

Marina Araújo Rosas<sup>I</sup>

Adriana Falangola Benjamin  
Bezerra<sup>II</sup>

Paulo José Duarte-Neto<sup>III</sup>

# Uso das redes neurais artificiais na aplicação de metodologia para alocação de recursos da saúde

## Use of artificial neural networks in applying methodology for allocating health resources

---

### RESUMO

**OBJETIVO:** Descrever a construção de fator de alocação de recursos financeiros com base na necessidade em saúde da população.

**MÉTODOS:** Estudo quantitativo, com dados coletados em bases de domínio público, referentes ao estado de Pernambuco nos anos entre 2000 e 2010. Foram selecionadas variáveis que refletissem os indicadores epidemiológicos, demográficos, socioeconômicos e educacionais para compor um fator de alocação que apontasse as necessidades de saúde da população. As fontes pesquisadas foram: Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde, Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Saúde, Tesouro Nacional e dados da Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco de 2000 a 2010, de acordo com a disponibilidade da informação mais recente. Foi realizada a correlação linear de Pearson e, para o cálculo do fator de alocação, a análise pelas Redes Neurais Artificiais. Os quartis dos municípios foram definidos segundo as necessidades em saúde.

**RESULTADOS:** A distribuição apresentada aponta a Região Litorânea e boa parte da Região da Mata Norte e Sul e do Agreste Setentrional e Central situados no Quartil 1, este com o maior número de municípios. O Agreste Meridional teve municípios em todos os quartis. Na Região do Pajeú/Moxotó, grande parte dos municípios esteve no Quartil 1. Semelhante distribuição foi verificada no Sertão Central. No Araripe, a maioria dos municípios esteve nos Quartis 3 ou 4 e a Região do São Francisco ficou dividida entre os Quartis 1, 2 e 3.

**CONCLUSÕES:** O fator de alocação agregou os municípios pernambucanos, por agrupar variáveis que são relacionadas com as necessidades em saúde da população, e separou os que possuem extremas necessidades de maior aporte financeiro daqueles que precisam com menor intensidade.

**DESCRITORES:** Dotação de Recursos para Cuidados de Saúde, economia, Equidade na Alocação de Recursos, Tomada de Decisões Gerenciais, Redes Neurais (Computação).

<sup>I</sup> Programa de Pós-Graduação Integrado em Saúde Coletiva. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil

<sup>II</sup> Departamento de Medicina Social. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil

<sup>III</sup> Departamento de Estatística e Informática. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE, Brasil

#### Correspondência | Correspondence:

Marina Araújo Rosas  
Rua Antônio Carlos Ribeiro de Andrade, 23  
Apto 3 Iputinga  
50680-080 Recife, PE, Brasil  
E-mail: marinaarosas@gmail.com

Recebido: 20/12/2012  
Aprovado: 23/7/2012

---

## ABSTRACT

**OBJECTIVE:** To describe the construction of a factor of allocation of financial resources, based on the population's health needs.

**METHODS:** Quantitative study with data collected from public databases referring to the state of Pernambuco, Northeastern Brazil, between 2000 and 2010. Variables which reflected epidemiological, demographic, socio-economic and educational processes were selected in order to create a factor of allocation which highlighted the health needs of the population. The data sources were: SUS (Brazilian Unified Health System) Department of Computer Science, Atlas of Human Development in Brazil, IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics), Information System on Public Health Budgets, National Treasury and data from the Pernambuco Health Secretariat between 2000 and 2010. Pearson's coefficient was used to assess linear correlation and the factor of allocation was calculated using analysis by artificial neural networks. The quartiles of the municipalities were defined according to their health needs.

**RESULTS:** The distribution shown here highlights that all the coastal region, a good part of the *Mata Norte* and *Mata Sul* regions and the *Agreste Setentrional* and *Agreste Central* regions are in Quartile 1, that which has the largest number of municipalities. The *Agreste Meridional* region had municipalities in all of the quartiles. In the Pajeú/Moxotó region, many of the municipalities were in Quartile 1. Similar distribution was verified in the *Sertão Central* region. In the Araripe region, the majority of the municipalities were in Quartiles 3 or 4 and the São Francisco region was divided between Quartiles 1, 2 and 3.

**CONCLUSIONS:** The factor of allocation grouped together municipalities of Pernambuco according to variables related to public health needs and separated those with extreme needs, requiring greater financial support, from those with lesser needs.

**DESCRIPTORS:** Health Care Rationing, economics. Equity in the Resource, Allocation. Decision Making, Organizational. Neural Networks (Computer).

---

## INTRODUÇÃO

Ao colocar em pauta as atuais políticas de saúde no Brasil, não se pode ignorar a Constituição Federal de 1988,<sup>a</sup> que reconhece a saúde como direito fundamental das pessoas e dever do Estado. A proposta dos legisladores foi assegurar o direito universal e igualitário da saúde por sua vinculação com o campo econômico, não apenas com o social.

