

## Uso da técnica busca em tabu para otimização do sequenciamento de ordens de produção na Indústria do Papel

Sandra Valduga (UNISC - Universidade de Santa Cruz do Sul) [sandravalduga@gmail.com](mailto:sandravalduga@gmail.com)  
Rejane Frozza (UNISC - Universidade de Santa Cruz do Sul) [frozza@unisc.com.br](mailto:frozza@unisc.com.br)

### Resumo:

O presente artigo visa à otimização da ferramenta de administração da produção do sistema *Cartonline* na parte de sequenciamento da produção de embalagens de papel ondulado, chapas de papel ondulado e bobinas papel. O problema do atual software é notado substituir o trabalho de sequenciamento da produção feito manualmente, os mapas resultantes da conjugação no sistema, na maioria das vezes, necessitam de ajustes diante às observações do especialista na função. A ferramenta atual é muito bem aceita em empresas que estão substituindo o *software* que faz o sequenciamento da produção. Essas empresas fazem a conjugação da produção com a ferramenta (*Cartonline*) atual com satisfação. Estão ocorrendo situações em que ao fornecer a ferramenta a empresas onde todo o processo de sequenciamento da produção era feito manualmente, não se atingiu a qualidade dos mapas antes gerados pelo especialista humano. O objetivo desse trabalho é modelar e implementar uma técnica de otimização para a produção da fábrica de papel, a fim de minimizar o tempo de geração dos mapas de produção e maximizar o aproveitamento de cada máquina diminuindo as perdas e o *setup*.

**Palavras chave:** Otimização, Escalonamento, Busca Tabu.

## Use of technology in tabu search for optimization of sequencing of orders production in Paper Industry

### Abstract

This paper aims at optimizing the administration tool *Cartonline* production system in the sequencing of production of corrugated paper, sheets of corrugated paper and paper reels. The current problem is noticed software replace the work of the production scheduling done manually maps the system resulting from the combination, in most cases, require adjustments to the observations on the role of the expert. The current tool is very well accepted in companies that are replacing the software that makes the sequencing of production. These companies make the combination of production with the tool (*Cartonline*) present with satisfaction. Are occurring situations in which the tool providing companies where the whole process of production sequencing was done manually, be reached before the quality of maps generated by the human expert. The aim of this work is to model and implement an optimization technique for the production of the paper mill in order to minimize the generation time of production maps and maximize the utilization of each machine reducing losses and setup.

**Key-words:** Optimization, Scheduling, Tabu Search

## 1. Introdução

Esse artigo apresenta o processo de otimização da ferramenta de administração da produção *Cartonline* com a finalidade de que a mesma possa ser implantada em empresas, exibindo seu ganho em agilidade e sem perder qualidade no resultado das conjugações. Essa otimização se faz necessária para que a ferramenta atenda completamente as necessidades do setor de produção e conseqüentemente que auxilie o setor comercial quando o mesmo precisa saber se tem capacidade para entregar um pedido em uma determinada data.

Pretende-se, desta forma, minimizar o tempo de geração dos mapas de produção e maximizar o aproveitamento de cada máquina, diminuindo perdas e diminuindo o *setup*. *Setup* é o período em que a produção é interrompida para que os equipamentos sejam ajustados. O tempo de *setup* está diretamente relacionado com as variações do produto e o planejamento da produção realizado pela indústria.

Inicialmente é feita uma breve revisão bibliográfica do problema estudado e das formas adotadas de resolução. No capítulo 3 é feita uma descrição da metaheurística busca tabu. No capítulo 4 o algoritmo proposto é descrito. No capítulo 5 é feita uma descrição da forma como ele foi testado e dos resultados destes testes. No capítulo 6 são apresentadas algumas considerações sobre este trabalho.

## 2. Descrição do Problema

A administração da produção apresenta-se como um fator de grande importância e influência nas práticas gerenciais das empresas em geral, já que pode ser utilizado como estratégia competitiva. Para (SLACK, 1993), o chão de fábrica tem influência direta sobre os aspectos de desempenho competitivo como: Fabricação de produtos sem erros, entregas rápidas ao consumidor, manutenção invariável dos prazos prometidos de entrega, habilidade de introduzir novos produtos em prazos adequados, oferecer uma faixa larga de produtos satisfazendo as exigências do consumidor, habilidade de modificar quantidades ou datas de entrega, conforme a necessidade, habilidade da empresa de oferecer produtos a preços que ou batem a concorrência, ou possibilitam maior margem de lucro, ou ambos.

