco na confiabilidade e qualidade dos serviços prestados buscando maior produtividade. Como proposta de nova solução à Engenharia de Avaliações, limitada pelos Estimadores de Mínimos Quadrados, ele propôs a utilização de Redes *Neuro-Fuzzy* e Redes Neurais Artificiais no processo de avaliação de imóveis urbanos. Neste trabalho foram desenvolvidas três metodologias para a estimação do valor de mercado de imóveis através da utilização de Redes *Neuro-Fuzzy* e Redes Neurais Artificiais, e também, houve uma comparação com os resultados dos Estimadores dos Mínimos (PELLI NETO, 2004). A conclusão de Pelli Neto (2004) relacionada à solução proposta é que os valores estimados pela RNA multicamadas foram os que ficaram mais próximos dos valores de mercado, apesar da necessidade de amostras com elementos suficientes do mercado imobiliário para validação e treinamento, o uso de sistemas híbridos permite a estimação de valores de imóveis urbanos com uma precisão e confiabilidade melhor.

Para realizar a comparação entre as Redes Neurais Artificiais e a Regressão linear múltipla na estimação de valores venais de imóveis urbanos, Baptistella (2005) usou os dados do cadastro imobiliário da prefeitura da cidade de Guarapuava, interior do estado do Paraná. Ela desenvolveu um modelo inicial com treze variáveis. Em seguida foi aplicada à técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) (KITANI & THOMAZ, 2006) e as variáveis foram reduzidas a nove. As Redes Neurais Artificiais desenvolvidas foram do tipo *feed-forward*, com o algoritmo de treinamento *Levenberg Marquardt*, com uma camada oculta. O resultado da aplicação da RNA foi comparado com os resultados obtidos através da Regressão Linear Múltipla, e ambas as técnicas foram eficientes para a predição dos valores venais. No entanto, o desempenho das Redes Neurais Artificiais foi superior ao da Regressão Linear Múltipla (BAPTISTELLA, 2005).

Outra técnica que está sendo utilizada com frequência é de Métodos Estatísticos Multivariados. No trabalho de Alves (2005), ele apresenta os conceitos de Estatística Multivariada e um programa computacional de Análise Multivariada de Imóveis (AMI), em Matlab (*Matrix Laboratory*). O objetivo desse programa é avaliar imóveis urbanos, levando em consideração que cada imóvel será um vetor de características aleatórias, e construir um modelo estatístico para estimar o valor de um novo imóvel automaticamente, evitando dessa forma a subjetividade de avaliadores. No programa é possível realizar três formas de regressão, são elas: análise de Agrupamento e Componentes Principais aplicada às características dos imóveis; análise fatorial que explica as correlações entre as variáveis originais; e regressão Múltipla simples com todas as variáveis sem tratamento. O programa desenvolvido foi aplicado a um conjunto de dados oriundos do trabalho de Bráulio (2004), com 44 apartamentos, 51 casas e 24 terrenos da cidade de Campo Mourão, interior do estado do Paraná. Segundo Alves (2005), o modelo de cada classe dos três tipos de imóveis avaliados apresentou um bom ajuste aos dados e uma capacidade preditiva boa que atende a todas as suposições teóricas de regressão linear múltipla.

Na mesma linha de pesquisa de Alves (2005), Motta (2007) também realizou um trabalho com Análise Multivariada, porém, ele inseriu as Redes Neurais Artificiais na solução. Motta (2007) utilizou os mesmo dados apresentados no trabalho de Alves (2005) e Bráulio (2005). Neste trabalho, os dados foram padronizados e separados em grupos através

de um Mapa Auto-organizável de Kohonen, aplicando a Análise de Componentes Principais, com 98% de explicação da variabilidade dos dados, visando evitar a multicolinearidade. Depois, foi aplicado em cada grupo uma RNA de Múltiplas camadas, obtendo-se os preços venais dos imóveis (MOTTA, 2007). Ao comparar os resultados obtidos com os esperados verificou-se que, segundo Motta (2007), as Redes Neurais Artificiais apresentaram um desempenho superior na predição de preços dos imóveis, atingindo 299,17% de superioridade na predição de preços dos apartamentos estimados em relação a previsão de Alves (2005), sendo portanto considerado o melhor resultado, e 14,39% superior na predição dos preços em relação à Bráulio (2005), sendo este o pior resultado da comparação dos apartamentos.

