

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CONCRETOS UTILIZANDO A ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Karine Duque Cruz¹; Koji de Jesus Nagahama²

1. Bolsista PROBIC/UEFS, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: karine-duque@hotmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: koji@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: resíduo de construção e demolição; concreto reciclado; análise de componentes principais

INTRODUÇÃO

Na tentativa de redução do impacto causado ao ambiente pelas atividades humanas todos os segmentos da sociedade têm buscado repensar suas estratégias de produção. A construção civil é um dos segmentos industriais que mais consome recursos naturais. O desenvolvimento de novos materiais a base de cimento vem sendo estimulado pela capacidade de incorporação de resíduos sólidos ao concreto, o que tende a minimizar o impacto ambiental destes resíduos e aprimorar este material, abrindo campo para novas aplicações.

Para modelagem foram utilizadas Redes Neurais Artificiais (RNA), que são um dos tipos de técnicas de inteligência computacional, em que se utiliza a denominada computação natural para a solução dos problemas e podem ser aplicadas em tarefas em que se tem uma base de dados de um problema específico. Para preparação dos dados foi utilizado o método de modelagem numérica Análise de Componentes Principais (ACP), a qual é associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada utilizando o software Matlab, onde as RNA foram desenvolvidas. Nesta pesquisa, além das RNA, aplicou-se também o método de modelagem estatística da ACP. Os dados experimentais foram coletados dos trabalhos de Leite (2001), Vieira (2003), Cabral (2007), Lovato (2007) e Lima (2008). Os resultados foram agrupados para montagem de uma RNA geral, que permitisse avaliar as propriedades de Resistência à compressão e Módulo de Deformação do concreto reciclado (concreto contendo agregados graúdos e miúdos oriundos de resíduos de construção e demolição).

Tabela 1: Nomenclatura das variáveis de entrada

Variável	Nomenclatura	Variável	Nomenclatura
RAC	Relação água-cimento	FGR	Módulo de finura do agregado graúdo reciclado
PAM	Percentual de agregado miúdo reciclado	DMN	Dimensão máxima do agregado miúdo natural
PAG	Percentual de agregado graúdo reciclado	DMR	Dimensão máxima do agregado miúdo reciclado
ARG	Percentual de agregado reciclado de	DGN	Dimensão máxima do agregado graúdo natural
COC	Percentual de agregado reciclado de	DGR	Dimensão máxima do agregado graúdo reciclado
CER	Percentual de agregado reciclado de	CIM	Quantidade de cimento
OUT	Percentual de outros materiais	ADT	Percentual de aditivo
TAR	Teor de argamassa	CAM	Taxa de compensação do agregado miúdo reciclado
TAG	Teor de agregados	CAG	Taxa de compensação do agregado graúdo reciclado
FMN	Módulo de finura do agregado miúdo	ABM	Taxa de absorção do agregado miúdo reciclado
FMR	Módulo de finura do agregado miúdo	ABG	Taxa de absorção do agregado graúdo reciclado
FGN	Módulo de finura do agregado graúdo	IDE	Idade

Os dados foram preparados utilizando o método de modelagem ACP. Modelaram-se dois tipos de RNA, uma em que todos os dados foram destinados apenas para a fase de treinamento (RNA-1) e outra em que 70% dos dados foram utilizados na fase de

treinamento e 30% dos dados utilizados na fase de validação (RNA-2). As RNA utilizadas foram do tipo feedforward multicamadas. O algoritmo de aprendizado adotado foi o backpropagation, e associado ao algoritmo backpropagation o algoritmo de treinamento Levenberg Marquardt (LM).

Para as propriedades analisadas, a RNA que apresentou maior valor do coeficiente de determinação (R^2) é a que possui a maior confiabilidade. Além da verificação do coeficiente de determinação utilizou-se como critério de escolha da RNA, o histograma de distribuição de erros pois um elevado coeficiente de determinação, por si só, não garante erros pequenos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a propriedade da resistência à compressão, aos 3, 7, 28 e 91 dias, de concretos contendo RCD, o banco de dados possui um total de 1180 resultados e 24 variáveis, as quais estão descritas na Tabela 1.