Para viabilizar o que consta na Constituição, nesse particular, foi necessário o envolvimento do que já havia sido estruturado, com a implantação de um arcabouço de atenção que abarcasse todos os brasileiros e operasse de acordo com princípios de equidade.<sup>11</sup>

Equidade é um princípio que rege funções distributivas que têm por objetivo compensar ou superar as

desigualdades existentes, consideradas socialmente injustas e evitáveis.<sup>13,b</sup> A equidade em saúde está sustentada no direito à saúde, que tem relação com determinado conceito de saúde. Ou seja, equidade em saúde é um processo que muda seu foco e abrangência de conformidade com o alcance de resultados.<sup>c</sup>

A inclusão de princípios de equidade na formulação das políticas de saúde não se acompanha da implementação automática de políticas que resultem em melhores níveis de equidade na prestação de serviços de saúde.<sup>1</sup> Sendo assim, não se trata exclusivamente de promulgar leis, mas de operacionalizar os direitos da sociedade, conquistados pela Constituição de 1988. A obrigação do Estado, ainda que não retire o compromisso da sociedade, precisa ser efetivada, buscando os ideais constitucionais condizentes com a sua capacidade de

---

<sup>a</sup> Brasil. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília (DF): Senado Federal; 1988.

<sup>b</sup> Porto SM, Vianna SM, Ugá MA, Vianna CM, Martins M, Lucchesi PTR, et al. Metodologia de alocação de recursos financeiros federais do SUS: relatório final de projeto REFORSUS. Rio de Janeiro: ENSP/FIOCRUZ; 2001.

<sup>c</sup> Escorel S. Os dilemas da equidade em saúde: aspectos conceituais. Brasília (DF): Organização Pan-Americana da Saúde; 2001. p.7-12. [citado 2009 out 15]. Disponível em: <http://biblioteca.planejamento.gov.br/biblioteca-tematica-1/textos/saude-epidemias-xcampanhas-dados-descobertas/texto-83-2013-os-dilemas-da-equidade-em-saude-aspectos-conceituais.pdf>

execução. A implementação das políticas públicas a favor dos cidadãos depende do aporte financeiro pelos entes federados e da eficaz distribuição desses recursos.<sup>1</sup>

A alocação dos recursos federais para os municípios brasileiros, para a saúde, obedece a dois critérios, em função do tipo de cuidado considerado. Nos serviços de atenção básica, a distribuição é realizada em função do quantitativo populacional; e os recursos para os procedimentos de média e alta complexidade são repassados segundo a produção de serviços. Esse quadro tende a favorecer as localidades mais desenvolvidas e contribui para acirrar as desigualdades na alocação e no acesso aos recursos de saúde entre as regiões do País.<sup>11,d,e,f</sup>

Estudo da Fundação João Pinheiro (FJP) mostrou desigualdade significativa na distribuição de recursos federais destinados à assistência à saúde entre regiões e municípios.<sup>f</sup> Há desigualdade social no acesso aos serviços de saúde, tornando-se favorável às camadas mais ricas da população. Essa desigualdade parece mais evidente quando considerados os cuidados curativos de saúde.<sup>6</sup>

Diferenças socioeconômicas e epidemiológicas entre os municípios devem ser consideradas na alocação de recursos financeiros para a saúde. A utilização de metodologias para essa finalidade que considerem critérios de equidade e respeitem as peculiaridades loco regionais e municipais é de fundamental importância para a sustentabilidade e garantia dos direitos preconizados pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

Têm sido realizados estudos sobre alocação de recursos com base nas necessidades em saúde da população brasileira. Considerando a ausência de estudos específicos para o estado de Pernambuco, o Grupo de Pesquisa em Economia Política da Saúde (GPEPS) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) elaborou uma metodologia de alocação de recursos financeiros da saúde, utilizando a análise pelo modelo estatístico de Redes Neurais Artificiais (RNA) para a construção de um fator de alocação (FA).<sup>8</sup>

A RNA é formada por uma camada de neurônios de entrada, outra de saída e uma ou mais camadas intermediárias ou ocultas. Essa rede de conexões

visa transmitir informações entre os neurônios de forma unidirecional.<sup>5,12</sup>

Essa rede possui natureza flexível de especificação de sistema, o que permite vasta aplicabilidade do método, inclusive na classificação. Destaca-se por sua habilidade de se autoavaliar.<sup>2</sup> A RNA tem habilidade de corrigir dados imprecisos, o que a torna eficaz em tarefas nas quais um conjunto de regras não pode ser facilmente formulado, como na proposta do cálculo de um FA.<sup>h</sup>

O presente artigo teve como objetivo descrever a construção de FA de recursos financeiros com base na necessidade em saúde da população.

