

## Organização de um sistema de produção em células de fabricação utilizando redes neurais

Deise Mota Alves (USP) [deisemalves@gmail.com](mailto:deisemalves@gmail.com)  
Ricardo Coser Mergulhão (UFSCar) [mergulhão@dep.ufscar.br](mailto:mergulhão@dep.ufscar.br)  
Adilson Gonzaga (USP) [adilson@sel.eesc.usp.br](mailto:adilson@sel.eesc.usp.br)  
Ivan Nunes da Silva (USP) [insilva@sel.eesc.usp.br](mailto:insilva@sel.eesc.usp.br)

### Resumo

*Este artigo propõe o uso de redes neurais para a organização de um sistema de produção em células para formação de famílias, que é um dos passos da Tecnologia de Grupo. A solução proposta é feita utilizando-se a rede de Kohonen. Para demonstrar o desempenho do algoritmo proposto, alguns testes foram realizados com base nos dados de uma caldeiraria para organização das peças com relação às máquinas para evitar desperdícios de tempo e otimizar a produção. Estes testes demonstraram que a solução proposta gerou melhorias significantes para o processo em questão.*

*Palavras-chave: redes neurais; kohonen; tecnologia de grupo; células de fabricação.*

### 1. Introdução

As pressões impostas pela competitividade de mercado e o contexto da economia globalizada são alguns dos importantes fatores que têm forçado a administração da manufatura a desenvolver novas estratégias de negócios (BARROSI & TUBINO, 2004). As indústrias lutam para aprimorar seus sistemas de produção com a finalidade de produzir mais em menor tempo.

Uma das alternativas viáveis para alcançar esse objetivo é através da utilização da Tecnologia de Grupo ou Produção por Famílias de Peças, que segundo Sérgio (1990) é uma filosofia administrativa que tem por finalidade analisar e arranjar as peças de acordo com similaridades de projeto e fabricação. Através dessa filosofia é possível obter benefícios significativos como: redução de ciclos de fabricação, redução do material em processo, confiabilidade nas entregas, simplificação do planejamento e controle de produção, racionalização do projeto e do planejamento dos processos.

Muitas técnicas têm sido utilizadas para a organização de um sistema de produção em células de fabricação como programação matemática (SHAFER & KERN, 1992), lógica fuzzy (XU & WANG, 1989), algoritmos genéticos (VENUGOPAL & NARENDRAN, 1992), dentre outras, embora muitos ainda façam de uma maneira manual, tornando o processo árduo e demorado.

Neste artigo propõe-se o uso de um método baseado em Redes Neurais, para auxiliar a formação das famílias de peças e dos grupos de máquinas que constituem as células de fabricação.

A arquitetura utilizada foi a de Kohonen, pois a mesma, se configura como uma rede auto-organizável treinada por um algoritmo competitivo e, além disto, seu treinamento é do tipo não supervisionando assim não é necessário conhecer a sua saída.

## 2. Redes neurais

### 2.1 Definição

Redes neurais artificiais (RNA) são modelos computacionais inspirados no cérebro humano e que possuem a capacidade de aquisição e manutenção do conhecimento (informações) (HAYKIN, 2001). Em outras palavras, as Redes Neurais Artificiais podem ser definidas como um conjunto de unidades de processamento (“neurônios”) que são interligadas por um grande número de interconexões (sinapses artificiais).

Suas principais características são:

- Aprender através de exemplos,
- Capacidade de se adaptar ou aprender,
- Capacidade de generalização, sendo essa, a principal,
- Agrupar ou organizar dados,
- Tolerância à falhas e
- Auto-organização

Pode ser aplicada em diversas áreas do conhecimento, as potenciais áreas de aplicação são: reconhecimento de padrões, clustering, aproximação de funções, previsão/estimação, otimização, memórias associativas e controle.

Para que a rede funcione adequadamente é necessário treiná-la, isto se constitui em um passo importante para que a mesma funcione adequadamente.

### 2.2 Treinamento

O treinamento do processo de aprendizado consiste em ajustar os pesos sinápticos e limiares de forma que a aplicação de um conjunto de entradas produza um conjunto de saídas desejadas. Podem ser classificados em:

- Supervisionado: O usuário dispõe de um comportamento de referência preciso que ele deseja ensinar à rede. A rede deve ser capaz de medir a diferença entre seu comportamento atual e o comportamento de referência e então corrigir os pesos de maneira a reduzir esse erro.
- Não Supervisionado: Não necessita de um “professor”, pois não há nenhuma saída alvo, durante o processo de treinamento, a rede recebe diferentes tipos padrões na entrada e ela organiza arbitrariamente os padrões em categorias. Quando um dado é colocado na entrada, ela classifica esse dado de acordo com as classes que ela criou.

