

EQUAÇÃO NÃO LINEAR PARA ESTIMATIVA DE TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CONCRETOS CONTENDO RCD EXTRAÍDA DE RNA DO TIPO *FEEDFORWARD* TREINADA POR RETROPROPAGAÇÃO

Paulo Vitor Souza Santos¹ ; Koji de Jesus Nagahama² ; Brunelle de Oliveira Santos³ ; Anderson de Souza Matos Gadéa⁴

1. Bolsista PIBIC/FAPESB, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: pvss.uefs@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: kjnagahama@gmail.com
3. Bolsista PROBIC/UEFS, Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: brunawek@hotmail.com
4. Co-Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: agadea@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: redes neurais artificiais, tração na flexão, concreto contendo RCD.

INTRODUÇÃO

O agregado reciclado de Resíduo de Construção e Demolição – RCD – é constituído, basicamente, por fase de argamassa, concreto, cerâmica e rocha natural (Leite, 2001). De acordo com Lima (2008), a variabilidade das propriedades físicas e mecânicas dos agregados de RCD é a principal fonte das discordâncias atestadas na investigação da influência desses agregados sobre as propriedades mecânicas dos concretos aos quais são adicionados.

A busca pela viabilidade técnica da utilização de concretos produzidos a partir da adição de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição tem por objetivo precípuo a redução dos impactos produzidos pela Construção Civil. John (2000) responsabiliza o setor pela demanda estimada em 50% dos recursos naturais extraídos.

Segundo Lima (2008), o setor é um dos mais importantes da economia brasileira, responsável por aproximadamente 13% do PIB nacional. A necessidade de garantir o ritmo de desenvolvimento econômico de forma sustentável tem motivado a realização de pesquisas voltadas para a produção de concretos não convencionais, onde os estudos pioneiros (Leite, 2001) têm se tornado cada vez mais sofisticados (Öztaş, 2006 e Dantas, 2011) em termos de metodologia empregada.

METODOLOGIA

A proposição de um modelo matemática para estimativa da TF em concretos contendo agregados reciclados de RCD baseou-se na Técnica de Inteligência Artificial – IA

denominada Redes Neurais Artificiais – RNA. Foram empregadas RNA do tipo *feedforward* com uma camada oculta, treinadas com o algoritmo *backpropagation*. Os dados que alimentaram as RNA, extraídos do primeiro banco de dados que armazenam propriedades do concreto com RCD proveniente dos estudos desenvolvidos na UEFS, UFRGS, UNISINOS e UFPA, foram minerados segundo um Analisador de Componentes Principais (MINGOTI, 2007) para redução da dimensionalidade do vetor de entrada.

Segundo as restrições impostas pelo *Teorema de Nielsen-Kolmogorov*, as RNA foram treinadas com a quantidade máxima de neurônios na camada oculta igual a $2n+1$ (Kovács, 1996). Durante a qualificação das RNA, 60% dos dados foram empregados no treinamento, 20% na validação e 20% no teste. A RNA com a melhor eficiência de associação sináptica foi identificada com base na distribuição dos erros obtidos durante o treinamento e representados graficamente por meio de gráficos de caixa (*boxplot*).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dantas (2011) propôs modelos de predição para várias propriedades físicas e mecânicas do concreto com RCD através de RNA. O modelo de predição para TF foi extraído de uma rede *feedforward* treinada por retropropagação do erro alimentada com 3 (três) variáveis de entrada: Fator Água Cimento – AC –, Percentual de Agregado Miúdo Reciclado – PAM –, e Percentual de Agregado Graúdo Reciclado – PAG.

Segundo a técnica estatística multivariada (Tabela 1), a RNA qualificada em predição de TF pode reduzir a dimensão de seu vetor de entrada para 2.

Tabela 1. ACP segundo matriz de covariância amostral para TF aos 28 dias*

	1ª Componente	2ª Componente	3ª Componente
z.AC	0.072970141614658	-0.995941394193872	0.052688687247873
z.PAG	0.703862742303866	0.088854299416169	0.704756804487721
z.PAM	0.706578090821686	0.014340599932684	-0.707489751702703
Auto-valor	12.266102411768864	10.996549518993600	9.571762131411283
VTE	37.36%	33.49%	29.15%

* tratamento de 122 dados.

Conforme Tabela 1, observa-se que a 1ª e 2ª Componentes Principais acumulam 70,85% da VTE e que a 3ª Componente possui maior projeção no eixo da variável padronizada associada ao Percentual de Agregado Miúdo – z.PAM – assegurando a eliminação da variável original PAM (Costa Paiva et. Al, 2010), promovendo a simplificação da arquitetura conforme mostra a Figura 1 mais adiante.

Conforme o *boxplot* para as RNA qualificadas em predição de TF (Figura 2), a rede que possui 5 (cinco) neurônios na camada oculta apresentou o melhor desempenho de generalização do conhecimento, sendo as associações sinápticas desta RNA a equação não linear com maior eficiência para a estimação desta propriedade mecânica (Equação 1).

