

REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS SOB DUPLA ÓTICA – MODELANDO A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (EDO-DEA) PARA APLICAÇÃO NAS AVALIAÇÕES DE IMÓVEIS URBANOS

Pelli Neto, Antônio^A Moraes, Gustavo Rodrigues^B

^AEng. Mecânico e Civil, CREA 6.021/D-DF, Caixa Econômica Federal – Entidade Conveniada
Belo Horizonte/MG – Fone/Fax: 3248-5200
antonio-pelli.neto@caixa.gov.br

^BMatemático, Pelli Sistemas Engenharia Ltda
Rua Eurita, 464 Sta. Tereza – Belo Horizonte/MG – Fone/Fax: 3466-1557
gustavo@pellisistemas.com.br

Resumo. *Os grandes avanços na área de computação e tecnologia tem colaborado com o desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão, afim de se alcançar uma maior produtividade sem perder o foco na confiabilidade e qualidade dos serviços prestados. Na área de Engenharia de Avaliações o uso de novas metodologias científicas e computacionais têm sido ainda restrita e um dos principais objetivos deste trabalho é mostrar a possibilidade do uso de técnicas híbridas, como redes neurais artificiais e análise envoltória de dados, aplicadas no processo de avaliação de imóveis urbanos. Neste trabalho, desenvolveu-se uma metodologia para a estimação do valor de mercado de imóveis através do uso de Redes Neurais Artificiais tendo como base o espaço de compra e venda delimitado pelo EDO-DEA. Será apresentado cada uma das metodologias, seleção dos dados, construção das duas técnicas e análise dos resultados. Finalmente as conclusões e as perspectivas futuras são apontadas.*

Palavras Chaves: Engenharia de avaliações, Redes neurais artificiais, Análise envoltória de dados.

1 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 e a análise envoltória de dados.

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 duas questões de grande importância e que têm sido discutidas no meio acadêmico, que são a autocorrelação espacial e o desconhecimento da forma funcional para o modelo a ser adotado. Em González (2000)^[12] 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 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 uma nova metodologia com a utilização de redes neurais artificiais conjuntamente com a análise envoltória de dados.

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizado o conjunto de dados apresentado no trabalho de Novaes, L.F.L., Paiva, S.A.^[3], mantendo as mesmas variáveis independentes (de entrada ou input's) e a variável dependente (de saída ou output's), de forma a que os resultados preliminares com o EDO-DEA já são conhecidos. O valor de mercado dos imóveis avaliados será estimado via redes neurais artificiais, com a técnica de poda (*pruning methods*), cuja idéia é iniciar com uma arquitetura de dimensão elevada e ir retirando unidades ou conexões até que se chegue a uma dimensão adequada^{[5],[6]}, modelada dentro da Análise da Envoltória de Dados.

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.

2 Análise Envoltória de Dados - EDO-DEA

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 Lyra Novaes, L.F.^[2] e 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, pode-se construir, assim, duas fronteiras eficientes: a do vendedor e a do comprador, conforme FIGURA 1:

- 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;

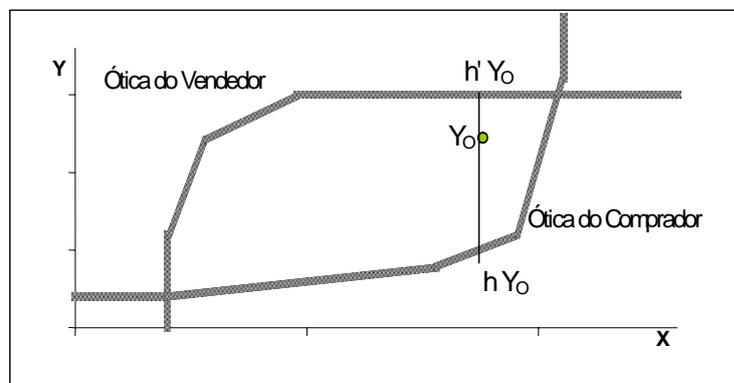


FIGURA 1 - Situação hipotética: $Y = \text{preço}$, $X = \text{área}$, com a definição das fronteiras eficientes para cada uma das duas óticas

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* ^[8]):

Problema do Envelope Dual (Ótica do Vendedor)

Maximizar h , tal que:

$$X_k \geq \lambda X$$

$$h Y_k \leq \lambda Y$$

$$\lambda \geq 0$$

$$h' = 1/h$$

$$\sum \lambda = 1$$

(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, L.F.L. ^[2]:

Problema do Envelope Dual (Ótica do Comprador)

Minimizar h , tal que:

$$\lambda X \geq X_k$$

$$h Y_k \geq \lambda Y$$

$$\lambda \geq 0 ,$$

$$\sum \lambda = 1$$

(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.