O sequenciamento das ordens de produção da ferramenta *Cartonline* (estudo de caso desta pesquisa) é a parte do *software* que proporciona os aspectos citados e conseqüentemente auxilia no processo da empresa manter-se competitiva no mercado atual.

Essa pesquisa visa à otimização da ferramenta de administração da produção do sistema *Cartonline* na parte de sequenciamento da produção de papel (fábrica de papel).

A sequência das ordens de produção no controle diário da produção de embalagens e a integração adequada com a fabricação da matéria prima necessária são fundamentais para evitar ociosidade de máquinas, desperdício de mão-de-obra e matéria prima, que resultam na diminuição da produção, elevação de gastos com energia e maior impacto ambiental.

A ferramenta atual é muito bem aceita em empresas que estão substituindo o *software* que faz o sequenciamento da produção, essas empresas fazem a conjugação da produção (estabelecem a sequência de execução das ordens de produção) pelo sistema atual com satisfação. Porém, em empresas que estão trocando de um sistema de sequenciamento da produção manual para um sistema informatizado, estão ocorrendo situações em que ao fornecer a ferramenta às

empresas onde todo o processo de sequenciamento da produção era feito manualmente, não se atingiu a qualidade dos mapas antes gerados pelo especialista humano.

Diante das situações descritas anteriormente, sentiu-se a necessidade de otimizar a ferramenta de administração da produção atual com a finalidade de que a mesma possa ser implantada em empresas, exibindo seu ganho em agilidade e sem perder qualidade no resultado das conjugações.

Optou-se por contemplar as necessidades de sequenciamento da fábrica de papel, devido à tendência observada no mercado atual brasileiro das empresas produzirem a sua própria matéria prima.

O objetivo principal deste trabalho é modelar e implementar uma técnica de otimização, baseada nas informações dos processos de fabricação do papel: cartonagens, fábricas de papel e onduladeiras, que atenda completamente as necessidades do setor de produção e consequentemente que auxilie o setor comercial quando o mesmo precisa saber se tem capacidade para entregar um pedido em uma determinada data.

Pretende-se, desta forma, minimizar o tempo de geração dos mapas de produção e maximizar o aproveitamento de cada máquina, diminuindo perdas e diminuindo o *setup*.

*Setup* é o período em que a produção é interrompida para que os equipamentos sejam ajustados. O tempo de *setup* está diretamente relacionado com as variações do produto e o planejamento da produção realizado pela indústria.

Considerando que cada vez mais as empresas desse ramo investem em equipamentos para produzir a sua própria matéria prima, é conveniente contemplar as três linhas de produção descritas, porém nesse estudo será focado na primeira linha produtiva (fábrica de papel).

A figura 1 representa o processo de fabricação do papel, que consiste das etapas de aparas de papel, preparação da pasta de papel, fabricação do papel em forma de rolo, rebobinação e bobinas de papel.

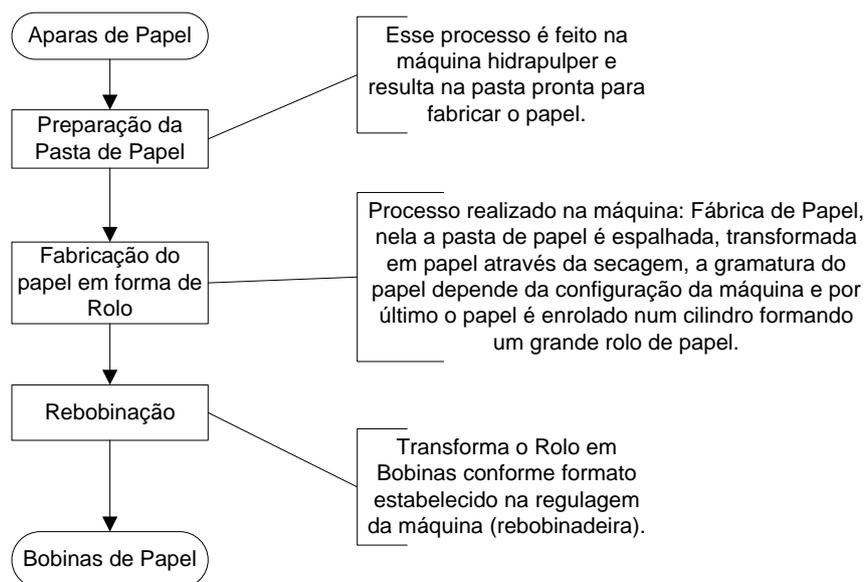


Figura 1 – Processo de Fabricação de Papel

### 3. Busca Tabu

A Busca Tabu é um algoritmo para resolver problemas de otimização combinatória que compreende em buscar melhores soluções vizinhas aleatórias através do uso de uma estrutura de memória que ajuda a não ocorrer ótimos locais, sendo assim possibilitando mover-se de uma solução a outra, por todo conjunto de soluções.

