

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS PARA AVALIAÇÃO DO TEOR DE CARNE MECANICAMENTE SEPARADA EM SALSICHA DE FRANGO¹

Erlandsson Anthony de SOUSA², Luiz Carlos Viana TEIXEIRA³, Márcia Regina Pennacino

do Amaral MELLO⁵, Elizabeth Aparecida Ferraz da Silva TORRES⁴, José Machado MOITA NETO^{2,*}

RESUMO

A carne mecanicamente separada (CMS) de frango é uma matéria-prima cárnea produzida através de equipamentos próprios do tipo desossadores mecânicos, utilizando partes de frango de baixo valor comercial como o dorso e o pescoço. Para determinação do teor de CMS utilizada na composição de produtos cárneos comerciais construímos uma rede neural artificial do tipo *Backpropagation* (BP). O objetivo deste trabalho foi treinar, testar e aplicar uma rede do tipo BP, com três camadas de neurônios, para previsão do teor de CMS a partir do teor de minerais de salsichas formuladas com diferentes teores de carne de frango mecanicamente separada. Utilizamos a composição mineral de 29 amostras de salsicha contendo diferentes teores de CMS e 22 amostras de produtos cárneos comerciais. A topologia da rede foi 5-5-1. O erro quadrático médio no conjunto de treinamento foi de 2,4% e na fase de teste foi de apenas 3,8%. No entanto, a aplicação da rede às amostras comerciais foi inadequada devido à diferença de ingredientes das salsichas usadas no treinamento e os ingredientes das amostras comerciais. A rede neural construída para determinação do teor de carne mecanicamente separada mostrou-se eficiente durante a fase de treinamento e teste da rede.

Palavras-chave: redes neurais artificiais; carne mecanicamente separada.

SUMMARY

APPLICATION OF NEURAL NETWORK FOR EVALUATION OF THE AMOUNT OF MECHANICALLY DEBONED POULTRY MEAT IN SAUSAGE. Mechanically Deboned Poultry Meat (MDPM) is constituted of the neck and back from chicken carcasses that are extracted in machine. An artificial neural network of the Back-Propagation type was built to determine the amount of MDPM in the composition of commercial foods. The objective of this work was to train, evaluate and apply a network of the Back-Propagation type, with three layers of neurons, in predicting the amount of MDPM in relation to the amount of minerals in the sausage. We used the mineral composition of 29 product samples that contained different amounts of MDPM and 23 commercial samples. The topology of the network was a 5-5-1. The average quadratic error in the training group was of 2.4%, while in the test phase it was 3.8%. The application of the network to commercial samples was inadequate due to diversity of the ingredients used in the training and those found in commercial samples. The neural network developed for determining the MDPM was shown to be efficient in both the training phase and the test.

Keywords: artificial neural network; backpropagation; mechanically deboned poultry meat.

1 - INTRODUÇÃO

Entende-se por carne mecanicamente separada (CMS) de frango, a carne residual produzida através de equipamentos próprios do tipo desossadores mecânicos, utilizando como matérias-primas partes de frango, principalmente as de baixo valor comercial, como o dorso e pescoço. A separação mecânica basicamente envolve trituração da carne e ossos, forçando a carne a passar por peneiras, separando-se assim dos ossos. Este processo altera a composição da matéria-prima original, resultando em material com maiores teores de gordura e minerais. Isso se deve em grande parte à incorporação de lipídeos e pigmentos *heme* existentes na medula óssea e na camada de gordura subcutânea, e cálcio e fósforo provenientes das partículas ósseas [1, 8, 9].