3 Redes Neurais Artificiais

Recentes avanços em neurofisiologia têm desvendado vários mecanismos sobre o fluxo e o processamento de informações que ocorrem no cérebro humano. Alguns destes mecanismos foram modelados matematicamente permitindo a elaboração de algoritmos computacionais que simulam, ainda que de modo simplificado, a mais básica das estruturas cerebrais: *o neurônio*.

A capacidade de implementar computacionalmente versões simplificadas de neurônios biológicos deu origem a uma sub-especialidade da inteligência artificial, conhecida como redes neurais. Existem várias definições para redes neurais, contudo será adotada uma forma conceitual mais ampla e aplicável a qualquer área da ciência.

“Redes neurais é o nome dado a um conjunto de métodos matemáticos e algoritmos computacionais especialmente projetados para simular o processamento de informações e aquisição de conhecimento do cérebro humano”.

Operacionalmente podemos considerar uma rede neural como uma “caixa de processamento” que pode ser treinada para que, a partir de um conjunto de dados de entrada (*inputs*), possa gerar uma ou mais saídas (*outputs*), conforme representado na FIGURA 2.

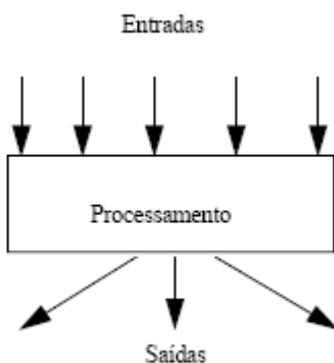


FIGURA 2 - Representação operacional de uma rede neural.

Por exemplo, pode-se treinar uma rede neural para que a partir dos insumos (*input*) do imóvel avaliando ela apresente como saída (*output*) o valor estimado do mesmo, ou ainda os *inputs* podem ser os mesmos insumos e os *outputs* valor de venda e de locação. Enfim, as aplicações são extremamente variadas e estão presentes em quase todas as áreas do conhecimento.

Uma rede neural artificial possui sempre uma *camada de entrada* e uma *camada de saída*. Entre a camada de entrada e a de saída, existe um número variável de *camadas intermediárias*. A esta disposição das camadas e número de neurônios por camada, dá-se o nome de *arquitetura* da rede neural.

Para que uma rede neural execute tarefas como reconhecimento de padrões ou modelagem de dados (calibração), devemos treiná-la. Os pesos w são escolhidos inicialmente de modo aleatório, a fim de se ter uma rede inicial a ser treinada, ou seja, preparada para as entradas e saídas da etapa de treinamento. Nesta etapa de treinamento os dados são apresentados nas entradas e propagadas pela rede neural. Para a rede neural utilizada neste trabalho, a entrada ou conjunto de dados são os apresentados na tabela 2 (preços nas fronteiras eficientes) da seção EDO-DEA e Redes Neurais Artificiais.

Uma vez propagados os inputs através da rede neural, podemos calcular a saída, isto é, o valor dos imóveis amostrados. Obtidos os valores previstos pela rede neural, pode-se calcular um erro de previsão (E), o qual pode ser definido, em princípio, como o somatório do quadrado da diferença entre o valor previsto pela rede (valor do imóvel na saída) e o preço deste mesmo imóvel (amostrado), como segue:

$$E = \sum_{k=1}^n \left(y_k - \hat{y}_k \right)^2 \quad (3)$$

em que y é o preço (amostrado) e \hat{y} o valor estimado (output) pela rede neural. Conhecido o erro de previsão, quais parâmetros da rede neural que devem ser corrigidos para minimizá-lo? A resposta para esta pergunta é muito simples, pois uma vez fixada a arquitetura da rede neural, os únicos parâmetros passíveis de correções são os pesos, dado que não existem outros parâmetros. Para a correção dos pesos estão disponíveis diversos métodos de otimização, entretanto o mais utilizado é o da retropropagação de erros.