## MÉTODOS

Este estudo é parte do projeto de pesquisa intitulado “Alocação equitativa de recursos financeiros para a saúde em Pernambuco: uma proposta metodológica”, realizado de 2009 a 2011.<sup>i</sup> Essa proposta foi baseada nas necessidades da população, através da construção de um FA para os municípios do estado de Pernambuco.

Foram incluídos no estudo os municípios do estado de Pernambuco que apresentaram informações necessárias para compor o banco de dados de análise. Foram elencados indicadores que refletissem as necessidades em saúde da população para a construção do FA. Foram selecionadas 18 variáveis que abrangeram questões demográficas, epidemiológicas, socioeconômicas e educacionais, a saber: coeficiente de mortalidade infantil, mortalidade até cinco anos de idade, mortalidade precoce de idosos, mortalidade proporcional por causas externas, mortalidade proporcional por doenças do aparelho circulatório, mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias, mortalidade proporcional por neoplasias, percentual de óbitos por causas mal definidas, proporção de mães adolescentes, proporção de pré-natal inadequado, taxa de fecundidade, índice de Gini, proporção de idosos na população residente, taxa de alfabetização, capacidade de autofinanciamento *per capita*, percentual de pessoas com renda *per capita* abaixo de ½ salário mínimo, percentual de domicílios urbanos com saneamento básico e proporção de domicílios urbanos com coleta de lixo.

<sup>d</sup> Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais. Metodologia de alocação equitativa de recursos: uma proposta para Minas Gerais. Belo Horizonte; 2004.

<sup>e</sup> Nunes SA. A alocação equitativa inter-regional de recursos públicos federais do SUS: a receita própria do município como variável moderadora. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2004.

<sup>f</sup> Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Econômicos e Sociais. Gasto federal com assistência à saúde em Minas Gerais: um estudo sobre a desigualdade na distribuição dos recursos financeiros. Belo Horizonte; 1997.

<sup>8</sup> Rosas MA. Estudo sobre metodologias de alocação de recursos financeiros da saúde. Pernambuco-Brasil [dissertação]. Universidade Federal de Pernambuco; 2011. 109p.

<sup>h</sup> Brumatti M. Redes neurais artificiais. Vitória; 2010 [citado 2011 maio 19]. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CEAQFjAC&url=http%3A%2F%2Fpbf-traffic-simulator.googlecode.com%2Fsvn%2Ftrunk%2Fsvn%2520checkout%2520pbf-traffic-simulator%2FDocumentos%2FRedes%2520Neurais%2520Artificiais%2Fapostilas%2FREDDES%2520NEURAI%2520ARTIFICIAIS.pdf&ei=Ow8uUJGkCl3Q9AS074HQCC&usq=AFQjCNFmXVHcRq9KbpKXCuzCtgWMzZtH6g&bvm=bv.42965579,d.eWU>

<sup>i</sup> Pesquisa realizada no período de 2009-2011 pelo Grupo de Pesquisa em Economia Política da Saúde, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

As variáveis foram coletadas em bases de dados de domínio público: Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (Datapus), Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADH), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema de Informações sobre Orçamentos Públicos em Saúde (Siops), Tesouro Nacional, com exceção da variável mortalidade precoce em idosos, disponibilizada pela Secretaria Estadual de Saúde de Pernambuco (SES-PE) entre 2000 e 2010, de acordo com a disponibilidade da informação mais recente.

Foi necessário uniformizar a configuração de cada resposta com base nas variáveis selecionadas. Os dados obtidos dos municípios estudados foram organizados por localidade pelo *software* Excel 2007. Realizou-se análise preliminar das variáveis e sua descrição para obter uma compreensão preliminar da situação dos municípios.

Os graus de correlação entre as variáveis foram avaliados a partir da análise de correlação linear de Pearson. Realizadas as apurações preliminares sobre as variáveis selecionadas, foi construído o fator de alocação proposto pelo GPEPS, seguindo as etapas:

- 1) Padronização das variáveis: devido a grandezas diferentes entre as variáveis, a padronização foi feita para que todas se apresentassem com média 0 e variância 1.
- 2) Foram criados dois municípios fictícios, a partir dos valores máximos e mínimos da amostra: um “município ruim”, que apresentou os “piores” valores de cada variável, e um “município ótimo”, com os “melhores” valores de cada variável.
- 3) A partir da criação desses dois municípios fictícios, foi obtida uma amostra aleatória de 200 municípios entre “ótimos” e “ruins”, somando-se aos valores das variáveis dos dois municípios fictícios um ruído uniforme contínuo, variando de 0 a 0,01.
- 4) Metade da amostra obtida na etapa anterior foi aleatoriamente escolhida para o treinamento da RNA; a outra parte foi usada na validação cruzada do modelo. A amostra de municípios estudados foi usada na fase de teste da rede.