Busca Tabu que se caracteriza pela utilização de uma memória para a orientação da busca de soluções, impedindo que uma solução visitada num “passado recente” seja visitada novamente, tornando a busca menos aleatória e evitando a ciclagem das soluções, ou seja, a repetição da mesma sequência de soluções. A característica importante deste algoritmo é a construção de uma lista tabu de movimentos: compreende os movimentos que não são permitidos, ou seja, movimentos tabus. A razão que leva a montar esta lista é a necessidade de excluir movimentos que possam nos levar a algum ponto anteriormente explorado em iterações. Um movimento só se torna tabu durante um determinado período, sendo assim esta lista é uma lista cíclica. A primeira a entrar é a primeira a sair, *First In First Out*, e cada vez que é realizado um movimento, este movimento é inserido na lista, sendo assim, o movimento mais velho é eliminado (GLOVER ; LAGUNA, 1997).

As condições tabus não são invioláveis. Quando um movimento tabu proporciona uma solução melhor que qualquer outra previamente encontrada, sua condição tabu pode ser desfeita.

A técnica de busca tabu se mostra aplicável para o problema do sequenciamento da produção, visando diminuir o tempo de geração dos mapas de produção, reduzir as sobras de ordens de produção, e sendo capaz de modelar as restrições que fazem parte da realidade de cada empresa. Com isso, o programador da produção não precisa mais fazer anotações com a finalidade de corrigir algum boletim de produção gerado e impresso pelo sistema. A versão otimizada é sinônimo de agilidade para o operador, que poderá fazer uso da rotina também em casos que houver a necessidade de alterar a sequência de alguma ordem de produção, adicionar ou excluir ordens de ordens de produção do boletim. A ferramenta torna-se um recurso eficaz na geração de um plano de ação válido e confiável, impresso nos boletins de programação da produção. O uso do Cartonline na conjugação da produção na fábrica de papel deve reduzir muito o esforço manual do programador da produção, que é desperdiçado apenas para manter uma programação atualizada, o que traz benefício para a empresa, que poderá contar com esse profissional para passar mais tempo identificando e resolvendo problemas antes que eles aconteçam.

A técnica possibilitará que a ferramenta seja capaz de reprogramar a produção da fábrica de papel de maneira rápida e inteligente, trazendo uma vantagem imediata em relação a um concorrente que seja mais lento.

A figura 2 apresenta o fluxograma da Busca Tabu do algoritmo utilizado na otimização da ferramenta *Cartonline*:  $S$  é o conjunto de soluções iniciais viáveis,  $S^*$  é a melhor solução,  $V$  é o conjunto de vizinhança gerado, considerando que não seja Tabu ou que satisfaça o critério de aspiração, e  $v$  é a melhor solução do conjunto de vizinhança gerada.