No método da retropropagação de erros, o processo de correção dos pesos é iniciado na última camada e prossegue em direção à primeira, daí o nome retropropagação. Sem entrar em deduções matemáticas, a equação para a correção dos pesos pode ser escrita como:

$$\Delta W_{ji}^l = \eta \cdot \delta_j^l \cdot out^{l-1} + \mu \cdot \Delta W_{ji}^{previo} \quad (4)$$

A etapa de treinamento se encerra quando o erro atingir o critério de convergência previamente estabelecido. Neste ponto, a rede está treinada.

As redes neurais geralmente apresentam uma boa capacidade de generalização, ou seja, apresentam resultados satisfatórios quando aplicada em amostras que não participaram do treinamento, especialmente em situações em que os dados apresentem não linearidades, visto que geralmente se utilizam funções de transferência não lineares. Entretanto, em alguns casos, as redes neurais artificiais, mesmo depois de terem sido treinadas, apresentam baixos erros de calibração e elevados erros de previsão (overfitting), devido ao número excessivo de neurônios utilizados na camada intermediária. Portanto, um procedimento fundamental para evitar o sobreajuste (overfitting), é a otimização do número de neurônios da camada intermediária ou mesmo a “poda” entre as conexões, conhecido como *Pruning*.

3. 1 Redes Neurais com “Poda”

A idéia básica deste método é iniciar a rede neural com um número razoável de neurônios na camada intermediária e, durante a etapa de treinamento cortar as conexões (ou pesos) dos neurônios que possuem pouca influência no erro E . Neurônios que tiverem todas as conexões cortadas serão eliminados e, portanto, ao final dos “cortes”, sobrarão somente os neurônios realmente necessários à modelagem. A técnica de poda^{[4],[5]} (*pruning*) reduz a complexidade da rede neural, melhorando sua capacidade de previsão, pois evita modelos sobre

parametrizados (muitos neurônios) em que a possibilidade de sobreajuste (*overfitting*) é grande.

Existem basicamente dois métodos para a poda de redes neurais: *Optimal Brain Damage*^[5] (OBD) e *Optimal Brain Surgeon*^[6] (OBS). Em ambos os métodos as conexões (ou pesos) são cortadas e a correspondente variação no erro E , chamada de saliência, é avaliada. No método OBD as conexões são cortadas durante a etapa de treinamento e a rede neural não é retreinada após os cortes. No método OBS, as conexões são cortadas e, após o corte de uma conexão, a rede é retreinada, permitindo que um número maior de cortes seja efetuado. Além disso, no método OBS a rede neural é retreinada, aproximando-se os erros de treinamento por uma função quadrática, de modo a garantir a existência de um mínimo.

As técnicas de poda simplificam significativamente o processo de otimização da arquitetura e nos permite obter modelos com pequena possibilidade de sobreajuste (*overfitting*). Este fato pode ser observado comparando os resultados obtidos na determinação do avaliando utilizando-se redes neurais sem poda e com poda conforme mostrado na tabela 4 da seção seguinte.

4 EDO-DEA e Redes Neurais Artificiais

A heurística proposta por Novaes, L.F.L.^[2], para a estimação de valores, prevê a inserção do imóvel do avaliando no conjunto inicial formado pelo imóveis amostrados assumindo um valor arbitrado inicial. Se esta inserção não provoca alteração nas fronteiras de eficiência, é adotado o índice de eficiência h calculado pelas formulações (1)(2) para a projeção do valor do imóvel avaliando em cada uma das fronteiras. Este método apresenta uma grande dificuldade em virtude desta inferência do valor inicial para o avaliando. Também, na maioria das vezes esta arbitragem leva a deformação das fronteiras inicialmente formadas, fazendo com que este procedimento se repita até que não haja deformação. Diante destas dificuldades, propõe-se uma nova técnica capaz de estimar o valor imóvel avaliando.