5) A técnica *Intelligent Problem Solver* do pacote de Redes Neurais do *software* *Statistica* versão 7.0 (StatSoft, Inc.) foi utilizada para obter o melhor modelo de RNA que classificasse os municípios em dois grupos, “ruim” e “bom”, considerando o tipo da rede (*multilayer perceptron* – MLP, linear – LN e *radial basis function* – RBF) e o número de camadas escondidas. O programa forneceu as cinco melhores redes baseado nos erros de validação e do teste. A melhor rede foi aquela que apresentou o menor erro da validação.

6) O nível de confiança da classificação de determinado município em um dos dois grupos foi usado como FA.

Esse procedimento gerou o fator de alocação por Redes Neurais Artificiais do GPEPS. Ao se trabalhar com dados secundários, pode-se incorrer em erros pelo não controle no registro das variáveis em estudo. Além disso, destaca-se a problemática relativa ao ano, uma vez que, para o conjunto de indicadores selecionados no presente estudo, não foi possível encontrar todos os dados referentes ao mesmo período anual. Assim, optou-se por trabalhar com a informação mais recente disponível. Foi considerado o uso das bases de domínio público utilizadas por outras metodologias que se propõem ao mesmo objetivo do presente estudo.

Utilizou-se o programa *Statistica 7* (StatSoft, Inc.).

## RESULTADOS

Através da técnica *Intelligent Problem Solver*, a *radial basis function* foi o tipo de RNA que apresentou o melhor desempenho.

Os resultados para as cinco melhores redes indicadas pela técnica *Intelligent Problem Solver*, de acordo com o FA, incluem o perfil (números de entrada, camadas escondidas e saídas) e níveis de acerto e erro nas fases de treinamento, validação e teste, para cada rede (Tabela 1).

As variáveis traduziram-se numa rede com 18 entradas, 12 neurônios escondidos, uma camada oculta e uma saída. A Tabela 2 apresenta as médias e os valores mínimo e máximo de cada variável, bem como os municípios que apresentaram tais valores.

**Tabela 1.** Análise da performance das cinco melhores Redes Neurais Artificiais para os diferentes conjuntos de variáveis.

Perfil	Perfil treinamento	Perfil validade	Perfil teste	Erro de treinamento	Erro de validação	Erro do teste
Linear 16:16-1:1	1,000	0,990	0,426	0,00103	0,00123	0,500
Linear 17:17-1:1	1,000	0,990	0,426	0,00102	0,00118	0,500
RBF <sup>a</sup> 18:18-6-1:1	0,990	1,000	0,426	0,000727	0,000743	0,521
RBF 18:18-12-1:1	1,000	0,990	0,426	0,000426	0,000502	0,518
MLP <sup>b</sup> 9:9-10-1:1	0,990	1,000	0,426	0,000000	0,000000	9,250

<sup>a</sup> RBF: *radial basis function*

<sup>b</sup> MLP: *multilayer perceptron*

**Tabela 2.** Estatística descritiva das variáveis epidemiológicas e socioeconômicas dos municípios de Pernambuco, Nordeste, Brasil, 2011.

Variável	Média	Valor mínimo	Município	Valor máximo	Município
Coeficiente de mortalidade infantil	19,3	3,6 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Passira	50,8	Tuparetama
Mortalidade até os cinco anos	65,4	23,8 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Paulista	120,8	Manari
Mortalidade por causas externas	14,3	2,9 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Camutanga	36,8	Santa Maria da Boa Vista
Mortalidade por doenças do aparelho circulatório	34,4	13,0 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Primavera	51,4	Calumbi
Mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias	5,3	0,0 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Moreilândia	16,9	Primavera
Mortalidade proporcional por neoplasias	12,6	4,6 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Águas Belas/ Mirandiba	27,0	Terra Nova
Taxa de fecundidade total	3,1	1,8 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Recife	5,1	Santa Filomena
Índice de Gini	0,4	0,3 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Ingazeira e Salgadinho	0,49	Recife
Taxa de alfabetização	64,0	43,0	Manari	91,6 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Paulista
Proporção de mães adolescentes	8,5	0,5 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Cumarú	19,3	Catende
Proporção de idosos na população residencial (= 60 anos)	0,1	0,1 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Ipojuca	0,2	Frei Miguelinho
ICMS <sup>b</sup> <i>per capita</i>	107,3	23,2	Caetés	2376,6 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Ipojuca
Percentual de óbitos por causas mal definidas	9,6	0,3 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Ribeirão	59,2	Paranatama
Capacidade de autofinanciamento <i>per capita</i>	46,4	11,7	Jaqueira	780,4 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Ipojuca
Percentual de pessoas com renda <i>per capita</i> abaixo de R\$ 75,50	66,3	21,3 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Toritama	90,0	Manari
Percentual de domicílios com saneamento básico	47,6	0,0	Carnaubeira da Penha	47,8 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Itapissuma
Percentual de domicílios com coleta de lixo	77,9	17,7	Manari	99,4 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Petrolândia
Percentual de nascidos vivos com pré-natal inadequado	66,6	29,0 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Nazaré da Mata	96,6	Santa Cruz da Baixa Verde
Mortalidade precoce de idosos	1653,3	247,5 (m <sub>o</sub> ) <sup>a</sup>	Itacuruba	3973,0	Xexéu

<sup>a</sup> m<sub>o</sub>: município ótimo

<sup>b</sup> ICMS: imposto sobre circulação de mercadorias e serviços

Na Tabela 3, está descrita a influência de cada variável na determinação do quartil em que cada município pernambucano foi enquadrado, segundo o método da RNA.