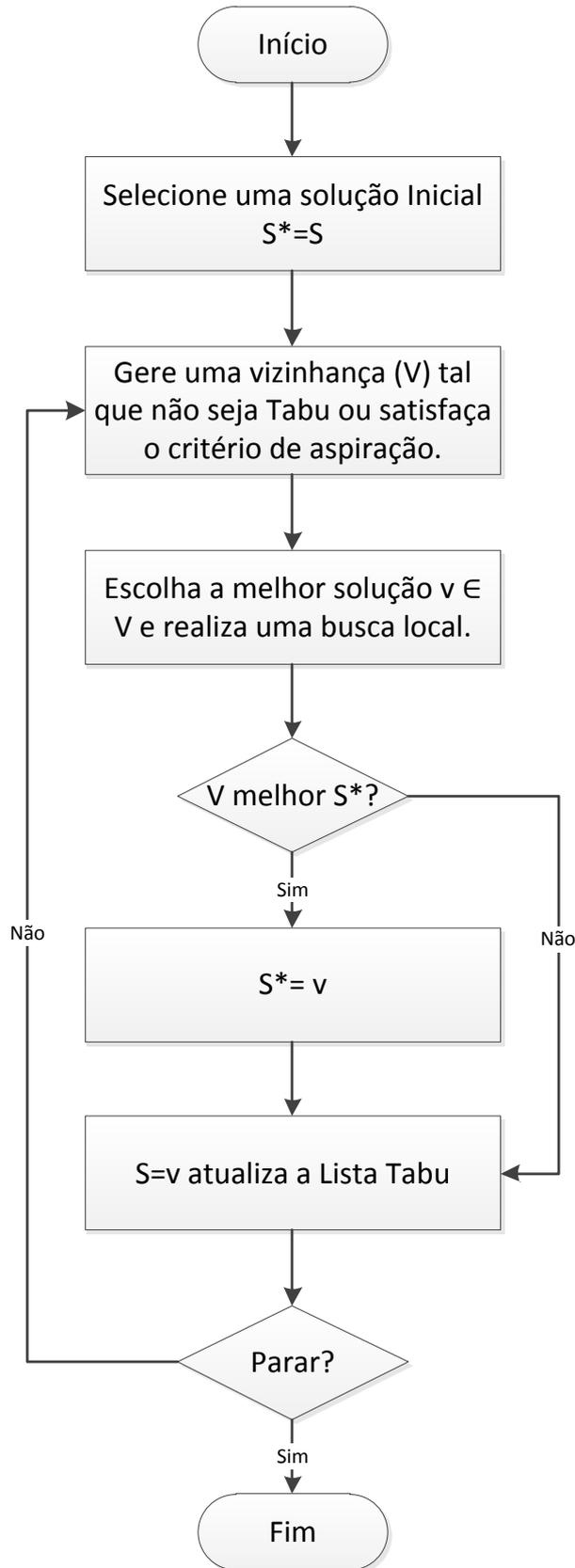


Figura 2: Representação do algoritmo Busca Tabu

A seguir são descritas as principais características do algoritmo busca tabu proposto por (GLOVER ; LAGUNA, 1997):

a) Geração da solução inicial: A solução inicial dependerá do algoritmo específico que vai gerar a solução inicial, usualmente esta geração é realizada de forma aleatória.

b) Vizinhança: A busca tabu trabalha com vizinhanças. A geração das soluções vizinhas, classificando cada uma destas soluções e ficando com a melhor que não pertença ao grupo de soluções tabus.

c) Tamanho da Lista Tabu: O valor do tamanho da lista tabu deve respeitar o tamanho do problema. Este valor deve ser bem escolhido, realizado uma análise. Para alcançar boas soluções este parâmetro é muito importante.

d) Critério de Aspiração: Como descrito anteriormente, as condições tabus não são invioláveis. Quando um movimento tabu proporciona uma solução melhor que qualquer outra previamente encontrada, sua condição tabu pode ser desfeita. O critério que permite essa ação chama-se Critério de Aspiração. Existem diferentes critérios de aspiração. São eles:

Aspiração por default: Se todos os elementos são classificados como elementos tabus, foi escolhido o elemento que seja menos tabu.

Aspiração por objetivo: Quando um elemento proporciona um melhor custo, se aceita o elemento como solução.

Aspiração por Busca Direcionada: Um movimento tabu torna-se admissível se a direção da busca (melhorando ou não melhorando) não é alterada.

e) Intensificação: Seu objetivo é concentrar a busca em regiões promissoras de seu espaço. Uma boa forma de intensificar é levar em consideração o histórico.

f) Diversificação: Seu objetivo é encaminhar a busca para novas regiões do espaço de busca. Uma maneira eficiente de diversificar é encorajar a busca de soluções ainda não exploradas.

g) Critério de Parada: O critério de parada pode ser por número de iterações, por tempo determinado. Um exemplo: depois de x iterações sem melhorar o custo. Para melhor exemplificar e compreender o que foi realizado no algoritmo, será realizado um passo a passo:

Passo 1: Geração da Vizinhança não permitindo vizinhos que estejam na lista tabu.

Passo 2: Escolha da melhor solução dentre todos os vizinhos, a avaliação consiste em minimizar ou maximizar a função objetivo.

Passo 3: Uma fase de melhorias, cujo objetivo é encontrar uma solução ótima local.