A nova metodologia parte do princípio de que ao serem formadas as fronteiras de eficiência, serão estimados valores do imóvel avaliando contido nestas fronteiras. Para isto, utiliza-se as redes neurais artificiais no espaço compreendido entre as fronteiras de compra e venda, onde os pontos mapeados (treinados) são exclusivamente àqueles pertencentes a cada das fronteiras. A figura ilustrativa da modelagem por redes pode ser vista na FIGURA 3,

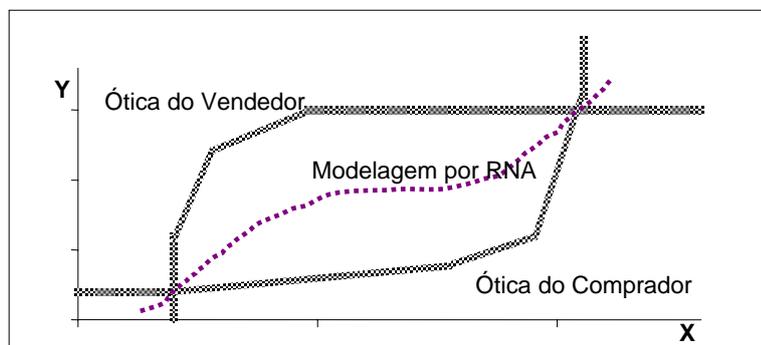


FIGURA 3 – Ilustração da superfície formada pelo mapeamento dos pontos das fronteiras EDO-DEA

Para verificar a eficácia da modelagem da rede, foram utilizados como dados de validação o valor médio (VM) de cada ponto coletado dada sua projeção nas fronteiras conforme a fórmula abaixo;

$$VM = \frac{V_{venda} + V_{compra}}{2} \quad (5)$$

onde,

$$V_{venda} = h'Y_{coletado}$$

$$V_{compra} = h.Y_{coletado}$$

h e h' dados por (1) e (2).

Desta forma, obtém-se uma rede ajustada de tal forma que permita a estimação do valor do imóvel avaliando sem a necessidade de inferir qualquer valor inicial.

Para elucidar este procedimento, são utilizados os dados coletados contidos na tabela seguinte, modelados através do software SisDEA®¹ – Análise da Envoltória e Redes Neurais Artificiais:

Dados	Logradouro	Idade (anos)	Idade Transformada $Id_T = 100.(100 - 10.\ln(Id))$	Área (m ²)	Preço
1	R. Morais e Silva	10	7697	75	105.000,00
2	R. S. Francisco Xavier	30	6599	70	50.000,00
3	R. Senador Furtado	18	7110	60	90.000,00
4	R. Senador Furtado	18	7110	65	95.000,00
5	R. Prof. Manoel de Abreu	25	6781	79	80.000,00
6	R. Joaquim Palhares	25	6781	65	65.000,00
7	R. Jorge Rudge	25	6781	90	75.000,00
8	R. S. Francisco Xavier	30	6599	95	100.000,00
9	R. Ibituruna	20	7004	72	105.000,00
10	R. Morais e Silva	10	7697	90	130.000,00
11	R. Morais e Silva	10	7697	90	115.000,00
12	R. Morais e Silva	10	7697	90	120.000,00

Tabela 1 – Amostra do mercado imobiliário

Como resultado do EDO-DEA temos a tabela 2 a seguir, onde os resultados em cada fronteira são utilizados para o treinamento da rede,

Eficiência das Amostras (EDO-DEAVRS)				Preço Observado	Preços nas fronteiras Eficientes		Valor Médio (VM)
ótica do vendedor		ótica do comprador			R\$	Vendedor	
Dado	%	Dado	%	R\$			
1	95,45	1	100,00	105.000,00	110.000,00	105.000,00	107.500,00
2	100,00	2	100,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00
3	100,00	3	84,00	89.000,00	90.000,00	75.596,50	82.798,25
4	98,57	4	79,58	95.000,00	96.379,60	75.596,50	85.988,05

¹ Software desenvolvido pela Pelli Sistemas Engenharia Ltda – www.pellisistemas.com.br, cuja marca encontra-se registrada no INPI.