A análise estatística permitiu a distribuição dos municípios em quartis que representaram:

Quartil 1 – Municípios com menor necessidade em saúde, composto por 97 localidades que apresentaram os melhores resultados das variáveis que representaram o porte econômico do município, as condições sanitárias e de saúde.

Quartil 2 – Municípios com necessidades em saúde medianas, composto por 40 localidades.

Quartil 3 – Municípios com necessidades em saúde consideráveis, composto por 30 localidades.

Quartil 4 – Municípios com maior necessidade em saúde, composto por 17 localidades que apresentaram os piores resultados das variáveis que representaram o

porte econômico do município, as condições sanitárias e de saúde.

A Figura representa a distribuição geográfica dos 184 municípios pernambucanos, de acordo com os quartis apontados pelo FA, destacando toda a Região Litorânea e boa parte da Região da Mata Norte e Sul e do Agreste Setentrional e Central situados no Quartil 1. O Agreste Meridional tem municípios em todos os quartis. Na Região do Pajeú/Moxotó, grande parte dos municípios esteve no Quartil 1. Semelhante distribuição foi observada no Sertão Central. No Araripe, a maioria dos municípios esteve nos Quartis 3 ou 4 e a Região do São Francisco ficou dividida entre os Quartis 1, 2 e 3.

## DISCUSSÃO

A dificuldade de definir e operacionalizar um critério simples de alocação de recursos que reflita as políticas e prioridades de saúde e reduza os desequilíbrios existentes enfatiza a necessidade de aprofundar a discussão

**Tabela 3.** Ranking das variáveis para as redes neurais artificiais mais eficientes na classificação dos municípios estudados, obtidos a partir da análise de sensibilidade das variáveis. Pernambuco, Nordeste, Brasil, 2011.

Variáveis	Ranking
Coefficiente de mortalidade infantil	17
Mortalidade até os cinco anos	14
Mortalidade por causas externas	10
Mortalidade por doenças do aparelho circulatório	7
Mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias	12
Mortalidade proporcional por neoplasias	8
Taxa de fecundidade total	11
Índice de Gini	9
Taxa de alfabetização	4
Proporção de mães adolescentes	6
Proporção de idosos na pop. residente (= 60 anos)	15
Percentual de óbitos por causas mal definidas	18
Capacidade de autofinanciamento <i>per capita</i>	1
Percentual de pessoas com renda <i>per capita</i> abaixo de R\$ 75,50	2
Percentual de domicílios com saneamento básico	3
Percentual de domicílios com coleta de lixo	16
Percentual de nascidos vivos com pré-natal inadequado	5
Mortalidade precoce de idosos 2007	13

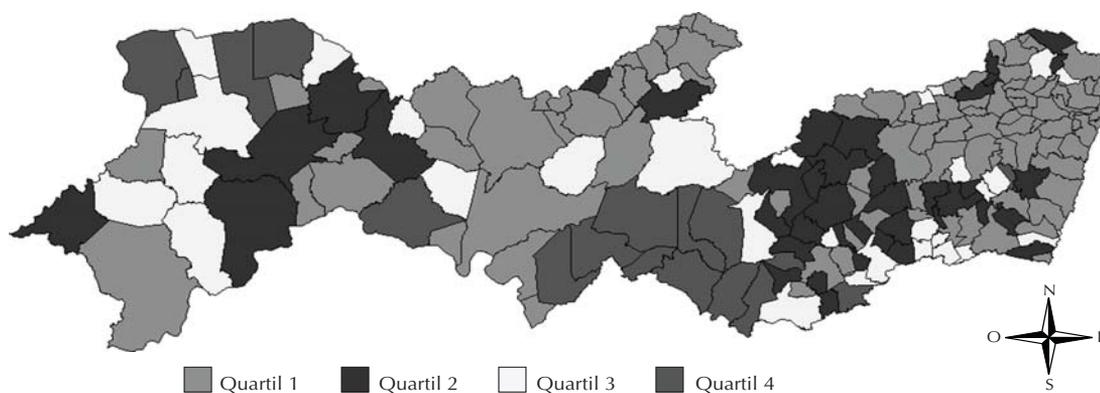
e análise de alocação de recursos financeiros.<sup>c,j</sup> Ao pensar em fórmulas alocativas de recursos financeiros em saúde, deve-se agregar, ao critério geográfico, o

fator necessidade em saúde.<sup>7</sup> Entretanto, é na eleição das variáveis que reside a principal dificuldade na criação de um FA. Dimensionar quais as necessidades em saúde de uma determinada população é um desafio e fator limitante das abordagens de alocação equitativa de recursos financeiros, visto que podem não conseguir atingir toda a extensão e complexidade do tema.<sup>7,d</sup>

Algumas características devem ser consideradas na seleção das variáveis para compor as necessidades em saúde da população: baixa vulnerabilidade à manipulação por gestores de políticas públicas; representação dos fatores autênticos de necessidade; isenção de processo de escolha política e disponibilidade de dados confiáveis.<sup>d</sup> Essas características nortearam o processo de eleição das variáveis que compuseram o FA apresentado.

