

## ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO POR COLÔNIA DE FORMIGAS PARA O PROBLEMA DE PROCESSO DE PRODUÇÃO COM DOIS ESTÁGIOS.

HONDA JR, Roberto H.<sup>1</sup> (roberto\_junior\_honda@hotmail.com.br), FURLAN, Marcos M.<sup>2</sup> (marcosfurlan@ufgd.edu.br)

<sup>1</sup>Discente do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD;

<sup>2</sup>Docente do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

### Introdução

No setor industrial a matéria-prima passa por estágios para a obtenção do produto final e então atender à demanda dos clientes. Com a globalização as grandes indústrias vêm buscando cada vez mais ampliar seu lucro através da otimização da produção e do sistema de distribuição. A otimização da produção pode ser obtida através de um bom planejamento da produção, pois com um bom planejamento é possível minimizar os custos e os tempos de produção, reduzir os custos de estoques e também atender melhor a demanda para a satisfação dos clientes.

Em muitas indústrias como na indústria de metais, recipientes de vidro, fios e outras, a matéria-prima passa por dois estágios antes de ser transformada no produto final. Tomando a indústria de recipientes de vidro como exemplo na primeira etapa a areia, carbonato de sódio, calcário e vidro reciclável são misturados e fundidos em torno de 1500°C transformando-se em uma massa de vidro, na segunda etapa essa massa é modelada para então formar o recipiente de vidro que corresponde ao produto final.

O algoritmo de colônia de formigas (*Ant Colony Optimization* - ACO) tem sido amplamente utilizado para resolver problemas da categoria NP-difícil, dentre as categorias desses problemas pode-se citar: problemas de roteamento, problemas de designação, problemas de planejamento e problemas de subconjuntos e os resultados apresentados mostram sua eficiência em encontrar soluções de boa qualidade rapidamente.

Neste problema temos máquinas do primeiro estágio chamada de máquinas de alimentação (*Feeding Machine* - FM) que são responsáveis por transformar a matéria-prima em recursos, máquinas do segundo estágio chamadas de máquinas de manufatura (*Manufacturing Machine* - MM) responsáveis por transformar os recursos em produtos finais, cada FM está associada a uma ou mais MM que por sua vez está designada a apenas uma FM. Temos os recursos, as famílias de produtos, os produtos, as fábricas que são responsáveis por produzidos e armazenados os produtos, os clientes, a demanda, o período para satisfazer a demanda e uma certa quantidade de período para considerar uma venda como atrasada antes de ser considerada como uma venda perdida. Dado que o conjunto de sequências de recursos é pré-definido, o problema consiste em designar cada sequência de recurso a cada FM em cada período e as famílias de recursos a serem produzidas em cada MM em cada período e com o auxílio de um *solver* determinar a quantidade de cada recursos, a quantidade e quais produtos serão fabricados dado que as famílias já estão determinadas, de formas que, os custos de estoque e transporte, atrasos, vendas perdidas, os custos de ambos estágios sejam todos minimizados.

### Metodologia

O algoritmo de colônia de formigas é um dos muitos métodos bio-inspirados, este algoritmo se baseia no comportamento das formigas em realizar o transporte do alimento à colônia. Inicialmente as formigas possuem uma orientação aleatória, pois no início não há feromônios nas trilhas, até que encontrem a fonte de alimento e retornam à colônia depositando feromônios no trajeto, este comportamento pode ser observado na Figura 1. Caso outras formigas encontrem um percurso com feromônios elas tendem a se direcionar para este, abandonando sua orientação aleatória. O feromônio depositado nas trilhas possui a característica de evaporar com o passar do tempo, reduzindo, assim, sua força atrativa. Conseqüentemente quanto maior a quantidade de formigas movimentando por um mesmo caminho maior o tempo para o feromônio evaporar. Analogamente, as formigas percorrem caminhos curtos em menos tempo, implicando em uma maior densidade de feromônio depositados neles. Logo a trilha final das formigas converge para a solução, a trilha com o menor custo, como é visto na Figura 2. O propósito deste algoritmo é simular este comportamento através de "formigas virtuais" que caminham por um grafo que por sua vez representa o problema a ser resolvido.