IBAPE – XXII UPAV / XIII COBREAP – FORTALEZA/CE – ABRIL/2006

Eficiência das Amostras (EDO-DEAVRS)				Preço Observado	Preços nas fronteiras Eficientes		Valor Médio (VM)
ótica do vendedor		ótica do comprador					
5	87,41	5	82,03	80.000,00	91.518,10	65.621,20	78.569,65
6	100,00	6	90,95	65.000,00	65.000,00	59.116,50	62.058,25
7	72,27	7	100,00	75.000,00	103.776,70	75.000,00	89.388,35
8	100,00	8	100,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00
9	100,00	9	67,04	105.000,00	105.000,00	70.390,70	87.695,35
10	100,00	10	88,46	130.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00
11	88,46	11	100,00	115.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00
12	92,31	12	95,83	120.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00

Tabela 2- Preços nas fronteiras eficientes utilizados na modelagem das redes neurais artificiais.

A validação dos resultados obtidos equação 5, é apresentado na TABELA 3,

Eficiência das Amostras (EDO-DEAVRS)				Preço Observado	Preços nas fronteiras Eficientes		Valor Médio (VM)	Resultado da validação por Redes Neurais
ótica do vendedor		ótica do comprador						
Dado	%	Dado	%	R\$	Vendedor	Comprador	R\$	R\$
1	95,45	1	100,00	105.000,00	110.000,00	105.000,00	107.500,00	108.684,55
2	100,00	2	100,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.747,25
3	100,00	3	84,00	89.000,00	90.000,00	75.596,50	82.798,25	83.504,16
4	98,57	4	79,58	95.000,00	96.379,60	75.596,50	85.988,05	85.473,21
5	87,41	5	82,03	80.000,00	91.518,10	65.621,20	78.569,65	77.526,41
6	100,00	6	90,95	65.000,00	65.000,00	59.116,50	62.058,25	62.103,49
7	72,27	7	100,00	75.000,00	103.776,70	75.000,00	89.388,35	94.381,90
8	100,00	8	100,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00	96.854,22
9	100,00	9	67,04	105.000,00	105.000,00	70.390,70	87.695,35	83.655,76
10	100,00	10	88,46	130.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00	121.778,90
11	88,46	11	100,00	115.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00	121.778,90
12	92,31	12	95,83	120.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00	121.778,90

Tabela 3 – Resultados da validação por redes neurais sem pruning

Para minimizar o sobreajuste da rede na modelagem dos dados, utilizamos a técnica de pruning e os resultados obtidos podem ser visualizados abaixo,

Eficiência das Amostras (EDO-DEAVRS)				Preço Observado	Preços nas fronteiras Eficientes		Valor Médio (VM)	Resultado da validação por Redes Neurais	Resultado da validação por Redes Neurais c/ Pruning
ótica do vendedor		ótica do comprador							
Dado	%	Dado	%	R\$	Vendedor	Comprador	R\$	R\$	R\$
1	95,45	1	100,00	105.000,00	110.000,00	105.000,00	107.500,00	108.684,55	107457,79
2	100,00	2	100,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.747,25	49936,068
3	100,00	3	84,00	89.000,00	90.000,00	75.596,50	82.798,25	83.504,16	82349,099
4	98,57	4	79,58	95.000,00	96.379,60	75.596,50	85.988,05	85.473,21	86701,443
5	87,41	5	82,03	80.000,00	91.518,10	65.621,20	78.569,65	77.526,41	78575,423
6	100,00	6	90,95	65.000,00	65.000,00	59.116,50	62.058,25	62.103,49	62120,518
7	72,27	7	100,00	75.000,00	103.776,70	75.000,00	89.388,35	94.381,90	89369,229
8	100,00	8	100,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00	100.000,00	96.854,22	99942,71
9	100,00	9	67,04	105.000,00	105.000,00	70.390,70	87.695,35	83.655,76	87276,956
10	100,00	10	88,46	130.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00	121.778,90	122491,85
11	88,46	11	100,00	115.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00	121.778,90	122491,85
12	92,31	12	95,83	120.000,00	130.000,00	115.000,00	122.500,00	121.778,90	122491,85

Tabela 4 – Resultados da validação por redes neurais com pruning.