A técnica de análise multicritério vem sendo utilizada com frequência também, uma vez que, o cenário do mercado imobiliário possui várias características que se enquadram perfeitamente com a metodologia dessa técnica. A seguir são apresentados alguns trabalhos que propuseram a análise multicritério como metodologia de avaliação de imóveis. Segundo Rangel e Gomes (2007), as avaliações de alternativas que contêm múltiplos critérios, qualitativos e quantitativos, são aplicadas em diversas áreas, dentre elas a avaliação de imóveis. No trabalho destes autores, eles realizaram um estudo voltado às imobiliárias da cidade de Volta Redonda, interior do estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de auxiliar na definição do valor de referência de aluguel de imóveis residenciais utilizando o método TODIM (RANGEL & GOMES, 2007). Para obter os valores de referência mais próximos possível dos valores de mercado, alguns imóveis que haviam sido alugados recentemente foram inseridos na pesquisa, obtendo-se dessa forma o valor de aluguel. A técnica foi utilizada para ordenar os imóveis com características diferentes, em função dos critérios empregados na análise em função da importância relativa para os decisores, e obteve-se a ordenação de todos os imóveis, chegando a faixas de valores de aluguel dos imóveis estudados (RANGEL & GOMES, 2007).

A metodologia Multicritério de Apoio à Decisão também é utilizada no momento da compra de um imóvel urbano, conforme Cavalcanti (2007). A solução proposta de Cavalcanti (2007) foi utilizar o Sistema de Apoio a Decisão (SAD) baseada no método multicritério Smarts, para minimizar o problema de escolha de um imóvel. O sistema proposto foi desenvolvido com duas finalidades: servir como ferramenta de auxílio para o usuário escolher o imóvel que deseja comprar e também, servir como base de dados para análises estatísticas das preferências dos compradores de imóveis (CAVALCANTI, 2007). Os resultados dessa pesquisa segundo a autora foram relevantes e considerados positivos com relação ao desempenho das técnicas, concluindo que o sistema é eficaz para o problema de tomada de decisão.

De acordo com exposto anteriormente, percebe-se que as pesquisas nesta área estão voltadas fortemente na utilização de Redes Neurais Artificiais e também, nos bons resultados apresentados com Análise Multicritério.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O protótipo desenvolvido utiliza as técnicas de apoio multicritério à decisão, o método híbrido TODIM, e de inteligência artificial, Redes Neurais Artificiais, para determinação do valor de aluguel de apartamentos residenciais.

Inicialmente é realizada uma carga no sistema, isto é, para uma determinada base de dados é aplicado o método TODIM nas alternativas, em seguida, têm-se as alternativas ordenadas e um valor médio de aluguel para cada alternativa. Após a aplicação do TODIM, inicia-se o treinamento da RNA com as características das alternativas juntamente com o valor médio estimado pelo TODIM. Salientando que, nos casos em que foram inseridos e/ou

excluídos imóveis da base, é realizada uma nova carga, ou seja, aplica-se novamente o TODIM e o treinamento da RNA. A Figura 1 apresenta o relacionamento entre as técnicas na etapa de treinamento do sistema.