### 2.3 Redes Kohonen

A rede de Kohonen, de acordo com Haykin (2001), se configura como uma rede auto organizável de uma única camada, a qual é treinada por um algoritmo competitivo. Ilustrando-se, tem-se:

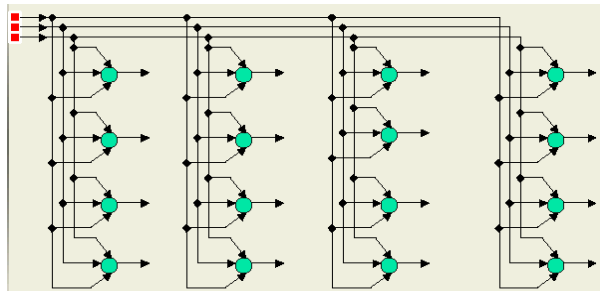


Figura 1 – Estrutura da Rede de Kohonen

Essa estrutura consiste de um *array* de neurônios de uma ou mais dimensões. Os sinais de entrada são os mesmos para todos os neurônios.

Na realidade essa estrutura é uma rede *Feedforward* cujos neurônios são arranjados em linhas e colunas. Pode ser aplicada em: grafos, agrupamentos, aplicações que dependam da localização espacial dos neurônios visando retirada de características, dentre outras.

O que se deseja é que a rede seja capaz de organizar essas entradas de forma a constituírem famílias, ou seja, agrupando-se os elementos que apresentam propriedades similares.

#### **2.4 Funcionamento básico da rede de kohonen**

Em suma, o funcionamento básico dessa rede pode ser resumido através dos seguintes passos:

- Cada neurônio da rede computa o nível de proximidade de seu vetor de pesos em relação a cada padrão de entrada;
- Aplica-se um mecanismo de competição entre os neurônios com o objetivo de escolher o vencedor;
- A partir da definição do neurônio vencedor, resgatam-se através do mapa topológico (matriz que indica a organização espacial dos neurônios) aqueles neurônios que são vizinhos ao vencedor;
- Os pesos do neurônio vencedor e de seus vizinhos são incrementados com o objetivo de aumentar o nível de proximidade com a respectiva entrada;
- A rede estará treinada quando a mesma estiver estabilizada.

#### **3. Definição do problema**

O problema em questão é otimizar as atividades em uma dada indústria e melhorar a produtividade minimizando, segundo Sérgio (1990), alguns problemas como:

- Tratamento individualizado de cada peça, quanto ao processo de fabricação, preparo de máquinas, planejamento de fabricação,
- Dificuldade para conseguir padronização de processos e procedimentos técnicos,
- Dificuldade para recorrer a processos e ferramentas já utilizados anteriormente, na fabricação de outras peças, e
- Longos ciclos de fabricação.

Assim tem-se como desafio a identificação de peças similares em forma e processo e, como consequência, a formação de famílias de peças. Essas famílias, posteriormente, serão utilizadas para um planejamento produtivo mais eficaz de uma dada indústria.

Um engenheiro acompanhou o processo de fabricação de uma caldeiraria montando a seguinte matriz referente aos dados obtidos, como na Tabela 1 (anexo).

Pode-se observar na Tabela 1 (anexo) que as peças de código 1000001, 1000004 e 1000005 são processadas pelas mesmas máquinas e assim podem ser agrupadas em uma mesma família. E essas similaridades podem ser verificadas em outros códigos de peças.

A formação de famílias é muito importante, pois elimina tempos improdutivos, e, por conseguinte, diminui o ciclo de fabricação e material em processo. Suponha-se que em uma linha de fabricação as peças, da Tabela 1 (anexo), fossem fabricadas de forma sequenciais e ajustadas conforme o código da peça e o número de máquina. O operador teria que modificar as características dos equipamentos várias vezes para diferentes peças, porém, se as peças fossem organizadas em famílias esse trabalho poderia ser evitado.

Aparentemente pode-se achar esse problema muito simples se for visto desta forma, ou seja, com apenas algumas entradas e alguns códigos de peças. Isso, porém, não ocorre na prática, existem indústrias que fabricam inúmeros tipos de peças e são necessárias inúmeras máquinas para a confecção das mesmas. Este fato pode ser evidenciado na Tabela 2 (anexo) tornando-se um problema muito complexo para ser resolvido manualmente, porém através de métodos computacionais e algumas técnicas esse problema torna-se fácil de ser solucionado, como será descrito na próxima seção.

A Tabela 2 (anexo) é uma evidência de que o problema de organização em família pode-se tornar complexo. Ambas as Tabelas, 1 e 2 (anexo), são os dados que foram utilizados para a organização das peças em famílias.