Inicialmente foram modeladas RNA com todas as variáveis apresentadas na Tabela 1. Referente à RNA-1 com 9 neurônios, sendo o coeficiente de determinação igual a 0,960, 86% dos dados apresentaram erros numa faixa de -10% a 10%. Sendo modelo satisfatório para predição de resistência à compressão contendo RDC.

Após aplicar a técnica ACP, as 24 variáveis foram reduzidas para 10, as quais explicam 98,1% da variância total do dados. As variáveis FMN e CAG foram as que apresentaram maior influência com, respectivamente, 36,1% e 22%. Em seguida tem-se CAM com 11,1%, DGR com 7,8%, CER com 5,4%, DMR com 4,7%, IDE com 3,7%, PAG com 3,1%, PAM com 2,7% e COC com 1,5%. As RNA foram modeladas, então, com 10 variáveis de entrada.

Para nenhuma das RNA modeladas, o valor de R^2 apresentou-se maior que 0,95. O maior valor encontrado foi 0,648, na RNA em que todos os dados foram utilizados apenas na fase de treinamento (RNA-1), utilizando-se 10 neurônios. A qual foi adotada neste trabalho para a predição da resistência à compressão de concretos contendo RCD. Esse modelo está ilustrado na Equação (1) e Equação (2). Sendo o erro médio para esta RNA é de -9,20382%.

$$FC = -\frac{210,6041}{e^{k_1+1}} + \frac{1301,1517}{e^{k_2}} + \frac{16,472}{e^{k_3}} - \frac{667,6875}{e^{k_4}} + \frac{2014,5684}{e^{k_5}} + \frac{160,4061}{e^{k_6}} + \frac{72,8222}{e^{k_7}} + \frac{1177,4028}{e^{k_8}} + \frac{164,5601}{e^{k_9}} + \frac{1238,3274}{e^{k_{10}}} + 2179,8737 \quad (1)$$

Onde:

$$k_j = \sum_{i=0}^{10} M_{i0} x M_{ij} \quad \therefore j = 1..10 \quad (2)$$

Tabela 2: Coeficientes M da Equação (1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PAM	0,0137	-1,54E-04	-8,54E-03	-0,0571	-0,0312	-0,0128	0,0173	0,0347	-4,60E-03	8,76E-03
PAG	-0,0926	-2,98E-03	0,1149	-2,41E-03	-7,99E-04	-0,0350	0,0211	5,69E-04	-0,0110	-0,0122
COC	-0,0144	0,0206	-4,0140	-0,0185	0,0197	0,6546	0,1283	-0,0353	-1,1331	-0,0144
CER	-0,1088	0,1221	0,9315	-0,0755	-0,0560	-0,6697	-0,0184	0,0680	1,3172	-0,1307
FMN	3,8216	5,8661	-13,6322	-11,3919	-8,6815	-58,6276	7,8234	-6,9578	6,8909	22,259
DMR	146,5318	-242,6314	-352,5512	162,3804	88,9007	209,9085	-328,2419	-27,8648	-438,6335	17,5154
DGR	-0,7923	-0,4078	-0,8150	0,8488	0,2853	-0,4671	-0,5516	-0,6373	-0,9270	2,0487
CAM	0,4769	-0,0254	2,4456	0,3404	0,3227	0,9653	-0,2194	0,4912	0,7938	-0,2647
CAG	-0,1330	0,0144	-0,2643	-0,1619	-0,1230	0,3295	-0,0132	-0,1599	-0,5491	-0,6237
IDE	5,92E-03	-0,1665	-0,0949	6,38E-05	-3,25E-05	-0,0109	-4,17E-03	-7,88E-05	4,02E-03	0,4780
Constante	-719,861	1149,6305	1655,8766	-767,065	-416,1	-889,883	1573,165	142,0849	2071,488	-134,07