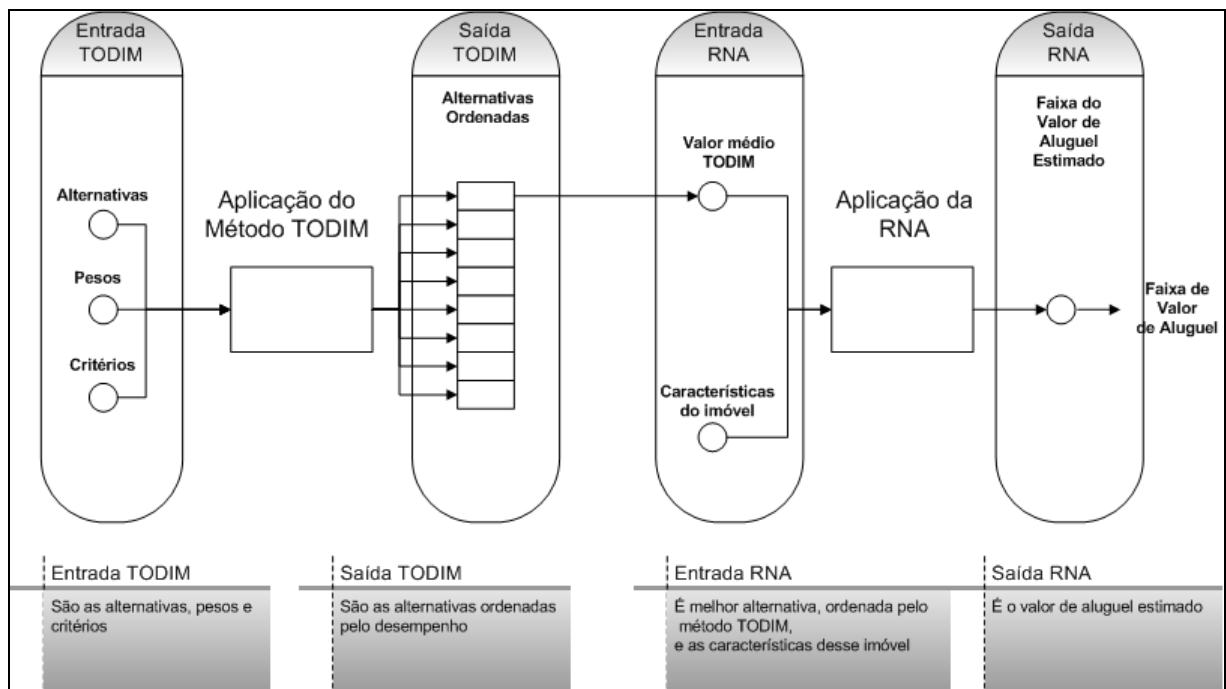


Figura 1. Etapa de Treinamento

Na entrada do TODIM tem-se as alternativas de imóveis, os pesos que serão atribuídos aos critérios e os critérios que serão avaliados. Em seguida, aplica-se o TODIM, que realiza uma comparação par-a-par entre as variáveis para todos os critérios, gerando na saída às alternativas ordenadas de acordo com o melhor desempenho. A saída da aplicação do método TODIM é utilizada como entrada da RNA.

A Rede Neural utilizada foi do tipo MLP, empregando o algoritmo de treinamento *backpropagation* em função de sua implementação ser considerada menos complexa que o *Levenberg-Marquardt*, algoritmo que seria utilizado inicialmente. Na saída da RNA tem-se uma faixa de valores pela qual o apartamento pode ser alugado.

Depois de realizada a etapa de treinamento da rede é possível realizar a etapa de avaliação que funciona da seguinte maneira: o usuário entra com as características do imóvel e clica no botão “Avaliar”, nesse momento a RNA determinar qual a faixa de aluguel para o imóvel através do valor médio estimado pelo TODIM e das características do imóvel que são os dados de entrada da RNA. A Figura 2 apresenta como a etapa da avaliação do sistema de maneira bastante simplificada, ilustrando apenas os dados que estão sendo utilizados nesse momento são as características do imóvel que está sendo avaliado e o valor médio estimado pelo TODIM na etapa de treinamento.

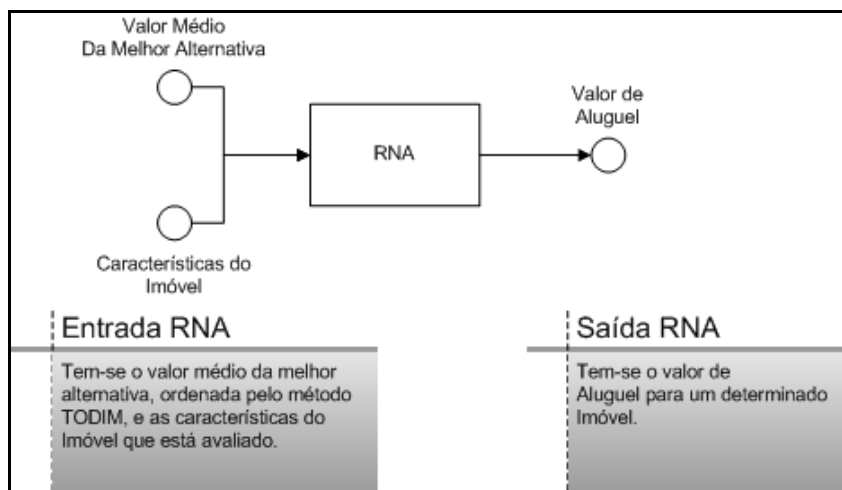


Figura 2: Etapa de avaliação.

3.1. IMPLEMENTAÇÃO DO TODIM

Para implementar o TODIM foi necessário definir quais os critérios que fariam parte da avaliação e os pesos deles. A seguir são apresentados os critérios, que foram definidos pelos especialistas do projeto.

C1 – Valor de Condomínio: é um critério quantitativo contínuo que representa o valor de condomínio em reais (R\$).

C2 – Valor de IPTU: é um critério quantitativo contínuo que representa o valor do IPTU em reais (R\$).

C3 – Valor Venal: é um critério quantitativo contínuo que representa o valor venal do imóvel. Sendo a unidade de medida expressa em real (R\$).

C4 – Número de Quartos: é um critério quantitativo discreto que representa o número de quartos que o imóvel possui.

C5 – Número de Suítes: é um critério quantitativo discreto que representa o número de suítes que o imóvel possui.

C6 – Número de Banheiros: é um critério quantitativo discreto que representa o número de banheiros que o imóvel possui.

C7 – Número do Andar: é um critério quantitativo que representa qual andar o imóvel está localizado.

C8 – Número de Garagens: é um critério quantitativo que representa o número de garagens que o imóvel possui.

C9 – Área Privativa: é um critério quantitativo contínuo que representa o tamanho da área privativa do imóvel. A unidade de medida é m².

C10 – Mobiliado: é um critério qualitativo que representa se o imóvel é ou não mobiliado.