Passo 4: Atualiza  $S^*$  caso a solução encontrada seja melhor que a anterior.

Passo 5: Inclui o item na lista tabu.

Passo 6: Verifica se está na última iteração, caso isso seja verdade, pára o processamento.

#### 4. Algoritmo Utilizado

O sistema de sequenciamento de ordens de produção para a fábrica de papel otimizado manteve as características da ferramenta atual: mesmo nome, layout e linguagem de programação. A otimização da ferramenta consiste na mudança das técnicas clássicas de programação, inicialmente utilizadas no seu desenvolvimento e que até o momento contemplaram a necessidade nos clientes, porém algumas vezes necessitavam de ajustes manuais. Com a finalidade de agilizar a geração dos mapas de produção e atingir a qualidade dos mapas revisados pelo especialista humano utilizou-se a metaheurística Busca Tabu para complementar a geração de mapas de produção da fábrica de papel.

A técnica de otimização foi desenvolvida em linguagem DELPHI 6, pois a ferramenta *Cartonline* também foi desenvolvida nessa linguagem e versão.

O funcionamento do sistema pode ser descrito com as seguintes etapas: Criar/Importar a Estrutura de Dados, Parametrizar a Estrutura dos Dados, Executar Gera Mapa e Imprimir o Mapa.

1. Criar/Importar a Estrutura dos Dados: O usuário cadastra as informações referentes a papéis, máquinas, operadores e turnos de trabalho ou o sistema importa essas informações quando a empresa utiliza o módulo de produção da *Cartonline*.

2. Parametrizar a Estrutura de Dados: O usuário confere as medidas da Fábrica de Papel e ajusta conforme a sua necessidade para a geração do mapa de produção.

3. Executar Gera Mapa: O usuário executa o procedimento, gerando a sequência de fabricação das ordens de produção.

4. Imprimir Mapa: O usuário responsável pela produção da empresa emite os relatórios necessários para que os mapas gerados sejam distribuídos aos operadores das máquinas.

A rotina otimizada para sequenciar as ordens de produção da fábrica de papel funciona da seguinte forma: é criada uma lista com as OPs (Ordem de Produção) a serem produzidas e é com base nessa lista inicial e considerando suas características, quantidades e data para expedição que o algoritmo faz o sequenciamento. Para tanto, a lista de ordens de produção é percorrida com a finalidade de encontrar combinações ótimas, ou seja, uma OP é combinada com outras para fazer o fechamento da boca da máquina, combinando inclusive os atributos de cada ordem de produção. Quando um ciclo de produção é fechado, é feita uma avaliação para quantificá-lo. Com base nessa quantificação, a combinação é aceita ou não.

Quando um ciclo de produção for aprovado, o conjunto de OPs juntamente com o número de ciclos de fechamento de boca de máquina é armazenado numa lista que servirá de consulta para que a combinação não seja repetida, evitando assim desperdício de processamento com combinações repetidas. Ao aceitar um ciclo de produção, a lista de ordens de produção inicial é atualizada quanto à quantidade disponível para conjugação. Cada vez que um registro é inserido na lista de sequenciamentos, a busca por uma nova combinação deve ser iniciada. Essa repetição acontecerá até que todas as ordens de produção sejam atendidas ou que a condição de fim seja satisfeita. Se o motivo de término for condição de fim, o mapa terá sobras (algumas OPs não foram conjugadas na sua totalidade).

Na figura 3, é apresentada a tela principal da ferramenta.