A carne mecanicamente separada é uma matéria-prima cárnea de baixo custo, cuja textura pastosa, fina e uniforme, diferente da textura mais fibrosa da carne

desossada manualmente, tem sido predominantemente utilizada em produtos emulsionados [3, 14]. Devido a suas características, seu uso é limitado nos produtos que requerem granulometria maior ou com textura mais fibrosa como a da carne manualmente separada, utilizada nos hambúrgueres, apesuntados, lingüiças, a menos que sejam utilizados juntamente com grandes quantidades da carne manualmente separada [3, 9]. Apesar de alguns estudos estarem sendo conduzidos para avaliar o uso de diferentes proporções de CMS em vários tipos de produtos cárneos, a legislação brasileira permite a utilização dessa matéria-prima apenas em produtos cárneos industrializados cozidos específicos como: salsicha (60%), mortadela (60%), lingüiça (20%), almôndega (30%), fiambre (30%) e hambúrguer (30%) nos seus respectivos limites máximos [4, 5].

A determinação do teor de CMS que entra na composição destes alimentos comerciais permanece um desafio, pois não é possível avaliar apenas a variável, por exemplo teor de cálcio, e determinar a partir desta, a porcentagem de CMS da amostra. Uma análise mais completa dos constituintes minerais aumenta também a complexidade do problema, conduzindo ao uso de ferramentas estatísticas mais sofisticadas, dentre as quais a mais simples é sem dúvida a regressão linear múltipla. Outras técnicas como a análise de componentes principais e análise de agrupamento hierárquico também podem ser utilizadas [11]. Em todos estes casos se faz necessário um conjunto de treinamento onde amostras com teor

¹ Recebido para publicação em 13/09/1999. Aceito para publicação em 19/05/2003. (000361)

² Departamento de Química – Universidade Federal do Piauí. CEP 64049-550 – Teresina – Piauí – Brasil. E-mail: jmoita@ufpi.br ou jmoita@uol.com.br

³ Departamento de Informática e Estatística – Universidade Federal do Piauí.

⁴ Departamento de Nutrição – Faculdade de Saúde Pública – USP.

⁵ Divisão de Bromatologia e Química – Instituto Adolfo Lutz – SP.

* A quem a correspondência deve ser enviada.

conhecido são analisadas e o sistema é calibrado para posteriores previsões. Uma técnica recente, apresentada neste trabalho, é o uso de redes neurais artificiais (RNAs) [7, 12]. Na química, problemas classicamente resolvidos por técnicas multivariadas como a análise de componentes principais, por exemplo, são agora comparados com a solução através de redes neurais [6].

As RNAs são programas computacionais que imitam o funcionamento do cérebro humano através de uma estrutura em rede, na qual as informações são passadas à camada de entrada, processadas em uma ou mais camadas escondidas (também chamadas intermediárias) e o resultado emerge na camada de saída [7, 12]. A topologia de uma rede é definida pelo número de neurônios de cada camada e pelos pesos de cada uma das conexões entre camadas. As RNAs são utilizadas em qualquer tipo de problema, seja ele relacionado com as ciências da natureza ou com as ciências humanas, onde se requeira a modelagem e previsão de sistemas não-lineares complexos. Elas funcionam por meio de aprendizagem, que pode ser supervisionada ou não-supervisionada. A aprendizagem supervisionada consiste em fornecer informações à rede através dos dados de entrada e dos resultados desejados. A rede, na fase de treinamento, utiliza os dados de entrada e, através de pesos, tenta chegar ao resultado desejado pelo supervisor. Existem vários tipos de redes neurais artificiais. As RNAs mais simples são do tipo *Backpropagation*, que utiliza a aprendizagem supervisionada, e que é um algoritmo que utiliza a retroalimentação, ou seja, neste tipo de rede, os pesos são modificados durante o cálculo de modo que o próximo peso será dado em função do peso atual, da diferença entre a saída desejada e a saída atual e da denominada taxa de aprendizado. O processo é concluído quando os resultados obtidos nesta fase de treinamento reproduzem adequadamente a saída desejada [13].

O objetivo deste trabalho foi treinar, testar e aplicar uma rede do tipo *Backpropagation*, com três camadas de neurônios, para previsão do teor de carne mecanicamente separada em produtos cárneos a partir do teor de minerais de salsichas formuladas com diferentes teores de CMS.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Material

Neste trabalho utilizamos a composição mineral (teor de cálcio, ferro, magnésio, zinco, e fósforo) de 29 amostras de salsicha contendo diferentes teores de CMS (0, 20, 40 e 60%) e 22 amostras de produtos cárneos comerciais, segundo AMARAL-MELLO [1].