Em seguida, realizamos com a mesma base de dados e utilizando os modelos com a RNA (com e sem poda), a estimação de valores dos imóveis abaixo:

- Imóvel 1: 80 m² e 30 anos de idade ($Id_T= 6599$),
- Imóvel 2: 80 m² e 20 anos de idade ($Id_T= 7004$),
- Imóvel 3: 90 m² e 10 anos de idade ($Id_T= 7697$).

A aplicação das redes neurais artificiais no espaço delimitado pelo EDO-DEA permitiu chegar aos seguintes resultados finais de estimação de valores para os avaliandos:

Avaliando	Estimativas com RNA		Estimativas com DEA
	Com pruning	Sem pruning	
1	R\$ 68.500,00	R\$ 66.700,00	R\$ 66.500,00
2	R\$ 94.000,00	R\$ 90.600,00	R\$ 92.000,00
3	R\$ 122.500,00	R\$ 121.800,00	R\$ 122.500,00

TABELA 5 – Resultados da estimação de valores por redes neurais artificiais

5 Conclusões

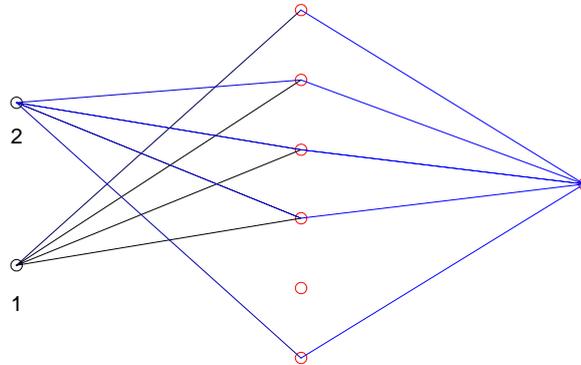
Neste trabalho foi discutida a possibilidade de utilização de Redes Neurais Artificiais para a estimação de valores de mercado de imóveis urbanos tendo como base o espaço delimitado entre as fronteiras de compra e venda do EDO-DEA. Os valores estimados pela redes neurais com pruning obtiveram um ajuste superior aos valores estimados pela redes neurais sem pruning, conforme pode ser observado na TABELA 4, durante a fase de treinamento. Os pesos calculados para as redes, bem como as arquiteturas utilizadas, estão listadas no Anexo A.

A técnica de “poda” (pruning methods) se justifica pela simplificação da complexidade da rede, permitindo assim a obtenção de resultados mais precisos e evitando o sobreajuste da rede (overfitting). Entretanto, nas estimativas de valores de novos imóveis, os resultados obtidos com a rede sem pruning também foram satisfatórios. Cabe ressaltar que a modelagem através de redes neurais tem apresentado muitos avanços, principalmente quanto à validação estatística de seus resultados, o que nos leva a acreditar que em um futuro bastante próximo este estudo estará completo.

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. No caso da utilização das Redes Neurais Artificiais modelando o espaço delimitado pelo EDO-DEA, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, permitindo uma estimativa de valores mais consistente e com maior confiabilidade. Nesta situação, a forma funcional do modelo fica estabelecida pelo conjunto de dados que formam o espaço do EDO-DEA, com a modelagem das redes neurais artificiais, eliminando os problemas oriundos das transformações das variáveis com o uso da regressão linear.

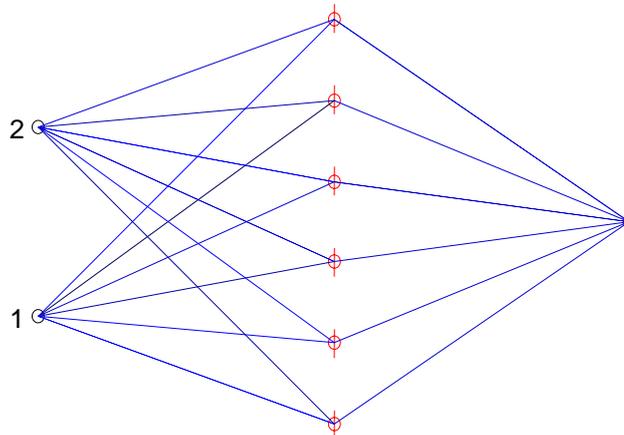
Anexo A – Resultados da modelagem

Arquitetura da Rede c/



w1	0	1,1859	-1,6994				
	0	0	0				
	3,9906	-1,2463	0				
	3,9689	-0,72928	0				
	3,1027	0,6933	0				
	2,3654	0	0				
w2	0,8862	0	1,2959	-2,169	2,2099	0,03787	0