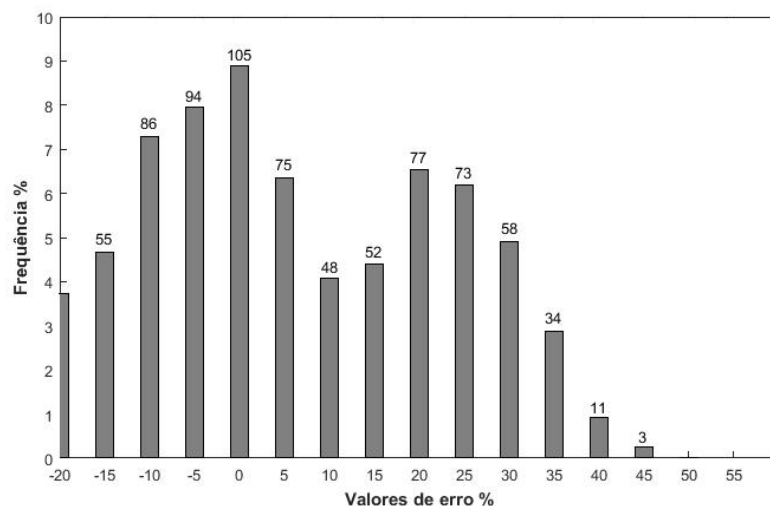


Figura 1: Histograma de erros para resistência à compressão

Foi elaborado o histograma dos erros obtidos da comparação dos resultados gerados pela RNA com os dados experimentais, ilustrado na Figura 1. Observa-se que 34,6% dos dados apresentam erros numa faixa de -10% a 10%. Esse resultado implica que o modelo gerado não é considerado satisfatório para a predição de resistência à compressão de concreto contendo RCD. Fazendo uma comparação entre os modelos gerados, sem e com a utilização de ACP, podemos observar que o modelo é bom e que a aplicação da ACP sem os devidos cuidados pode prejudicar o modelo, pois para um determinado conjunto de dados variáveis que tem importância podem acabar sendo desprezadas.

Para a propriedade do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD, o banco de dados possui um total de 314 resultados e 23 variáveis, as quais estão descritas na Tabela 1, exceto a variável IDE.

Inicialmente foram modeladas RNA com todas as variáveis apresentadas na Tabela 1, exceto a variável IDE. Referente à RNA-1 com 7 neurônios 90% dos dados apresentaram erros numa faixa de -10% a 10%. Este resultado implica que o modelo gerado é satisfatório para predição de módulo de elasticidade contendo RDC.

Após aplicar a técnica ACP as 23 variáveis foram reduzidas para 9, as quais explicam 99,2% da variância total do dados, como ilustra a Figura 5. As variáveis DGN e FMN foram as que apresentaram maior influência com, respectivamente, 41,1% e 21,1%. Em seguida tem-se OUT com 11,7%, CIM com 9,6%, DMR com 6,4%, PAM com 3,4%, PAG com 2,9%, ABG com 1,6% e ADT com 1,3%. As RNA foram modeladas, então, com 9 variáveis de entrada.

A RNA-1 com 7 neurônios foi adotada neste trabalho para a predição do módulo de elasticidade de concretos contendo RCD. Esse modelo está ilustrado na Equação (3) e Equação (4). Sendo o erro médio para esta RNA é de -0,66686%.

$$EC = 612,355 \tanh(k_1) + 2,4106 \tanh(k_2) + 6,5434 \tanh(k_3) - 1,4704 \tanh(k_4) - 3,9747 \tanh(k_5) + 606,7624 \tanh(k_6) - 1844,6887 \tanh(k_7) + 1853,4363 \quad (3)$$

Onde:

$$k_j = \sum_{i=0}^9 M_{i0} x M_{ij} \quad \therefore j = 1..7 \quad (4)$$

Tabela 3: Coeficientes M da Equação (3)