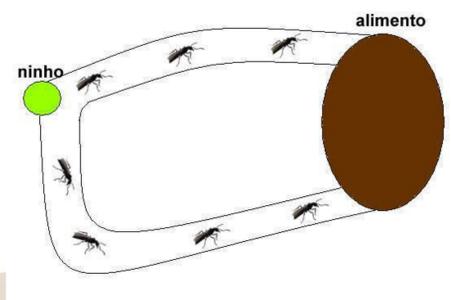


Figura 1: Início da busca.  
Fonte: França (2005)

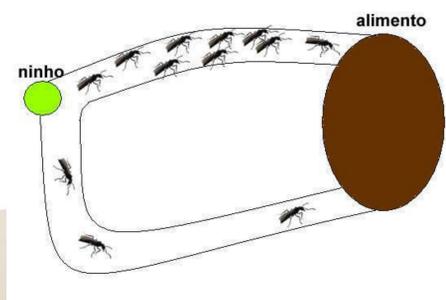


Figura 2: Preferência pelo menor caminho com o decorrer do experimento.  
Fonte: França (2005)

### Resultados

O modelo matemático de orientado a sequência de (WEI et al., 2017) possui 17 restrições e a seguinte função objetivo:

$$\min \sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{j \in \mathcal{P}} \sum_{t \in \mathcal{T}} \left( h_{ij} \cdot I_{ij} + \sum_{c \in \mathcal{C}} r_{ijc} \cdot S_{ijct} \right) + \sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{t \in \mathcal{T}} (b_{ic} \cdot B_{ict} + l_{ic} \cdot L_{ict}) + \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{s \in \mathcal{S}_k} \sum_{t \in \mathcal{T}} \hat{s}c_s \cdot W_{skt} + \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{f \in \mathcal{F}_m} \sum_{t \in \mathcal{T}} Y_{fmt} \cdot scp_m$$

Índices  
 $i \in \mathcal{N}$   
 $f \in \mathcal{F}$   
 $j \in \mathcal{P}$   
 $k \in \mathcal{K}$   
 $m \in \mathcal{M}$   
 $t \in \mathcal{T}$   
 $c \in \mathcal{C}$   
 $s \in \mathcal{S}$

Parâmetros  
 $b_{ic}$   
 $h_{ij}$   
 $l_{us}$   
 $r_{ijc}$   
 $scp_m$   
 $\hat{s}c_s$

Conjuntos  
 $\mathcal{F}_m$   
 $\mathcal{S}_k$

Produtos  
Famílias de produto  
Fábricas  
Máquinas de alimentação  
Máquinas de manufatura  
Horizonte de planejamento  
Clientes  
Sequências de recursos

Custo unitário pelo atraso do produto  $i$  ao cliente  $c$   
Custo de estoque unitário do produto  $i$  na fábrica  $j$   
(=1) se o recurso  $u$  é o último da sequência  $s$   
Custo unitário de transportar o produto  $i$  da fábrica  $j$  ao cliente  $c$   
Custo de *setup* ao iniciar um novo processo na máquina de manufatura  $m$   
Custo de *setup* ao selecionar a sequência  $s$

Conjunto de famílias que podem ser produzidas na máquina de manufatura  $m$   
Conjunto de sequências que podem ocorrer na máquina de alimentação  $k$

Variáveis Binárias

$W_{skt}^s$

$Y_{fmt}$

Variáveis contínuas

$B_{ict}$

$I_{ijt}$

$L_{ict}$

$P_{skt}^I$

$P_{fmt}^I$

$S_{ijct}$

$\tau_{skt}^I$

$\tau_{fmt}^I$

$\eta_{skt}^I$

$\eta_{fmt}^I$

(=1) se a sequência  $s$  é selecionada para a máquina de alimentação  $k$  no período  $t$   
(=1) se ocorre um *setup* para a família  $f$  na máquina de manufatura  $m$  no período  $t$