As informações necessárias para a concretização dos resultados possuíam anos diferenciados, principalmente em municípios menores; portanto, foram considerados os dados com anos mais recentes. A limitação de informações e de qualidade dos dados dos municípios de pequeno porte foi encontrada em outro estudo<sup>8</sup> cujos autores optaram pela agregação de regiões heterogêneas para realizar a análise. Essa opção não foi cabível no presente estudo, visto que a unidade de exame é o município.

Os municípios pernambucanos apresentaram valores altos de mortalidade até os cinco anos e por doenças do aparelho circulatório, percentual de nascidos vivos com pré-natal inadequado e de pessoas com renda *per capita* abaixo de R\$ 75,50. Isso denota maior necessidade em saúde do Estado. As análises revelaram valores que traduzem positivamente a situação do estado de Pernambuco quanto às médias encontradas para a taxa de alfabetização, percentual de domicílios com coleta de lixo e mortalidade por doenças infecciosas e parasitárias.



**Figura.** Distribuição dos municípios estudados segundo o fator de alocação por Redes Neurais Artificiais. Pernambuco, Nordeste, Brasil, 2011.

<sup>j</sup> Couttolenc BF, Zucchi P. Gestão de recursos financeiros. São Paulo: Instituto para o Desenvolvimento da Saúde/Faculdade de Saúde Pública da USP/ Banco Itaú; 1998. Alocação de recursos: critérios e consequências; p.97-100. (Série Saúde e Cidadania, 10).

Os municípios de Manari e Ipojuca destacaram-se quanto aos valores mínimos e máximos encontrados para cada variável. O primeiro, por apresentar os piores valores para as variáveis: taxa de alfabetização, percentual de pessoas com renda *per capita* abaixo de R\$ 75,50, percentual de domicílios com coleta de lixo e mortalidade até os cinco anos. O segundo apresentou os resultados melhores para as variáveis: ICMS *per capita* e capacidade de autofinanciamento *per capita* (Tabela 2).

Foi atribuído um valor considerado ótimo para cada variável de acordo com a amostra. A localidade que apresentou esse valor foi denominada como município ótimo (m<sub>o</sub>). Esse dado norteou a fase de treinamento da RNA.

Um dos municípios estudados apresentou o valor mínimo para a variável percentual de domicílios com saneamento básico, indicando certa vulnerabilidade dessa localidade em relação à saúde de seus habitantes, visto que as condições ambientais são fator determinante de agravos à saúde.<sup>9</sup> Outro município destacou-se por apresentar o menor valor para a variável mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias. Isso sugere boa relação com a situação de saúde do município. Entretanto, deve-se considerar a possível subnotificação desse dado.

Os municípios pernambucanos apresentaram alta variabilidade nos valores de boa parte das variáveis na análise descritiva: coeficiente de mortalidade infantil, ICMS *per capita*, percentual de óbitos por causas mal definidas, capacidade de autofinanciamento *per capita* e percentual de domicílios com saneamento básico. Isso pode indicar as diferenças intermunicipais dentro do estado, sugerindo a necessidade de alocação diferenciada de recursos da saúde, adequada para cada realidade, o que justifica a adoção de um índice que reflita a necessidade em saúde de cada município.

A eleição do método estatístico para o cálculo de um FA deve ser considerada devido à abrangência e complexidade de mensuração das necessidades em saúde de uma determinada população. A escolha pelas RNA partiu de um referencial teórico estruturado, visto que são sistemas de inteligência artificial que mimetizam o processo de resolução de problemas do cérebro

humano, i.e., formam e aplicam o conhecimento adquirido de experiências passadas para novos problemas ou situações. Esse modelo surgiu como uma tentativa de simulação matemática do sistema nervoso humano, e a rede é uma representação de neurônios dispostos para permitir a análise de sinais de entrada específicos em termos matemáticos.<sup>10</sup>

Com esse funcionamento, as RNAs possuem aplicações em diversas áreas da ciência e tecnologia, inclusive na saúde. Na área médica, pesquisadores utilizam as RNA do tipo *Multilayer Perceptron* para “Diagnóstico de Lesões Intersticiais Pulmonares”,<sup>k</sup> Diagnóstico Diferencial de Anemias Carenciais,<sup>l</sup> Classificação de Nódulos em Mamogramas digitalizados,<sup>m</sup> *Diagnosing the Cardiovascular System*,<sup>n</sup> *Diagnosing Coronary Artery Disease*<sup>o</sup> apresentando taxa de precisão média de 90% a 99,6%.