	1	2	3	4	5	6	7
PAM	0,0211	0,0740	0,0211	0,9248	0,0753	0,0218	0,0029
PAG	0,0298	0,1053	-0,0038	-0,3239	-0,0482	0,0305	0,0038
OUT	0,0208	0,0881	0,0413	-2,6205	0,0908	0,0209	-0,0027
FMN	3,5760	1,3830	3,4681	7,3831	3,0637	3,6530	-0,8097
DMR	-24,9800	131,7181	35,8744	1187,0347	151,4394	-26,1263	-5,6338
DGN	0,1708	1,5202	-0,3456	1,5436	0,0997	0,1721	0,0710
CIM	0,0086	-0,0511	0,0392	-0,4569	0,0998	0,0089	-0,0010

ADT	-0,1919	0,7071	0,7041	-34,6936	0,4556	-0,1855	0,0446
ABG	-0,0812	-0,8927	-0,1732	1,7375	-0,4848	-0,0809	0,0289
Constante	101,3850	-651,2012	-186,4218	-5532,3707	-759,5846	106,4357	30,8389

Foi elaborado o histograma dos erros obtidos da comparação dos resultados gerados pela RNA com os dados experimentais. Observa-se que 72% dos dados apresentam erros numa faixa de -5% a 5%, gerando assim um modelo que pode ser considerado satisfatório para a predição do módulo de elasticidade de concreto contendo RCD.

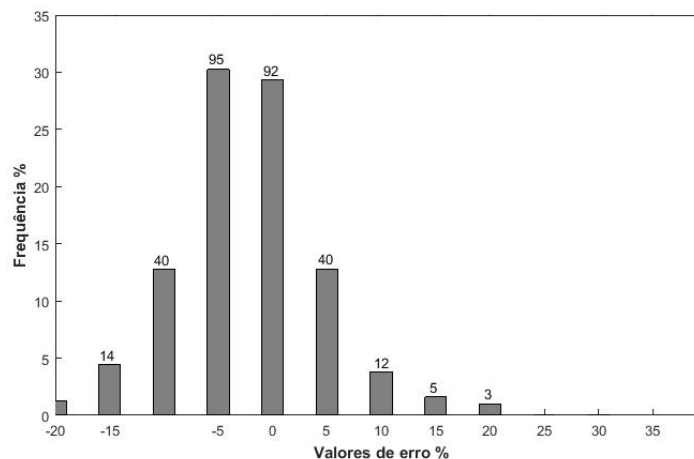


Figura 2: Histograma de erros para módulo de elasticidade

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi avaliada a influência de teores de substituição de agregados de resíduo de construção e demolição em concretos utilizando a ACPe desenvolvidos modelos baseados em RNA para prever as propriedades de resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto contendo RCD.

Embora a técnica ACP consista na ideia de redução de massa de dados com menor perda possível da informação, a mesma avalia apenas a variância dos dados das variáveis. Porém, variáveis que possuem grande importância podem apresentar baixa variância pois isso depende bastante do conjunto de dados analisados.

Este estudo permite a obtenção de equações de predição das propriedades de resistência à compressão e módulo de elasticidade de concreto contendo RCD, considerando uma quantidade menor de variáveis, as quais explicam mais de 90% da variância total. Ressalta-se que as equações não possuem o objetivo de substituir os ensaios realizados em laboratório que são importantes para confirmar os resultados obtidos nos modelos.

REFERÊNCIAS

- CABRAL, A. E. B. 2007. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. São Carlos, 280p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- LEITE, M. B. 2001. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Porto Alegre, 270p. Tese (Doutorado).
- LIMA, M. B. L.; MOURA, W. A.; LIMA, P. R. L.; GONÇALVES, J. P.; MARINS, C. C. 2007. Avaliação de propriedades físicas de concretos reciclados de resíduos de construção e demolição. Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Ibracon.
- LOVATO, P. S. 2007. Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto. Porto Alegre, 182p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VIEIRA, F. M. P.; KULAKOWSKI, M. P.; DAL MOLIN, D. C. C.; VILELA, A. C. F. 2003. Adição de sílica ativa ao concreto: efeito benéfico ou prejudicial na corrosão das armaduras desencadeada por carbonatação?. In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto, Vitória.