Arquitetura da Rede



w1	-0,31724	1,2382	-1,4056				
	0,46053	0,26835	0,22365				
	1,283	-0,67417	-0,013894				
	0,59198	-0,08586	0,42668				
	2,1097	1,2547	0,2524				
	0,48334	0,85889	0,21858				
w2	1,2887	0,009018 2	0,54021	-0,096979	1,5189	-0,4887	0,27531

Referências

- [1] Pelli Neto, A., Zárate, L. E., *Avaliação de Imóveis Urbanos com a Utilização de Redes Neurais Artificiais*, XII COBREAP – Belo Horizonte/MG – 2003.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Haykin, S., *Neural Networks, a comprehensive foundation*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey; 1999, p 218.
- [5] Hassibi, B., Stork, D. G., *In Advances in neural information processing systems 5*, Ed.: Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1993, p 164.
- [6] Cun, Y. Le, Boser, B., Denker, J. S., Solla, S. A., *Optimal brain damage: Advances in Neural information processing systems, vol.2*, Morgan Kaufman, San Mateo, 1990, p 598
- [7] Fahlman, S. E., Libiere, C., *Advances in Neural Information Processing Systems, Vol. 2*, D. S. Touretzky Ed., Morgan Kaufmann, San Mateo, 1990; p 524.
- [8] Charnes, A., W.W.Cooper and Rhodes, *Measuring the Efficiency of Decision -Making Units*, European Journal of Operational Research, 2, No.6 - 1978.
- [9] González, M.A. S. (2003). *Metodologia de Avaliação de Imóveis*. Novo Hamburgo – Editora SGE.
- [10] Dantas, Rubens A., *Engenharia de Avaliações - Uma Introdução à Metodologia Científica*, Pini, 1998;
- [11] Gujarati, D. – “Econometria Básica” – Makron Books, 2000;
- [12] González, M. A., 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;
- [13] BRAGA, Antônio de Pádua – *Redes Neurais Artificiais – Teoria e Aplicações – 1a Edição*– Rio de Janeiro: LTC, 2000;
- [14] Pelli Neto, *Avaliação de Imóveis Urbanos com utilização de Sistemas Nebulosos (Redes Neuro-Fuzzy) e Redes Neurais Artificiais*, XXI Congresso Panamericano de Valuación – Cartagena – Colombia / 2004;
- [15] Pelli Neto, A, Braga, A. P, “*Redes Neurales Artificiales – Aplicación e Comparación de los Resultados com la Regresion Linear en las Valuaciones de Inmuebles Urbanos*”, I Congreso Internacional de Valuación y Catastro – Caracas 2005, Xo. Congreso Venezolano de Valuación y Catastro – 2005, IV Concurso Internacional de Valuación y Catastro.

CURRICULUM VITAE

Nome: Antônio Pelli Neto

Empresa: Caixa Economica Federal **Cargo:** Engenheiro **Função:** Assistente Técnico I

Endereço Comercial: Av. João Pinheiro, 584 - Bairro Funcionários – BH/MG.

Telefones: +55 (31) 3248-5200 – 3248-5229 - **Fax:** +55 (31) 3248-5200

Graduação: Engenharia Civil e Mecânica UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais – 1982 - **CREA:** 6021/D-DF

Mestrado: Engenharia Elétrica, Inteligência Computacional - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – 2006