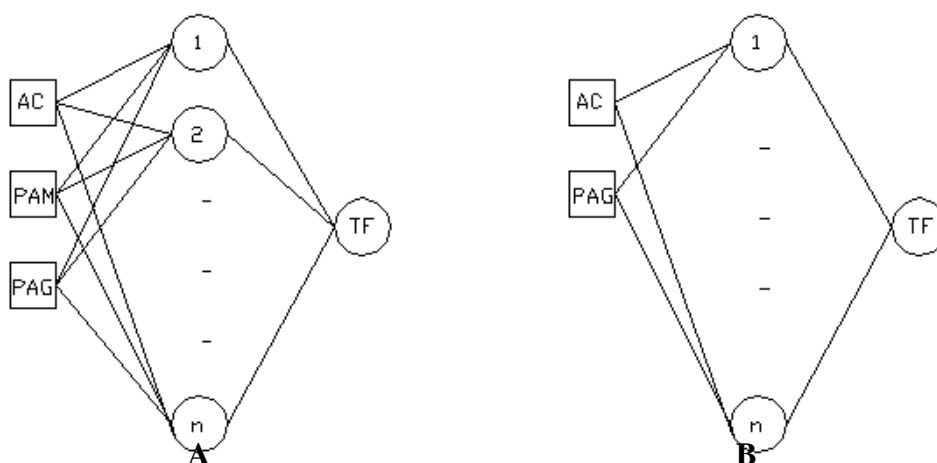


Figura 1. Projeto arquitetural para predição da TF. **A** – Dantas (2011). **B** – Redução da dimensionalidade com ACP.

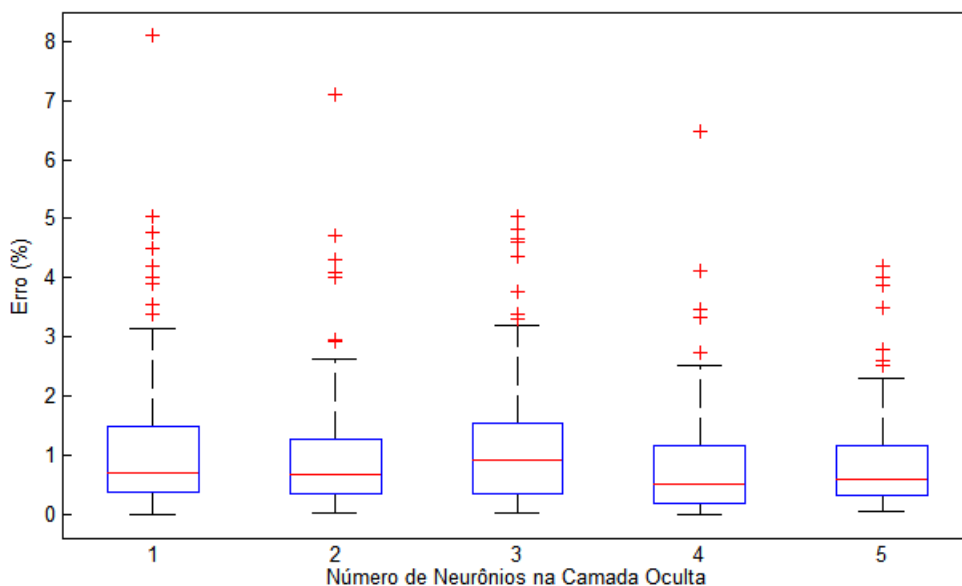


Figura 2. Boxplot dos erros para o treinamento de RNA qualificadas em predição de Tração na Flexão.

$$TF(PAG, AC) = 0,079376*\tanh(k1) - 0,024368*\tanh(k2) + 0,054124*\tanh(k3) - 0,024102*\tanh(k4) - 0,161*\tanh(k5) - 5,8044 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$$k1 = 1,1294*PAG - 7,8248*AC - 8,3825$$

$$k2 = -9,6153*PAG - 0,98438*AC - 7,4267$$

$$k3 = 9,7598*PAG + 6,6029*AC + 4,2362$$

$$k4 = -6,7223*PAG - 3,5821*AC - 4,273$$

$$k_5 = 0,874 * \text{PAG} - 10,699 * \text{AC} - 0,009448$$

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As RNA, consideradas aproximadores universais de funções contínuas e limitadas, apresentam excelente potencial para a proposição de modelo de predição de Tração na Flexão em concretos com agregados de RCD, material de elevada heterogeneidade.

REFERÊNCIAS

COSTA PAIVA, A. L.; TEIXEIRA, R. B.; YAMAKI, M.; MENEZES, G. R. O.; LEITE, C. D. S.; TORRES, R. A. Análise de componentes principais em características de produção de aves de postura. R. Bras. Zootec. vol.39 no.2 Viçosa Feb. 2010

DANTAS, A. T. A. Utilização de redes neurais artificiais na predição de propriedades físicas e mecânicas de concretos contendo resíduos de construção e demolição. Feira de Santana, 2011. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduo na construção civil: contribuição à metodologia da pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. Tese (livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

KOVÁCS, Z. L. Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações. São Paulo: Ed. Collegium Cognitio e Edição Acadêmica, 1996.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Porto Alegre, 2001. 270p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LIMA, P. R. L. Efeito da interação entre agregado graúdo, agregado miúdo e fator água-cimento sobre as propriedades mecânicas do concreto reciclado (Progressão para Titular) – Universidade Estadual de Feira de Santana.

MINGOTI, Sueli Aparecida. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007. 295p. ISBN 857041451X (broch.).

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise multivariada de dados. Química Nova, vol. 21, n. 4, 1998. Universidade Federal do Piauí.

ÖZTAS, A.; PALA, M.; ÖZBAY, E.; KANCA, E.; ÇAGLAR, N.; BHATTI, M. A. Predicting the compressive strength and slump of high strength concrete using neural network. Construction and Building Materials, n. 20, 2006, p. 769-775.