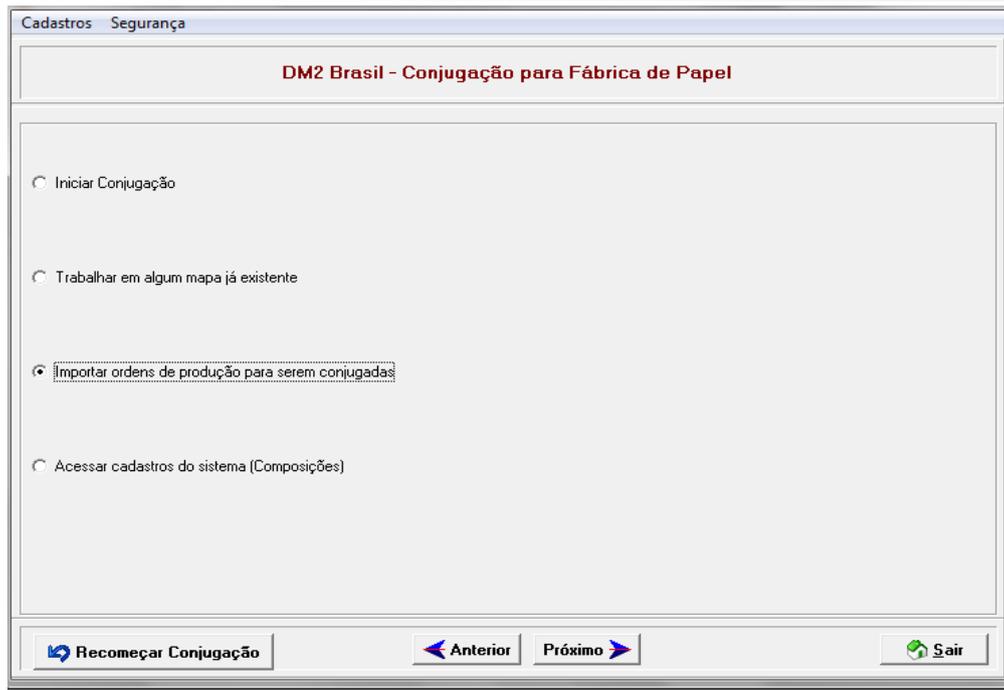


Figura 3 – Tela Principal da Ferramenta *Cartonline*

Nessa tela estão disponíveis quatro opções de uso do sistema:

A opção *Iniciar Conjugação* é utilizada por empresas que geram as Ordens de Produção no sistema *Cartonline*, ou seja, utilizará os registros armazenados no banco de dados no momento da geração das OPs.

A segunda opção de *Trabalhar em um mapa já existente* é utilizada para consultar, imprimir e fazer alterações em um mapa já existente.

A opção *Importar ordens de produção para serem conjugadas* é a que está sendo utilizada pelo cliente em que a otimização será testada, pois ele gera as ordens de produção em outro sistema e utiliza a ferramenta *Cartonline* apenas para fazer a conjugação das ordens de produção e imprimir o mapa.

A última opção de *Acessar cadastros do sistema (Composições)* é um cadastro de composição de papel e é utilizado por clientes que fazem a conjugação para ondulateira, ou seja, um papel é composto por mais de uma camada de papel. É o caso de mapas de bobina ondulada, chapas e face simples.

## 5. Testes Efetuados

A ferramenta de conjugação para a fábrica de papel já estava sendo utilizada em alguns clientes que fabricam apenas bobinas e sendo implantada em um cliente que produz bobinas e também folhas. Neste último caso, o especialista humano, que até então gerava manualmente os mapas de produção, sinalizou alguns ajustes que precisavam ser aplicados na ferramenta atual para atender suas necessidades.

Para entender as necessidades do cliente foi feito um levantamento das decisões importantes para o sequenciamento das ordens de produção com entrevistas ao especialista humano: o

objetivo desta etapa é conhecer como as decisões são definidas, levando em consideração que aspectos e variáveis são necessários. Durante esse processo foram feitas duas visitas com duração de dois dias cada. Nas visitas, o especialista humano ficou disponível o tempo todo respondendo os questionamentos e fazendo colocações que considerava pertinentes.

Nesse cliente foi colocado como projeto piloto a rotina otimizada e, quando essa conseguiu atingir o resultado esperado, ficou em observação por dois meses. Durante esse período, o cliente continuou elaborando os mapas manualmente e também no sistema, informando quando o mapa gerado pela ferramenta otimizada tinha resultado menos satisfatório que o de geração manual. Cada detalhe informado pelo cliente foi analisado e corrigido ou adicionado no algoritmo durante a otimização, e foi durante esse processo que foi percebida a ausência de um parâmetro que em alguns mapas estavam impossibilitando a ferramenta de retornar uma conjugação semelhante à esperada. A informação sobre o sentido da fibra em itens do tipo folha, ausente nas consistências do algoritmo até o momento, foi adicionado e uma versão com mais esse parâmetro foi liberada ao cliente piloto. Com isso, o problema apontado devido a sua falta ficou solucionado.