Quantidade atrasada do produto  $i$  para o cliente  $c$  no período  $t$   
Estoque do produto  $i$  na fábrica  $j$  no período  $t$   
Quantidade do produto  $i$  para o cliente  $c$  no período  $t$  considerado como venda perdida  
Probabilidade da formiga escolher a sequência  $s$  na máquina de alimentação  $k$  no período  $t$   
Probabilidade da formiga designar a família  $f$  à máquina de manufatura  $m$  no período  $t$   
Quantidade de produto  $i$  da fábrica  $j$  fornecido ao cliente  $c$  no período  $t$   
Feromônio do primeiro estágio  
Feromônio do segundo estágio  
Heurística do primeiro estágio.  
Heurística do segundo estágio.

Primeiro estágio

$$P_{skt}^I = \frac{(\tau_{skt}^I)^\alpha \cdot (\eta_{skt}^I)^\beta}{\sum_{l \in \Psi^I} (\tau_{lkt}^I)^\alpha \cdot (\eta_{lkt}^I)^\beta} \quad \eta_{skt}^I = \frac{1}{\hat{s}c_s}$$

$$\tau_{skt}^I = (1 - \rho) \cdot \tau_{skt}^I + \rho \cdot \tau_0$$

$$\tau_{skt}^I = (1 - \rho) \cdot \tau_{skt}^I + \phi \cdot \Delta \tau_{skt}^{I, best}$$

$$\Delta \tau_{skt}^{I, best} = \begin{cases} \frac{1}{\hat{s}c_s} & \text{se o arco } (s, k, t) \text{ é usado pela melhor formiga} \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

Segundo estágio

$$P_{fmt}^I = \frac{(\tau_{fmt}^I)^\alpha \cdot (\eta_{fmt}^I)^\beta}{\sum_{l \in \Psi^I} (\tau_{lmt}^I)^\alpha \cdot (\eta_{lmt}^I)^\beta} \quad \eta_{fmt}^I = \frac{1}{scp_m}$$

$$\tau_{fmt}^I = (1 - \rho) \cdot \tau_{fmt}^I + \rho \cdot \tau_0$$

$$\tau_{fmt}^I = (1 - \rho) \cdot \tau_{fmt}^I + \phi \cdot \Delta \tau_{fmt}^{I, best}$$

$$\Delta \tau_{fmt}^{I, best} = \begin{cases} \frac{1}{scp_m} & \text{Se o arco } (f, m, t) \text{ é usado pela melhor formiga} \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases}$$

### Conclusão

O problema abordado em dois estágios é complexo e concluímos que a meta-heurística proposta é promissora, podendo gerar soluções de alta qualidade em tempo computacional adequado. Os próximos passos da pesquisa incluem a implementação do método e testes computacionais exaustivos utilizando instâncias da literatura.

### Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPq pela concessão da bolsa e financiamento da pesquisa.  
Bolsa: Processo 164521/2017-8 Fomento: Processo 406920/2016-8

### Referências

Wei, W., Guimaraes, L., Amorim, P. and Almada-Lobo, B. (2017). Tactical production and distribution planning with dependency issues on the production process. *Omega*, 1(67):99-114.  
de França, F. O. (2005). Algoritmos bio-inspirados aplicados a otimização dinâmica. Master's thesis, Unicamp, Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura.



Realização:

**UFGD**  
Universidade Federal  
da Grande Dourados

**UEMS**  
Universidade Estadual  
de Mato Grosso do Sul

Parceiros:

**CAPES**

**CNPq**  
Conselho Nacional de Desenvolvimento  
Científico e Tecnológico