C11 – Localização: é um dos mais importantes critérios de avaliação de um imóvel para aluguel. É um critério qualitativo, sendo utilizado para definir se uma determinada localização é boa ou não.

C12 – Tipo de Piso: é um critério qualitativo nominal que determina o tipo de piso.

Após a definição dos critérios considerados mais importantes na avaliação de um imóvel foram definidos os seus pesos pelo **especialista**. Logo em seguida, esses pesos foram normalizados, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Peso dos critérios

Critério	Descrição	Peso	Peso Normalizado
C1	Valor Condomínio	3	0,086
C2	Valor IPTU	3	0,086
C3	Valor Venal	4	0,114
C4	Número de Quartos	3	0,086
C5	Número de Suítes	2	0,057
C6	Número de Banheiros	2	0,057
C7	Número do Andar	1	0,028
C8	Número de Garagem	4	0,114
C9	Área Privativa	4	0,114
C10	Mobiliado	1	0,028
C11	Localização	5	0,143
C12	Piso	3	0,086
Total		35	1,00

O critério definido como o critério de referência foi o critério de maior peso, o C11 (Localização). A construção dos vetores de pesos dos critérios ficou da seguinte forma:

Vetor de Pesos = {C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C10, C11, C12 }

Vetor de Pesos = {3, 3, 4, 3, 2, 2, 1, 4, 4, 1, 5, 3}

Esta sequência foi obedecida e inserida no código fonte do protótipo. Para o critério localização foi necessário atribuir um peso para cada bairro de todas as cidades existentes na base de dados. Este peso foi atribuído de acordo com determinados critérios que estavam sendo analisados por bairro para determinar o seu valor. Para cada bairro foi analisado se existia saneamento, atendimento médico, supermercado, farmácia, transporte coletivo, área de risco, banco, escola, posto policial e a distância do bairro em relação ao centro da sua cidade.

O desenvolvimento do TODIM foi realizado da seguinte maneira: primeiramente foi realizada uma leitura no banco de dados para criação da matriz de desempenho das alternativas em memória. Essa leitura compreende em buscar os dados referentes aos critérios apresentados na Tabela 1, sendo então criada uma matriz de ordem $n \times m$, onde n são as 852 alternativas de imóveis da base de dados do projeto e m são os 12 critérios definidos para avaliação (852×12). Em seguida essa matriz foi normalizada gerando a matriz de desejabilidade parcial. O próximo passo foi realizar as comparações de todas as alternativas para cada critério entre si, gerando dessa forma 12 matrizes de ordem 852×852 , denominadas de matrizes de dominâncias parciais. Onde para o critério 1 foram comparadas todas as alternativas entre si, e assim sucessivamente para todos os demais critérios. Logo após, foi

calculada a matriz de dominância final através do somatório das matrizes de dominâncias parciais. Depois, foi somada cada linha dessa matriz para aplicação da fórmula apresentada na Equação 1 para obter o valor global de cada alternativa.

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^n \delta(i, j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(i, j)}{\max \sum_{j=1}^n \delta(i, j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(i, j)} \quad \text{Equação 1}$$

Em seguida, foi gravado no banco de dados o valor corresponde à posição ordinal da alternativa calculada pelo TODIM, bem como, foi calculado o valor médio de aluguel para cada alternativa. Sendo adotado o seguinte padrão: para a alternativa que estava na primeira posição da lista de ordenação o valor médio seria o valor de aluguel real da alternativa da segunda posição; para a alternativa da última posição, assumiu-se o valor de aluguel da penúltima posição; e para as demais posições foi realizada a subtração do valor de aluguel da posição posterior pela posição anterior e o resultado dividido por 2. O próximo passo foi analisar os dados para iniciar a etapa de treinamento da RNA.

3.2. IMPLEMENTAÇÃO DA RNA

Nesta seção apresenta-se a sequência de passos realizados na etapa de treinamento da RNA que foi iniciada pelo tratamento dos dados para determinar quais seriam os dados de treinamento, teste e validação. Em seguida os dados foram separados em três arquivos: treinamento, teste e validação. Logo após, iniciou-se os testes com a RNA para definir qual a topologia de rede a ser utilizada. Por fim, a RNA foi implementada em JAVA utilizando os recursos do *framework* JOONE. Para iniciar o processo de treinamento da RNA foi necessário analisar a base de dados disponível para escolher os dados que seriam utilizados nesta etapa, bem como, a escolher os dados de teste e validação da rede. Para tal, realizou-se uma análise descritiva dos dados, em toda a base, ou seja, nos 852 imóveis. Foram identificados os tipos de variáveis e logo em seguida realizada uma distribuição de frequência, gerando gráficos com os valores percentuais do resultado dessa análise. A Figura 3 apresenta a distribuição de frequência da variável quarto. Todas as variáveis passaram por esta análise.