Esse modelo tem capacidade de oferecer boas respostas, mesmo com dados secundários, que podem ser confusos ou ruidosos, pois o peso de cada variável é ajustado por um processo de aprendizagem da rede. Isso permite que ele seja aplicável a diferentes realidades, i.e., as RNA têm a característica da generalidade.<sup>9</sup>

A RNA mostrou ser uma ferramenta poderosa e adaptada para efetuar tarefas como: memorização, associação, reconhecimento de padrões, generalização, análise de dados multivariados não lineares, entre outras.<sup>14</sup> Essa gama de aplicações é decorrência de sua natureza flexível de especificação do sistema.<sup>2,14</sup> As RNA têm uma base estatística inerente ao impacto de distribuições de entrada (não normais) sobre a estimação de pesos. A principal diferença em relação a técnicas múltiplas é a ausência de qualquer teste de inferência estatística para pesos de ajuste geral do modelo.<sup>2</sup>

A RNA que compôs o FA apresentou bom número de neurônios escondidos, dada a complexidade do tema proposto. Redes Neurais Artificiais que apresentam poucos neurônios escondidos são preferidas pela tendência de alcançarem maior poder de generalização, reduzindo o sobreajuste (*overfitting*); porém, podem não possuir habilidade suficiente para modelar dados que envolvam problemas complexos.<sup>p</sup>

<sup>k</sup> Ambrósio PE, Faria FB, Rodrigues JAH, Martinez JAB, Marques PMA. Sistema computacional de apoio ao diagnóstico de lesões intersticiais pulmonares baseado em redes neurais artificiais. In: Anais do 17. Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica; 2000 set 11-13; Florianópolis, Brasil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2000.

<sup>l</sup> Santos PP, Almeida RMVR, Lúsis MP, Gismondi RC. Redes neurais artificiais e algoritmos genéticos no diagnóstico diferencial de anemias carenciais. In: Anais do 17. Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica; 2000 set 11-13; Florianópolis, Brasil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2000.

<sup>m</sup> Kinoshita SK; Marques PMA, Frère AF. Utilização da análise de componentes principais e redes neurais artificiais para a classificação de nódulos em mamogramas digitalizados. In: Anais do 17. Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica; 2000 set 11-13; Florianópolis, Brasil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2000. p.1214-6.

<sup>n</sup> Keller PE, Kangas LJ, Hashem S, Kouzes RT, Allen PA. A novel approach to modeling and diagnosing the cardiovascular system. In: World Congress on Neural Networks; 1995 Jul 17-21; Washington (DC). Disponível em: <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/100215-0BqC0L/webviewable/100215.pdf>

<sup>o</sup> Turner DD. Diagnosing coronary artery disease with a backpropagation neural network [Master of Science thesis]. Cheney (WA): Eastern Washington University; 1994.

<sup>p</sup> Pereira BB. Introduction to neural networks in statistics [technical report]. State College (PA): Center of Multivariate Analysis of Pennsylvania State University; 1999.

A generalização refere-se à capacidade da rede neural de produzir saídas que não estavam presentes no momento da aprendizagem.<sup>3</sup> Apesar de os valores do erro de validação das redes MLP terem sido menores que as RBF, optou-se por não considerá-las, dado o alto valor do erro do teste, que indica possível sobreajuste (*overfitting*) da rede.

O FA apresentado constitui uma proposta metodológica abrangente, visto que incorpora em seu bojo, além de variáveis próprias da saúde, outras que trazem as dimensões socioeconômicas, demográficas e educacionais. A viabilidade de se utilizar bom número de variáveis deu-se por meio da RNA, técnica estatística que permite o uso de muitos indicadores, dado o seu poder de generalização. Os resultados mostraram uma distribuição na qual municípios reconhecidamente considerados necessitados de maior aporte financeiro para a saúde foram enquadrados em quartis considerados bons (1 e 2). O contrário também foi observado, i.e., localidades que têm bom suporte de recursos enquadradas nos quartis 3 e 4. O FA proposto apresentou enquadramento dos municípios em relação ao quartil 4, concordante à realidade socioeconômica e epidemiológica dos municípios estudados.

O maior quantitativo de municípios enquadrados no quartil de menor necessidade levou à conclusão de que

o FA apresentado distribuiu as localidades separando aquelas de extrema necessidade de maior aporte financeiro das que apresentam menor gravidade quanto à necessidade de aporte financeiro.