As salsichas foram formuladas com diferentes teores de CMS: 0, 20, 40 e 60%, variando-se as quantidades dos ingredientes cárneos (carne bovina, paleta sem aparas e/ou gorduras, CMS obtida da mistura de dorso e pescoço com pele e toucinho), a quantidade de água e utilizando a mesma quantidade de ingredientes não cárneos em todas as formulações, mantendo-se cons-

tantes a relação umidade/proteína de 4,7 e o teor de gordura de 20%.

As formulações foram realizadas em duas etapas, consistindo de dois tratamentos. As amostras foram codificadas por letras e números, sendo as letras *a, b, c e d* correspondentes à utilização de 0, 20, 40 e 60% de CMS, respectivamente, e os números de 1 a 4, correspondendo às repetições do primeiro tratamento e as repetições 5 a 8, ao segundo tratamento.

As salsichas depois de processadas, foram embaladas a vácuo, com conteúdo aproximado de 1kg, identificadas e armazenadas em câmara de congelamento a -18°C para posterior análise. As determinações dos minerais procederam-se no prazo máximo de 10 dias após a formulação, no produto descongelado em geladeira durante 24 horas.

Quanto às amostras comerciais, foram analisadas 22 produtos cárneos de 12 diferentes marcas, sendo distribuídas da seguinte forma: 18 salsichas, 3 mortadelas e 1 nugget de frango. Vinte das amostras continham carne de frango mecanicamente separada em suas formulações.

Os teores de minerais foram determinados através de espectrômetro de emissão atômica com plasma de argônio acoplado indutivamente (ICP), modelo Optima 3000 DV, marca Perkin-Elmer, como preconizado na AOAC [2]. As condições instrumentais e os parâmetros operacionais encontram-se no *Quadro 1*.

QUADRO 1. Condições instrumentais do ICP e parâmetros operacionais

Característica	Ajuste	Elemento	λ (nm)
Potência de radio-freqüência	1350W	Ca	422
Fluxo de nebulização	0,72L/min	Fe	260
Fluxo auxiliar	0,50L/min	P	215
Fluxo da bomba	1,50mL/min	Mg	280
Plasma	15,00L/min	Zn	213

2.2 - Métodos

O programa utilizado para obtenção da rede neural foi o SLUG3, escrito por Charles Marais, em linguagem Pascal [10].

As amostras de salsicha com teor de CMS conhecido foram divididas em dois grupos que estão apresentados na *Tabela 1*. O primeiro, contendo 21 amostras, foi utilizado para treinar a rede (conjunto de treinamento). O segundo, contendo 8 amostras, foi utilizado para avaliar os erros de predição da rede (conjunto teste). A topologia da rede foi 5-5-1, ou seja, 5 neurônios na camada de entrada, 5 neurônios na camada escondida e 1 neurônio na camada de saída. Portanto, o conjunto de treinamento consistiu de matriz com 21 linhas (amostras) e 6 colunas (cinco variáveis e o teor de CMS) e o conjunto teste de 8 amostras e 5 variáveis.

TABELA 1. Teor de minerais em mg/100g de salsichas formuladas com *diferentes* quantidades de carne mecanicamente separada (a= 0% de CMS; b=20% de CMS; c=40% de CMS; d=60% de CMS)