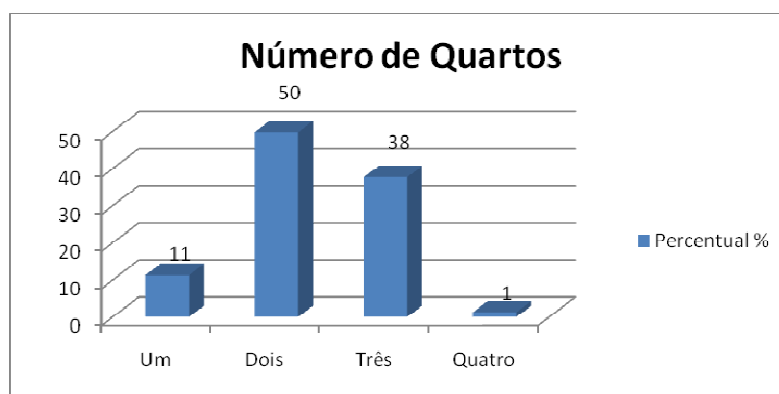


Figura 3: Número de Quartos.

A Tabela 2, por exemplo, apresenta a distribuição de frequência da variável suíte.

Tabela 2. Distribuição de frequência da variável suíte

Valor	Frequência (Fi)	Frequência Relativa	Frequência Acumulada	Freq Relativa Acumulada
0	413	0,484	413	0,484
1	426	0,500	839	0,984
2	12	0,014	851	0,998
3	1	0,001	852	1,000
Total	852	1		

Para determinar a quantidade de faixas de valores da variável Aluguel, existentes na base de dados, foi necessário calcular a amplitude total do valor de aluguel, o número de classes e o valor da faixa de aluguel, segundo MORETTIN (2000). O valor da amplitude calculado pela Equação 2 é de R\$ 2270,39, onde: Valor máximo = R\$ 2500, 39 e Valor mínimo = R\$ 230,00.

$$AT = Valormáx - Valor\ min \quad \text{Equação 2}$$

O número de classes calculado pela Equação 3 é 29,18 sendo arredondado para 30, onde: n é o número de elementos da amostra do banco de dados, n=852.

$$k = \sqrt{n} \quad \text{Equação 3}$$

A altura da faixa calculada pela Equação 4 é de R\$ 75,68.

$$h = \frac{AT}{k} \quad \text{Equação 4}$$

Depois de calculadas a faixa de valores de aluguel, que serão as saídas esperadas da RNA, iniciou-se o processo de definição da topologia da RNA separando os dados de treinamento, teste e validação em arquivos separados. O arquivo de treinamento corresponde a 70,43% da base (600 registros), enquanto que os arquivos de teste e validação correspondem respectivamente 23,47% (200 registros) e 6,10% (52 registros), escolhidos de forma aleatória na base. A saída da rede foi codificada em 5 bits, em função de ter-se 30 faixas de valores (cada faixa de R\$ 75,68) onde 2^5 é capaz de representar as 30 faixas de valores.

Depois de realizada a etapa de análise dos dados, foram criados os arquivos iniciais de treinamento, teste e validação, a partir da base de dados real, que foi exportada do banco de dados do projeto através da ferramenta *pqAdmin III*. A primeira tentativa de treinamento da rede foi através dos dados de entrada normalizados. Essa normalização foi dada da seguinte forma, apresentada na Equação 5.

$$Valor_Normalizado = \frac{valor_a_ser_normalizado}{\sum var} \quad \text{Equação 5}$$

Onde $\sum var$ é o somatório da variável que está sendo normalizada, ou seja, para a variável valor de condomínio de uma dada alternativa, por exemplo, ele era dividido pelo somatório de todos os valores de condomínio da base, e assim, a normalização foi realizada para todas as variáveis da base. O arquivo normalizado continha os valores normalizados das variáveis utilizadas como entrada da RNA. Foram escolhidos 70,43% dessa base para o treinamento da rede, de modo aleatório, tomando o cuidado de escolher no mínimo 50% de exemplos de cada faixa de valor de aluguel esperado como saída da RNA.

No entanto, ao realizar os testes no JOONE, *framework* utilizado para o treinamento da rede, a mesma não convergia independentemente da topologia testada, a saída da rede era sempre a mesma para todas as entradas. Houve mais uma tentativa em utilizar os dados normalizados na ferramenta JAVANNS. Para isso, foi preciso adaptar o arquivo no formato exigido da ferramenta. No entanto, não houve sucesso, a rede não apresentava a saída desejada após o treinamento. O próximo passo foi codificar os dados de entrada para analisar o comportamento da rede. Para os valores contínuos, foram determinadas as faixas e convertidos em binário de forma análoga a realizada com o valor de aluguel. Para os valores discretos realizou-se a conversão para binário de forma direta. Após todos os dados codificados gerou-se um novo arquivo de dados, que foi novamente separado em arquivo de treinamento, teste e validação. Novos testes foram realizados, porém, os resultados ainda não estavam de acordo com o esperado, a taxa de erro era alta e a saída não era conforme a esperada. Sendo assim, foi realizada uma nova codificação para os dados de entrada e saída da rede de uma forma empírica ampliando a largura das faixas. Depois de determinar as novas larguras de faixas das variáveis contínuas, foi novamente codificada toda a base de dados para a criação dos novos arquivos de treinamento, teste e validação, agora com uma saída codificada para 4 bits, em função de ter-se 16 faixas, sendo representadas por 2^4 . Com esta codificação foi possível realizar as etapas de treinamento e testes da RNA.