Assim que as insatisfações informadas pelo cliente diminuíram foi iniciada a análise para implantação da ferramenta em um cliente com necessidades semelhantes: produz bobinas e também folhas, pois essas tornam a conjugação muito mais complexa devido a condições extras para a formação de ciclos produtivos, ou seja, é mais difícil agrupar as ordens de produção para a formação do ciclo produtivo. A otimização ganhou credibilidade e foi aprovada pela empresa quando implantada com sucesso no novo cliente com as mesmas características do anterior.

## **6. Considerações Finais**

Os testes aplicados à ferramenta logo apresentaram resultados positivos quando comparado aos boletins confeccionados manualmente e seu uso em paralelo foi aceito mesmo antes da homologação final feita pelo especialista humano. Os resultados dos testes em ambiente real foram bem sucedidos e a avaliação por parte da empresa foi favorável. Os boletins ilustrados no trabalho foram trabalhados para preservar as informações que o cliente piloto não autorizou publicar. A homologação final da ferramenta otimizada foi feita junto ao cliente piloto com dois meses de uso, realizando comparação de todos os mapas gerados pela ferramenta e pelo especialista humano. Desde então o cliente utiliza apenas o *Cartonline* para gerar os boletins de produção.

A otimização da ferramenta consistiu em alterações no algoritmo da função utilizada para gerar a sequência de produção das ordens de produção, ou seja, essa grande alteração na ferramenta pode não ser percebida pelos usuários. Para tanto o layout das telas do sistema e também da impressão do boletim de programação da fábrica de papel foram mantidos. Dessa forma, o usuário continuou trabalhando normalmente após a atualização da versão.

A qualidade dos mapas obtidos e o tempo de execução gerado com a técnica da busca tabu para as instâncias testadas é o ponto forte do trabalho desenvolvido, que foram comparados com a ferramenta *Cartonline* antes da otimização e após a otimização (método da busca tabu). Esta importância é comprovada pela qualidade das soluções comparadas à versão sem tal método, principalmente em instâncias com maior número de ordens de produção.

Esse trabalho, além de tratar de um problema muito importante no setor industrial, também foi desenvolvido e testado considerando características reais. Pode-se dizer que o trabalho será bastante válido para futuros pesquisadores que venham a explorar esse tema através de outras heurísticas e metaheurísticas.

Portanto, os resultados obtidos validam a utilização da meta-heurística (Busca Tabu) para a resolução do problema de sequenciamento da produção de papel.

## Referências

**CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON M.** *Planejamento, Programação e Controle da Produção - MRP II/ERP: conceitos, usos e implementação - base para o SAP, Oracle Applications e outros softwares integrados de gestão.* 5 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

**GLOVER, F & LAGUNA, M (1997)** *Tabu Search.* Boston Dordrecht London: Kluwer Academic Publishers.

**GÓMEZ, A. T.; GALAFASSI, C.** *Análise de Métodos para a Geração de Células de Manufatura Considerando a Minimização do Número de Trocas de Ferramentas.* In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 30., 2010, São Carlos. Anais... São Carlos: ABEPRO, 2010. p. 12-25.

**GÓMEZ, A. T.** *Uma Solução Integrada Aplicada ao Problema de Otimização do Ciclo de Montagem de uma Inserção Automática de Componentes.* In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 30., 2010, São Carlos. Anais... São Carlos: ABEPRO, 2010. p. 07-10.

**HORNBURG, S. et al.** *A programação da produção puxada pelo cliente: estudo de caso na indústria têxtil.* In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 28., 2008, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008. p. 05-09.

**MARTÍ, Rafael.** *Procedimentos Metaheurísticos em Optimización Combinatoria, Matemáticas, Valencia, n.1, v.1, p. 3-62, 2003.*

**MORAES, R.; LAURINDO, F.; REIS, J.** *Uma aplicação do problema de sequenciação de ordens de Produção.* In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPO), 37., 2006. Goiânia. Anais... Rio de Janeiro: SOBRAPO, 2006. p. 15-32

**SLACK, N.** *Vantagem Competitiva em Manufatura: atingindo competitividade nas operações Industriais.* São Paulo: Atlas, 1993.

**ZATTAR, Cristina Isabel.** *Metodologia para Implantação de um Sistema de Programação da Produção com Capacidade Finita em Empresas Prestadoras de Serviços.* Joinville: Instituto Superior de Tecnologia, 2002.

**ZATTAR, I. C.** *Metodologia para implantação de um sistema de programação da produção com capacidade finita em empresas prestadoras de serviços.* 2003. 78 f. Monografia (Graduação Tecnologia em Mecânica) - Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2003.