Amostras	[Ca]	[Fe]	[P]	[Mg]	[Zn]	Conjunto
a1	9,6	2,5	164,3	15,0	2,1	Teste
a2	12,4	2,9	206,9	17,9	5,8	Treinamento
a3	9,8	2,4	155,1	15,9	2,1	Treinamento
a4	10,1	2,3	166,8	15,3	1,9	Treinamento
a5	14,9	3,2	236,9	20,4	2,9	Treinamento
a6	12,3	2,4	208,9	17,6	2,5	Treinamento
a7	14,1	3,3	244,2	20,4	2,8	Treinamento
a8	12,4	2,5	210,7	17,4	2,5	Teste
b1	12,0	2,1	126,9	13,2	1,5	Teste
b2	15,0	2,2	180,5	16,4	1,8	Treinamento
b3	18,1	2,5	218,2	16,3	1,8	Treinamento
b4	18,1	2,7	219,6	18,8	1,9	Treinamento
b5	21,0	3,1	247,2	20,7	2,6	Treinamento
b6	19,8	3,3	224,9	22,2	2,8	Treinamento
b7	21,9	3,5	281,9	23,7	2,9	Treinamento
b8	35,5	5,2	304,5	26,5	3,5	Teste
c1	30,2	3,0	236,7	20,4	1,9	Teste
c2	34,4	3,3	266,1	22,3	1,9	Treinamento
c3	31,1	3,7	284,6	24,4	2,6	Treinamento
c4	26,0	2,7	233,1	20,5	2,3	Treinamento
c5	31,1	2,8	269,6	23,5	2,6	Treinamento
c6	29,6	2,9	280,8	23,0	2,5	Treinamento
c7	29,6	3,0	257,1	23,0	2,5	Teste
d1	39,8	5,0	322,9	27,1	2,6	Teste
d2	33,5	4,7	316,9	27,7	2,7	Treinamento
d3	39,6	4,1	282,2	24,2	2,4	Treinamento
d4	36,1	2,9	308	21,7	2,1	Treinamento
d5	39,6	3,1	290,7	25,5	2,6	Treinamento
d6	21,1	1,8	190,7	15,3	1,5	Teste

A rede obtida também foi aplicada a 22 amostras comerciais de salsicha, mortadela e nugget de frango, apresentadas na *Tabela 2*, para determinação do teor de CMS.

Os dados foram normalizados de modo que o maior valor numérico para cada variável do conjunto de treinamento fosse próximo a 1. Para isto, os dados originais foram divididos pelos seguintes fatores Ca: 50; Fe: 10; P: 500; mg: 50; Zn: 10. A porcentagem de CMS foi dividida por 100, portanto o teor de CMS está expresso nos resultados numa escala de 0 a 1. Este procedimento não afeta o resultado final e evita que os pesos sejam muito baixos, facilitando assim a execução do programa.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Tabela 3* mostra os resultados previstos para o conjunto de treinamento. O erro quadrático médio no conjunto de treinamento foi de 2,4%, portanto a rede consegue reproduzir bem o teor de CMS das amostras usadas na sua construção. A eficácia da utilização de um conjunto de treinamento, que engloba uma grande

TABELA 2. Composição mineral mg/100g de amostras comerciais com teor de CMS desconhecidos

Produto	[Ca]	[Fe]	[P]	[Mg]	[Zn]
Salsicha	89,0	3,0	300,1	19,3	1,6
Salsicha	141,7	2,3	306,7	15,5	1,3
Salsicha	83,5	1,5	270,7	17,4	0,7
Salsicha	75,0	3,1	260,7	14,9	2,3
Salsicha de frango	40,2	1,7	208,6	13,1	0,9
Salsicha sem CMS	22,2	1,8	183,1	13,2	2,2
Salsicha de frango	78,8	3,6	279,8	31,6	1,6
Salsicha	147,0	3,3	335,6	27,1	2,0
Salsicha	89,9	3,0	258,3	30,6	1,9
Salsicha	374,5	2,3	302,4	12,5	1,6
Salsicha	78,5	3,0	289,5	30,1	2,1
Salsicha de frango	61,2	3,0	256,9	21,8	1,8
Salsicha	113,3	3,8	315,3	33,4	2,0
Salsicha	110,3	4,2	302,1	30,6	3,7
Salsicha sem CMS	122,0	1,9	219,1	16,3	1,3
Salsicha	85,2	2,7	217,7	14,0	1,2
Salsicha	91,6	3,3	293,5	16,9	1,7
Salsicha	38,9	2,7	246,6	16,4	0,9
Nugget de frango	14,6	1,2	123,7	19,9	1,0
Mortadela	51,7	2,6	432,5	11,9	1,4
Mortadela	11,0	1,0	172,4	8,6	1,9
Mortadela de frango	21,9	1,9	200,8	22,0	1,3

variabilidade (dispersão) nos dados analíticos, pode ser evidenciada nas amostras do grupo a, pois embora o teor de fósforo da amostra a7 e o teor de zinco da amostra a2 sejam bem diferentes do restante do grupo a, os erros na fase de treinamento para este grupo foram baixos.