A rede neural artificial criada neste trabalho foi de múltiplas camadas, com conexões do tipo *feedforward* e o algoritmo de treinamento foi o *backpropagation* com supervisão. Para determinar a sua topologia final, diversas configurações foram testadas no *framework* JOONE. Inicialmente os testes foram realizados com o arquivo de dados de entrada normalizados o que impedia a convergência da rede, apresentando a mesma saída para todos os padrões de entrada que foram apresentados à rede durante a etapa de treinamento. Logo em seguida, o arquivo de dados foi codificado, para uma saída binária correspondente a 5 neurônios. Na bateria de testes realizada foram alterados os parâmetros de taxa de aprendizado, *momentum*, número de épocas, bem como, o número de camadas ocultas e o número de neurônios dessas camadas. No entanto, a saída obtida não estava de acordo com a esperada e o erro foi considerado elevado, superior a 50%. Após a realização dos testes, verificou-se que a rede após 3000 épocas não alterava o RMSE (raiz quadrada do erro quadrático) e que as variações das taxas de aprendizado e momentum para valores diferentes dos sugeridos pela documentação do JOONE não traziam resultados relevantes para o problema. A rede não conseguiu aprender conforme o esperado utilizando o arquivo de entrada de dados codificados para uma saída com 5 neurônios. Para analisar a saída obtida foi desenvolvido um programa em JAVA que lia o arquivo de saída gerado pelo JOONE e codificava cada linha desse arquivo escrevendo o resultado em um novo arquivo de texto. Foi definido empiricamente que os valores inferiores a 0.54 seria corresponderia a 0 na codificação, e os valores superiores a 0.54 seria igual a 1. Depois de ter-se a saída obtida codificada era realizada uma comparação com a saída desejada no Excel, verificou-se se a rede havia aprendido ou não. Essa comparação era dada da seguinte forma: se a célula correspondente a saída obtida fosse igual à célula correspondente a saída desejada o resultado do teste recebia 0, caso contrário, recebia 1. Essa operação era realizada para todos os registros do arquivo, sendo que, no final era realizado o somatório da coluna do resultado do teste para verificar o percentual de erro no aprendizado da rede. Depois de realizada essa análise no arquivo codificado com 5 neurônios para a faixa de aluguel, ainda assim, o erro foi superior à 50% implicando que fossem realizados novos testes com a RNA. Sendo assim, foram criados novos arquivos de treinamento, teste e validação codificados para uma saída com 4 neurônios. A nova bateria de testes realizadas no JOONE utilizou os valores de 0.8 e 0.3 para as taxas de aprendizado e momentum respectivamente, bem como, o número de 3000 épocas e a função de ativação sigmóide. Os valores determinados para a taxa de aprendizado e

momentum foram retirados do manual do JOONE que sugere estes valores. O número de épocas foi determinado em função de que a maior variação da taxa de erro ocorria entre os 3000 primeiros ciclos do treinamento, após este valor, não havia variações significativas. Quanto à função de ativação, foi escolhida a sigmóide devido às características do problema.

Após a RNA ter sido criada no JOONE, a mesma foi exportada pelo *framework* no formato “*.snet*” e inserida na codificação do protótipo que foi realizada em duas etapas. Primeiramente, implementou-se as operações de CRUD do imóvel e a parte inicial da avaliação que foi o TODIM. Logo em seguida, a rede foi implementada no protótipo reutilizando a rede exportada. Para isso, foi necessário adicionar no projeto a biblioteca do JOONE. Em função do treinamento da rede ter sido realizado com os dados codificados é necessário que os dados de entrada do imóvel que está sendo avaliado também sejam codificados. Sendo assim, o método que utiliza um padrão de entrada, disponível na documentação do JOONE para implementação, foi adaptado para a metodologia de avaliação que foi desenvolvida neste protótipo. O método de avaliação implementado, funciona da seguinte forma: os dados do imóvel que está sendo avaliado são codificados e em inseridos em uma matriz, sendo passada como parâmetro juntamente com a caminho da rede que foi exportada pelo editor do JOONE. Em seguida, restaura-se essa rede, defini-se o número de épocas, no caso da avaliação é um (pois a rede já foi treinada), e defini-se o parâmetro de treinamento como falso. Logo após, é codificado o padrão de saída da rede que foi executada e o retorno deste método é uma faixa de valor codificada em 4 bits que determina qual a faixa de aluguel que aquele imóvel pode ser negociado no mercado.