#### 4. Solução do problema

Primeiramente as Tabelas 1 e 2 (anexo) foram convertidas em valores discretos, 1 indicando a presença da peça em uma dada máquina, e 0 caso contrário, obtendo-se as Tabelas 3 e 4 (anexo).

Isso foi feito para esses dados constituírem elementos de entradas para a rede e assim serem processados.

Utilizou-se a arquitetura de *Kohonen*, pois, é uma rede de fácil implementação, e de todas as arquiteturas pesquisadas foi a que melhor apresentou resultados para o problema em questão.

#### 5. Resultados computacionais

Implementou-se o algoritmo de *Kohonen* em Matlab 6.5 e apresentou-se a Tabela 3 como dados de entrada, obtendo-se o seguinte resultado como saída:

Índice	Classe
1	11
2	16
3	2
4	11
5	11
6	2
7	16
8	16
9	16

Tabela 5 – Resultado obtido depois do processamento da Tabela 3 (anexo)

O mesmo procedimento foi feito para a Tabela 4 (anexo) obtendo-se a seguinte saída:

Índice	Classe	Índice	Classe	Índice	Classe
1	5	14	1	27	5
2	5	15	1	28	1
3	5	16	5	29	1
4	5	17	5	30	5
5	5	18	1	31	5
6	5	19	5	32	7
7	5	20	1	33	1
8	1	21	5	34	12
9	1	22	1	35	12
10	1	23	5	36	12
11	1	24	5		
12	1	25	1		
13	1	26	5		

Tabela 6 – Resultado obtido depois do processamento da Tabela 4 (anexo)

A seção seguinte faz a análise desses resultados e como eles devem ser tratados.

#### 6. Análise dos resultados

A partir da Tabela 5 e 6 pode-se realizar a análise dos resultados de forma direta. A primeira coluna das tabelas refere-se aos índices, ou seja, esses valores estão relacionados com os dados de entrada, referente ao código da peça. A segunda coluna refere-se à classe que o



4121655-7			FAMÍLIA (PO3, OX1)	X	X										
4121656 DO-C-2				X	X										
4121913-4				X	X										
3121000 DO-0				X	X										
3121131-6				X	X										
3121132-3				X	X										
4121716-5				X	X										
4121729-0				X	X										
4121636-7				X	X										
4121668-2				X	X										
4121664-3				X	X										
2120962 DO-1				X	X										
3121155-2				X	X										
3120998-5				X	X										
3120757 DO-0	FAMÍLIA FFA (SF1,OX1,FB1)					X	X	X							
3121152 DO-9						FAMÍLIA FFA (PO3,OX1,FB1)					X	X	X		
3121080 DO-0						FAMÍLIA FFA (PO3,OX1,FB1)					X	X	X		
2120928 DO-0						FAMÍLIA FFA (PO3,OX1,FB1)					X	X	X		

Tabela 8 – Resultado final da formação de famílias a partir da Tabela 6

O mesmo foi feito com os dados da Tabela 6 obtendo-se a Tabela 8. Em ambas as tabelas pode-se observar claramente a formação de famílias, ou seja, a organização dos dados com relação às suas semelhanças.

Depois de formada as famílias, neste processo que se considera o treinamento da rede, pode-se fornecer novos códigos de peças que a rede será capaz de agrupá-las nas respectivas famílias.

## 7. Conclusão

Este trabalho alcançou com êxito o seu objetivo fornecendo resultados muito satisfatórios para o problema proposto. Através da implementação dessa solução muitas melhorias podem ser notadas, como: entrega rápida dos pedidos, evitaram-se trabalhos repetitivos e desnecessários, e a obtenção das famílias foi automatizada, processo que antigamente era feito manualmente.

Com o uso de redes Neurais os resultados foram obtidos muito rapidamente e com soluções muito viáveis. O mais surpreendente neste algoritmo é a simplicidade de implementação, apesar de matematicamente ser difícil de analisar suas propriedades em uma formulação geral. Depois do treinamento da rede, a mesma é capaz de agrupar as novas peças cadastradas com a família a que se refere, evitando-se um trabalho manual. O sistema passa a se comportar de forma automatizada. Se por um outro lado houver uma nova classe, basta treinar a rede novamente que ela passa a generalizar para as novas entradas. Essa é uma das maiores vantagens das redes neurais que é o poder de generalização.

Como trabalhos futuros propõem-se utilizar essas matrizes de entradas para serem testadas com outras arquiteturas de redes, como ART (Adaptative Resonance Theory), LVQ (Learning Vector Quantization), para verificar os resultados obtidos e tempos de processamentos.

## Referencias

BARROSI, U. I. B, TUBINO, D. F. *O layout celular na industria moveleira e estofados*. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENECEP), Florianópolis, 2004., p. 482-489.