A *Tabela 4* mostra os resultados obtidos no conjunto teste. O erro quadrático médio encontrado nesta fase foi de aproximadamente 13,7%. Este erro deve-se principalmente a amostra b8 com 20% de CMS que apresentou através da rede um valor de 55,1% de CMS.

O valor alto para esta amostra b8 era esperado uma vez que a análise de componentes principais aplicado a este conjunto de dados também mostrou que a amostra b8 é um *outlier* em relação as amostras com teores de 20% de CMS. Como as amostras foram embaladas, codificadas e congeladas para posterior análise, pode ter havido algum engano na hora da codificação da amostra b8, pois a mesma apresenta teores minerais mais próximos das amostras com 60% de CMS. Esta hipótese é corroborada pelo valor encontrado pela rede (55,1% de CMS). O erro quadrático médio, expurgando a amostra b8, cai para 3,8%, sendo apenas ligeiramente superior

ao valor do erro obtido no conjunto de treinamento. Portanto, a aplicação desta rede a conjunto de dados semelhantes deve conduzir, na média, a erros inferiores a 4% no teor de CMS.

TABELA 3. Erro obtido durante o treinamento da rede neural para cada amostra

Amostras	Resultado Esperado	Resultado Obtido	Erro Absoluto %
a2	0,000	-0,001	0,1
a3	0,000	-0,001	0,1
a4	0,000	0,009	-0,9
a5	0,000	0,017	-1,7
a6	0,000	0,005	-0,5
a7	0,000	0,000	0,0
b2	0,200	0,177	2,3
b3	0,200	0,235	-3,5
b4	0,200	0,156	4,4
b5	0,200	0,206	-0,6
b6	0,200	0,198	0,2
b7	0,200	0,191	0,9
c2	0,400	0,456	-5,6
c3	0,400	0,418	-1,8
c4	0,400	0,395	0,5
c5	0,400	0,445	-4,5
c6	0,400	0,386	1,4
d2	0,600	0,608	-0,8
d3	0,600	0,570	3,0
d4	0,600	0,583	1,7
d5	0,600	0,596	0,4

Após a fase de treinamento e teste, a rede foi aplicada a amostras comerciais. Os resultados estão apresentados na *Tabela 5*. A aplicação da rede neural às amostras comerciais mostrou-se completamente inadequada, pois a maioria dos resultados indicaram um teor de CMS superior a 100%, o que é impossível. O motivo desta inadequação está nas formulações comerciais que contêm além da CMS, outras matérias-primas que contribuem para o composição mineral e diferem das matérias-primas utilizadas nas salsichas cuja composição foi apresentada a rede durante o treinamento. A grande eficiência da rede durante a fase teste foi devido ao uso dos mesmos ingredientes nos conjuntos de treinamento e teste. Portanto, a presente metodologia é aplicável apenas nos casos onde o conjunto de aplicação tem os mesmos ingredientes do conjunto de treinamento.

TABELA 4. Erro obtido durante o teste da rede neural para cada amostra

Amostras	Resultado Esperado	Resultado Obtido	Erro Absoluto %
a1	0,000	0,003	-0,3
a8	0,000	0,010	-1,0
b1	0,200	0,233	-3,3
b8	0,200	0,551	-35,1
c1	0,400	0,441	-4,1
c7	0,400	0,405	-0,5
d1	0,600	0,668	-6,8
d6	0,600	0,567	3,3