4. CONCLUSÕES

Os primeiros resultados obtidos com o desenvolvimento do protótipo foram àqueles alcançados após a implementação do TODIM. Depois de aplicar a análise multicritério na base de dados do sistema, o método TODIM calculava um valor médio de aluguel para cada imóvel de acordo com as suas características e posição ordinal. O TODIM foi aplicado a uma base de dados com 852 imóveis, onde o valor médio da diferença do valor de aluguel estimado pelo TODIM e o valor de aluguel real foi de R\$ 158, 10 com um desvio padrão de R\$ 151,93. A Figura 4 apresenta o gráfico gerado com os valores reais de aluguel comparados com os valores médios estimados pelo TODIM.

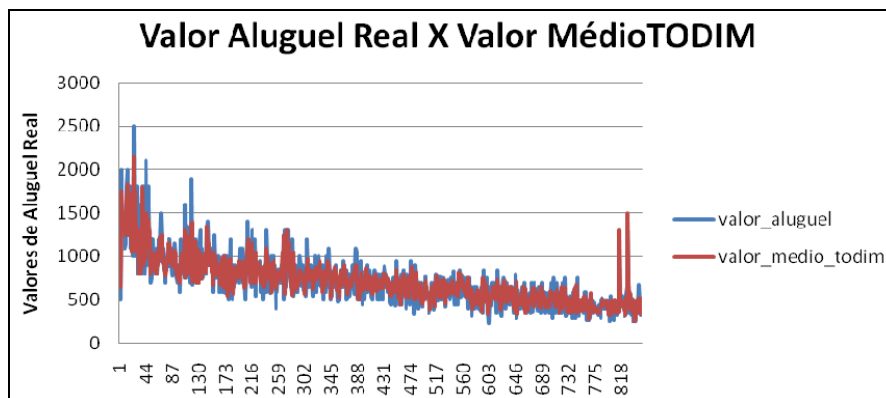


Figura 4: Número de Quartos.

Após a implementação da RNA foram realizadas as avaliações de diversos imóveis no protótipo para analisar o resultado dessas avaliações (Tabela 3).

Tabela 3. Imóveis avaliados

Venial	Área	IPTU	Condomínio	Quartos	Suíte	Banheiro	Andar	Garagem	Mobiliado	Localização	Piso
115000.00	76.470	33.41	162.00	2	1	2	3	1	0	3	5
140000.00	91.140	43.92	180.00	3	1	2	1	1	0	3	5
125000.00	165.000	134.16	400.00	3	1	2	4	2	0	3	5
75000.00	76.470	34.70	160.00	2	1	2	2	1	1	3	5
110000.00	72.490	36.37	110.00	2	1	2	4	1	1	3	5
90000.00	91.140	43.70	190.28	3	1	2	1	1	0	3	5
80000.00	80.000	61.25	200.00	2	1	2	5	2	1	3	5
110000.00	70.000	34.70	162.00	2	1	2	8	1	0	3	5
105000.00	76.470	34.81	151.00	2	1	2	4	1	0	3	5
120000.00	91.140	43.70	150.00	3	1	2	2	1	0	3	5
190000.00	80.000	73.46	340.00	3	1	3	5	2	1	5	4
120000.00	92.529	66.36	215.42	3	1	2	3	1	1	5	5
90000.00	77.850	47.05	203.14	3	1	2	1	1	0	5	4
60000.00	41.250	36.49	180.00	1	0	1	1	0	0	5	5
90000.00	51.710	47.28	261.00	2	0	1	3	1	1	5	5
235000.00	139.860	165.66	495.00	3	1	3	7	1	0	5	5
100000.00	77.850	47.05	210.00	3	1	2	1	1	0	5	5
285000.00	137.190	141.26	160.70	3	1	4	10	4	0	5	5
280000.00	200.000	282.33	730.00	4	2	3	2	2	0	5	1
70000.00	69.010	61.50	145.00	2	0	1	1	1	1	5	5
140000.00	81.620	38.25	220.00	3	1	2	3	1	1	5	5
200000.00	171.240	165.66	487.21	3	1	2	2	1	0	5	5
115000.00	79.540	44.61	276.00	2	0	2	10	1	0	5	4
60000.00	43.300	41.22	213.22	1	0	1	3	1	0	5	5
130000.00	85.230	38.25	220.00	3	1	2	2	1	0	5	5
100000.00	77.850	47.05	180.00	3	1	2	2	1	0	5	5
65000.00	41.770	37.10	193.00	1	0	1	4	0	1	5	4
200000.00	73.540	0.00	315.00	2	1	2	4	1	0	5	5
266000.00	122.370	89.77	324.38	4	1	2	8	2	0	5	3

REFERÊNCIAS

ALVES, V. Avaliação de imóveis urbanos baseada em métodos estatísticos multivalorados. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, Campo Mourão, 2005.