E-mail: antonio-pelli.neto@caixa.gov.br - PELLI@terra.com.br

PRINCIPAIS PARTICIPAÇÕES EM CONGRESSOS E EVENTOS

- Apresentação de trabalho: **Informatizacion de Evaluacion Econômica de Empreendimento** no Iº Congresso Internacional Valoración Y Tasación – Valência - Espanha – 03 a 05 de Julho de 2002;
- Apresentação de trabalho: **Avaliação de Imóveis Urbanos com utilização das Redes Neurais** no XII COBREAP – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – Belo Horizonte/MG – 02 a 05 de Setembro de 2003. *Agraciado com a Menção Honrosa Orlando Andrade Resende concedida pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE-MG;*
- Apresentação de trabalho: **Artificial Intelligence and Application's** – IASTED – International Association of Science And Technology dor Development - Benalmadema, Espanha, 08 a 10 September de 2003;
- Apresentação do Trabalho: **Avaliação de Imóveis Urbanos com utilização de Sistemas Nebulosos (Redes Neuro-Fuzzy) e Redes Neurais Artificiais**, no XXI Congreso Panamericano Valuación – UPAV - Cartagena/Colômbia - 20 a 23 Setembro 2004;
- Apresentação do Trabalho - **Redes Neurais Artificiais: aplicação e comparação dos resultados com a regressão linear nas avaliações de imóveis urbanos**, durante o X Congreso Venezolano de Valiación Y Catastro e I Concurso Internacional de Valuación e Catastro , dias 17 a 20 de Abril de 2005. *Agraciado com o 1º lugar no IV Concurso Internacional de Valuación Y Catastro Caracas-VE;*

ATIVIDADES PROFISSIONAIS

Empresa - Caixa Econômica Federal (a partir de 1982)

- Divisão de Processamento de Dados.
- Desenvolvimento de Programas - Analista de Sistemas.
- Concurso Público - Engenheiro Mecânico e Civil.
- Participação do Grupo de Trabalho de Avaliação dos Imóveis Funcionais da União.
- Desenvolvimento do *Sistema de apoio a Avaliação Imobiliária – SAAI*
- Desenvolvimento do *Sistema de Avaliações Imobiliárias – SIM.*
- Designado Instrutor de Avaliação de Imóveis – Avaliar Bens, tendo ministrado diversos cursos de Avaliação de Imóveis no âmbito da Caixa Econômica Federal.

CURRICULUM VITAE

Nome: Gustavo Rodrigues de Morais

Empresa: Pelli Sistemas Engenharia Ltda.

Endereço Comercial: Rua Eurita, 464 - Bairro Santa Tereza, CEP 31010-210 - Belo Horizonte/MG

Telefones: +55 (31) 3466.1557 - 3466.9188 - 9741.1557

Fax: +55 (31) 3467.1502

Formação Acadêmica Graduação : Matemática - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Concluída em 07/2004

Mestrando: Engenharia Elétrica - Linha de Pesquisa: Otimização - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Início em 08/2004

E-mail: gustavo@pellisistemas.com.br - gugobh@yahoo.com

PRINCIPAIS PARTICIPAÇÕES EM CONGRESSOS E EVENTOS

- Apresentação de trabalho intitulado “*Considerações Sobre Forças Conservativas e Animações Computacionais*” no 24º Colóquio Brasileiro de Matemática – Congresso realizado no IMPA – Instituto de Matemática Pura e Aplicada – Rio de Janeiro/RJ - 2003;
- Apresentação de trabalho intitulado “*Mecânica Clássica e Animações Computacionais de Corpos em Movimento*” no XIII Simpósio de Iniciação Científica – Simpósio realizado na Universidade Federal de Viçosa – Viçosa/MG – 2003;
- Reunião Regional da Sociedade Brasileira de Matemática – Encontro realizado no DMAT-UFMG – Departamento de Matemática da Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte/MG - 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Atualmente engajado no projeto de pesquisa “Otimização em Engenharia de Avaliações – Avaliação de Imóveis Urbanos” sob orientação do Prof. Dr. Rodney Rezende Saldanha em parceria com a Pelli Sistemas Engenharia Ltda..

ATIVIDADES

- Pelli Sistemas Engenharia – Desenvolvimento e pesquisa de soluções na área de Tecnologia da Informação.
- Universidade Federal de Minas Gerais – Participação em projeto de pesquisa na área de Engenharia de Avaliações.
- Universidade Federal Viçosa – Participação em projeto de pesquisa na área de Física-Matemática - 07/2002 a 08/2003.