O presente estudo pode servir de referência para pesquisas comparativas, não somente no âmbito pernambucano, mas extrapoladas para outras localidades. A complexidade que envolve a escolha de variáveis que reflitam de forma fidedigna a necessidade em saúde pressupõe a realização de estudos adicionais utilizando a técnica estatística de RNA, o que permitirá a agregação de outras variáveis que possam expressar as necessidades em saúde da população. Pode, inclusive, relacioná-las com dados financeiros, para contribuir para o aprimoramento do conhecimento e para a busca de critérios alocativos mais equânimes.

O empoderamento das metodologias de alocação equitativa de recursos da saúde pelos atores dos espaços públicos de negociação e definição da distribuição desses recursos deve ser contextualizado e utilizado como instrumento para apoiar a alocação equitativa, considerando o conhecimento dos demais indicativos da realidade dinâmica de funcionamento de um sistema municipal de saúde.

## REFERÊNCIAS

1. Almeida C, Travassos C, Porto SM, Baptista T. A reforma sanitária brasileira: em busca da equidade. Washington (DC): Organização Pan-Americana da Saúde; 1999. (OPAS. Pesquisa em Saúde. Documentos Técnicos, 17).
2. Hair JF, Tatham RL, Anderson RE, Black W. Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman; 2005. Técnicas emergentes em análise multivariada; cap.12, p.545-50.
3. Haykin S. Redes neurais: princípios e práticas. 2.ed. Porto Alegre: Bookman; 1999.
4. Heller L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. *Cienc Saude Coletiva*. 1998;3(2):73-84. DOI:10.1590/S1413-81231998000200007
5. Hirshberg A, Adar R. Artificial neural networks in medicine. *Isr J Med Sci*. 1997;33(10):700-2.
6. Noronha KVMS, Andrade MV. Desigualdades sociais em saúde: evidências empíricas sobre o caso brasileiro. *Rev Econ Nordeste*. 2001;32(N. Espec):877-97.
7. Porto S, Martins M, Travassos C, Viacava F. Avaliação de uma metodologia de alocação de recursos financeiros do setor saúde para aplicação no Brasil. *Cad Saude Publica*. 2007;23(6):1393-402. DOI:10.1590/S0102-311X2007000600014
8. Porto SM, Viacava F, Szwarcwald CL, Martins M, Travassos C, Vianna SM, et al. Alocação equitativa de recursos financeiros: uma alternativa para o caso brasileiro. *Saude Debate*. 2003;27(65):376-85.
9. Samarasinghe S. Neural networks for applied sciences and engineering: from fundamentals to complex pattern recognition. Boca Raton: Auerbach Publications/Taylor and Francis Group; 2006.
10. Sarle WS. Neural networks and statistical models. In: Proceedings of the 19. Annual SAS Users Group International Conference; 1994 Apr; Dallas, Texas. Cary (NC): SAS Institute; 1994.
11. Silva PLB. Serviços de Saúde: o dilema do SUS na nova década. *São Paulo Perspect*. 2003;14(1):69-85. DOI:10.1590/S0102-88392003000100008
12. Tafner MA, Xerez M, Rodrigues Filho IW. Redes neurais artificiais: introdução e princípios de neurocomputação. Blumenau: Eko; 1996.
13. Whitehead M. The concepts and principles of equity and health. *Int J Health Serv*. 1992;22(3):429-45.
14. Zhang G, Hu MY, Patuwo BE, Indro DC. Artificial neural networks in bankruptcy prediction: general framework and cross-validation analysis. *Eur J Oper Res*. 1999;116(1):16-32. DOI:10.1016/S0377-2217(98)00051-4

---

Trabalho baseado na dissertação de mestrado de Marina Araújo Rosas, apresentada à Universidade Federal de Pernambuco, em 2011.

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

---

## COMENTÁRIO DO EDITOR

Um dos grandes desafios a ser enfrentado pelos gestores públicos de saúde é definir uma modalidade de alocação de recursos, em um contexto de financiamento limitado, que atenda da melhor forma às necessidades da população. A esta questão fundamental para o gestor público, a pesquisa buscou responder, ao disponibilizar uma modalidade de alocação de recursos, que considera fatores que expressam as necessidades em saúde e os determinantes dos distintos níveis de desigualdades regionais/locais. O estudo construiu um fator de alocação que orienta uma distribuição de recursos mais equitativa, na medida em que considera as desigualdades socioeconômicas e epidemiológicas existentes entre os municípios de Pernambuco. Distancia-se, desta forma, da lógica que orienta parte da distribuição federal de recursos da saúde, a qual está relacionada com os níveis de produção.

A metodologia utilizada na construção do fator de alocação possui potencial de utilização/incorporação no sistema e serviços de saúde. Os resultados apontados são passíveis de reprodução, favorecedores do “fazer” de forma nova, com possibilidade de implantação. Indicam a potencialidade de expandir a abordagem para além do enfoque da transferência de recursos públicos do SUS, com uma metodologia que poderá ser utilizada em todas as relações de transferência de recursos entre as instâncias federativas – União, estados e municípios.

Profa. Rita de Cássia Barradas Barata  
Editora Científica