HAYKIN, S. *Redes Neurais: princípios e prática*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p. Introdução: p.27-74. ISBN 85-7307-718-2.

SÉRIO, L. C. *Tecnologia de grupo no planejamento de um sistema produtivo*. São Paulo: 1990. Ed. Cone. 274p.

SHAFER, S.M., KERN, G. M. *A mathematical programming approach for dealing with exceptional in cellular manufacturing*. International Journal of Production Research, v.30, p.1029-1036. 1992.

VENUGOPAL, V., NARENDRAN, T. T. *A genetic algorithm approach to the machina-component grouping problem with multiple objectives*. Computers and Industrial Engineering, v.22, p. 469-480, 1992

XU, H., WANG, H. P. *Part family formation for group technology applications based on fuzzy mathematics*. International Journal of Production Research, v.27, p. 1637-1651, 1989.

## ANEXOS

PC CÓDIGO	MÁQUINA															
	Nº	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D1	D2	E1		
1000001			X		X			X			X					
1000002			X				X	X					X			
1000003		X			X			X			X					
1000004			X		X			X			X					
1000005			X		X			X			X					
1000006		X			X			X			X					
1000007			X				X	X					X			
1000008			X				X	X					X			
1000009			X				X	X					X			

Fonte: Sério, L.C. (1990).

Tabela 1 – Dados referentes às peças e às máquinas de uma caldeiraria

PC. CÓDIGO	MÁQUINA				
	SF1	OX1	PO3	FB1	.....
4121977-5	X	X			
3121138-7	X	X			
3121136-2	X	X			
3121141-0	X	X			
3121130-9	X	X			
3121143-4	X	X			
4122036-1	X	X			
4121655-7		X	X		
4121656 DO-C-2		X	X		
4121913-4		X	X		
3121000 DO-0		X	X		
3121131-6		X	X		
3121101-5		X	X		
3121132-3		X	X		
4121716-5		X	X		
4121978-2	X	X			
4121730 DO-7	X	X			

4121729-0		X	X		
4121684-0	X	X			
4121636-7		X	X		
4121633 DO-4	X	X			
4121668-2		X	X		
3121053-2	X	X			
3121050-0	X	X			
4121664-3		X	X		
3121038-1	X	X			
2120963 DO-9	X	X			
2120962 DO-1		X	X		
3121155-2		X	X		
3121022-4	X	X			
3121052-5	X	X			
3120757 DO-0	X	X		X	
3120998-5		X	X		
3121152 DO-9		X	X	X	
3121080 DO-0	X	X	X	X	
2120928 DO-0	X	X	X	X	
· :					

Fonte: Sério, L.C. (1990).

Tabela 2 – Mapa de fluxos do componente composto 80427

PC CÓDIGO	MÁQUINA Nº													Índice
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D1	D2	E1	
1000001	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
1000002	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	2
1000003	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3
1000004	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	4
1000005	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	5
1000006	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6
1000007	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	7
1000008	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	8
1000009	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	9

Tabela 3 – Dados referentes às peças e às máquinas de uma caldeiraria convertida em valores discretos

PC. CÓDIGO	MÁQUINA				Índice
	SF1	OX1	PO3	FB1	
4121977-5	1	1	0	0	1
3121138-7	1	1	0	0	2
3121136-2	1	1	0	0	3
3121141-0	1	1	0	0	4
3121130-9	1	1	0	0	5
3121143-4	1	1	0	0	6
4122036-1	1	1	0	0	7



4121655-7	0	1	1	0	8
4121656 DO-C-2	0	1	1	0	9
4121913-4	0	1	1	0	10
3121000 DO-0	0	1	1	0	11
3121131-6	0	1	1	0	12
3121101-5	0	1	1	0	13
3121132-3	0	1	1	0	14
4121716-5	0	1	1	0	15
4121978-2	1	1	0	0	16
4121730 DO-7	1	1	0	0	17
4121729-0	0	1	1	0	18
4121684-0	1	1	0	0	19
4121636-7	0	1	1	0	20
4121633 DO-4	1	1	0	0	21
4121668-2	0	1	1	0	22
3121053-2	1	1	0	0	23
3121050-0	1	1	0	0	24
4121664-3	0	1	1	0	25
3121038-1	1	1	0	0	26
2120963 DO-9	1	1	0	0	27
2120962 DO-1	0	1	1	0	28
3121155-2	0	1	1	0	29
3121022-4	1	1	0	0	30
3121052-5	1	1	0	0	31
3120757 DO-0	1	1	0	1	32
3120998-5	0	1	1	0	33
3121152 DO-9	0	1	1	1	34
3121080 DO-0	1	1	1	1	35
2120928 DO-0	0	1	1	1	36
· ⋮					

Tabela 4– Mapa de fluxos do componente composto 80427 com valores discretos