TABELA 5. Teor de CMS calculado pela rede neural para as amostras comerciais

Produto	Resultado obtido
Salsicha	3,113
Salsicha	3,395
Salsicha	3,058
Salsicha	3,081
Salsicha de frango	1,808
Salsicha sem CMS	1,233
Salsicha de frango	0,759
Salsicha	3,645
Salsicha	1,970
Salsicha	3,989
Salsicha	1,547
Salsicha de frango	1,669
Salsicha	2,515
Salsicha	3,318
Salsicha sem CMS	3,331
Salsicha	3,138
Salsicha	3,204
Salsicha	0,800
Nugget	0,031
Mortadela	2,260
Mortadela	1,185
Mortadela de frango	0,163

4 – CONCLUSÕES

A rede neural construída para determinação do teor de carne mecanicamente separada mostrou-se eficiente durante a fase de treinamento e teste da rede. Entretanto, a aplicação da rede às amostras comerciais foi inadequada devido a diferença de ingredientes das salsichas usadas no treinamento e os ingredientes das amostras comerciais.

5 –REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMARAL-MELLO, M. R. P. Parâmetros de qualidade para avaliar a utilização de diferentes teores de carne de frango mecanicamente separada em salsicha. São Paulo, 1998. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo (USP).
- [2] AOAC. **Official methods of analysis**. 16th ed. Ass. Off. Analytical Chem., Gaithersburg, Md, 1995. v. 1, cap. 3, p. 3-4.
- [3] BERAQUET, N. J. Panorama da carne de frango mecanicamente separada. In: Seminário sobre Produção e Utilização de Carne de Frango Separada Mecanicamente, Campinas, 1988. **Anais**. Campinas, ITAL, p. 1-19, 1988.
- [4] BRASIL. Leis, decretos, etc. Instrução Normativa n. 4, 31 de mar. 2000 da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Lingüiça e de Salsicha. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 abr. 2000, Seção 1, p. 6-10.
- [5] BRASIL. Leis, decretos, etc. Instrução Normativa n. 20, 31 de jul. 2000 da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Almôndega, de Apresuntado, de Fiambre, de Hambúrguer, de Kibe, de Presunto Cozido. **Diário Oficial da União**, Brasília, nº 149, 03 ago. 2000, Seção 1, p. 7-12.
- [6] BROWN, C. W. E LO, S. C. Chemical Information Based on Neural Network Processing of Near-IR Spectra. **Anal. Chem.** v. 70, p. 2983-2990, 1998.
- [7] FREITAS, M. A. S. **Neurocomputação Aplicada**. In: Apostila impressa na gráfica da UFPI. Teresina. 1998. 60 p.
- [8] FRONING, G.W. Mechanically deboned poultry meat. **Food Technol.**, v. 30, n. 9, p. 50-63. 1976
- [9] INSTITUTE OF FOOD TECHNOLOGIST. Expert Panel on Food Safety and Nutrition. Mechanically deboned red meat, poultry and fish. **Food Technol.**, v. 33, n. 3, p. 77-79. 1979
- [10] MARAIS, C. Southern Scientific CC. 17 Capri Rd. St James. South Africa 7951. A versão 2.2 (SLUG3) é a última versão gratuita do programa SLUG: Backpropagation Neural Network for Windows.
- [11] MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469.1998
- [12] MUKESH, D. Aplications of neural computing for process chemists. **Journal of Chemical Education**, v. 73, p. 431-433, 1996.
- [13]TAFNER, M. A.; XEREZ, M.; RODRIGUES FILHO., I. W. **Redes Neurais Artificiais - Introdução e princípios de neurocomputação**. EKO e FURB, Blumenau. 1995.
- [14] THOMPSON, L.D.; JANKV, D.M.; ARAFA, A.S. Emulsion and storage stabilities of emulsion incorporating mechanically deboned meat and various soy flours. **J. Food Sci.**, v. 49,p. 1358-1362, 1984.

6 – AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem à FAPESP e ao CNPq, pelo apoio financeiro nas formas de auxílio à pesquisa e bolsa pesquisador, à Profa: Elizabeth A.F.S. Torres, ao PRONUT/USP e ao Prof. Dr. Marcos Airton de Sousa Freitas da UNIFOR, pelas sugestões apresentadas a este trabalho.