BAPTISTELLA, M. O uso de redes neurais e regressão linear múltipla na engenharia de avaliações: determinação dos valores venais de imóveis urbanos. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, Curitiba, 2005.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F., LUDERMIR, T. B. Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações. Rio de Janeiro : RJ - Livros Técnicos e Científicos, 2000.

CAVALCANTI, R. C. Sistema Multicritério para apoiar a compra de imóveis urbanos multifamiliares do mercado imobiliário recifense baseado no método smart. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFPE, Recife, 2007.

DANTAS, B. T; LINGERFELT, L.; DINIZ, M., Dirigibilidade de mini-robôs com redes neurais artificiais: uma experiência acadêmica, 2006. Disponível em <<http://www.frb.br/ciente/2006.1/BCC/CC.TOURINHO2.F2.pdf>>. Acessado em 05 de fevereiro de 2009.

DANTAS, R. A. Engenharia de avaliações: uma introdução à metodologia científica. São Paulo: Pini, 1998.

GOMES, L. F. A. M; ARAYA, M. C. G; CARIGNO, C. Tomada de decisões em cenários complexos. São Paulo, 2004.

GOMES, L. F. A. M; GOMES, C. F. S; ALMEIDA, A. T. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. 2. ED. São Paulo: Atlas, 2006.

GONZÁLEZ, M. A. S, Avaliação de Imóveis e Metodologias de Perícias. São Leopoldo, 2008. Disponível em: < <http://www.exatec.unisinos.br/~gonzalez/aimp/AIMP-Avaliacaoes.ppt>>. Acessado em 05 de fevereiro de 2009.

GONZALEZ, M. A. S. Aplicação de descobrimento de conhecimento em bases de dados e inteligência artificial em avaliação de imóveis. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2002.

GONZÁLEZ, M. A.; FORMOSO, C. T., Análise Conceitual das dificuldades na Determinação de Modelos de Formação de Preços através de Análise de Regressão. Engenharia Civil UM (Braga), Guimarães, Portugal, v. 8, Págs. 65 – 75, 2000.

HIPÓLITO, E. C., Métodos e normas utilizados em diferentes países na avaliação de imóveis. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2007.

KAHNEMAN, D., A. TVERSKY. Prospecty theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, Págs 263 – 292. 1979.

MAFRA, P. M.; FRAGA, J. S.; MOLL, V.; SANTIN, A. O., POLVO-IIDS: Um sistema de detecção de Intrusão Inteligente baseado em Anomalias, 2008. Disponível em <http://sbseg2008.inf.ufrgs.br/proceedings/data/pdf/st02_02_artigo.pdf>. Acessado em 05 de fevereiro de 2009.

MARRONE, P., Java Object Oriented Neural Engine: The Complete Guide, 2007. Disponível em: <<http://ufpr.dl.sourceforge.net/sourceforge/joone/JooneCompleteGuide.pdf>>. Acessado em 05 de fevereiro de 2009.

MICHAEL, R., Avaliação em Massa de Imóveis com Uso de Inferência Estatística e Análise de Superfície de Tendência. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2004.

MORETTIN, L. G., Estatística Básica. Vol 2. São Paulo: Makron Books, 2000.

MOTTA, J. F. Um estudo de caso para a determinação do preço de venda de imóveis urbanos via redes neurais artificiais e métodos estatísticos multivariados. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, Curitiba, 2007.

PELLI NETO, A. Redes neurais artificiais aplicadas às avaliações em massa – estudo de caso para a cidade de Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, UFMG, Belo Horizonte, 2006.

PELLI NETO, A., Avaliação De Imóveis Urbanos Com Utilização De Sistemas Nebuloso (Redes Neuro-Fuzzy) E Redes Neurais Artificiais. XXI CONGRESSO PANAMERICANO DE VALUACIÓN COLOMBIA 2004 UPAV, 2004, CARTAGENA. Anais, 2004.

PINHEIRO NETO, H.; VIEIRA, S. R. T., Um mecanismo de recuperação de informação na web baseado em redes neurais, 2005. Disponível em <<http://www.frb.br/ciente/2005.2/BCC/CC.NETO&.F3.pdf>>. Acessado em 05 de fevereiro de 2009.

RANGEL, L. A.D.; GOMES, L. Z. A. M. Determinação do valor de referência do aluguel de imóveis residenciais, empregando o método TODIM. Revista PO, 2007. Disponível em <<http://www.sobrapo.org.br/sitesobrapo.htm>>. Acessado em 05 de fevereiro de 2009.

REZENDE, S. O. Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações. Barueri: Manole, 2003.