

PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM SISTEMAS *FLOW SHOP* HÍBRIDO COM CONSIDERAÇÕES DE TEMPOS DE *SETUP*: UMA ANÁLISE DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO

Márcia de Fátima Morais

GEPPGO, DEP, FECILCAM

Avenida Comendador Norberto Marcondes, 733 – Campo Mourão, PR

marciafmorais@yahoo.com.br

Thays J. Perassoli Boiko

GEPPGO, DEP, FECILCAM

Avenida Comendador Norberto Marcondes, 733 – Campo Mourão, PR

thaysperassoli@bol.com.br

Hugo Hissashi Miyata

EPA, PIBIC_CNPq, GEPPGO, DEP, FECILCAM

Avenida Comendador Norberto Marcondes, 733 – Campo Mourão, PR

hugomiyata7@hotmail.com

Patrícia Castoldi Cantiere

EPA, PIBIC_CNPq, GEPPGO, DEP, FECILCAM

Avenida Comendador Norberto Marcondes, 733 – Campo Mourão, PR

pati_cantieri@hotmail.com

RESUMO

Esta pesquisa integra estudos e pesquisas realizados pelo Grupo de Estudo e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção do Departamento de Engenharia de Produção (DEP), da FECILCAM. As pesquisas em Programação da Produção, foco deste estudo, vem crescendo consideravelmente nos últimos anos. Esta pesquisa objetiva identificar e analisar o conteúdo dos trabalhos disponíveis na literatura especializada, que tratam do desenvolvimento de métodos de solução para os Problemas de Programação da Produção em sistemas *Flow Shop* Híbrido com Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento, dependentes e independentes da sequência de execução de tarefas e/ou lotes de tarefas.

PALAVRAS-CHAVE. Programação da Produção. Flow Shop Híbrido. Tempos de Setup. (Programação Matemática).

ABSTRACT

This research integrate investigations realized by the Group of the Studies and Reseachs in Process and Management Operations (GEPPGO), Operations Research Line Applied to Production Systems, of the Engineering Production Department of the FECILCAM. Researches in Production Scheduling, attempts of this study, have been developed substantially in the last years. This research propose to recognize and analyze the contents of papers in the specialized literature, that dealing the development of solutions methods for the scheduling problem in Hybrid Flow Shop systems with separated Setup Times of the processing time, consider dependent and independent Setup Times of job and/or batch sequence.

KEYWORDS. Scheduling. Hybrid Flow Shop. Setup Times. (Mathematical Programming).

1. Introdução

Grande parte das pesquisas em Programação da Produção até meados da década de 1990 considerava os Tempos de *Setup* como não relevantes ou de pequena variação e, geralmente, os incluíam nos tempos de processamento de tarefas e/ou lotes de tarefas. Todavia, houve um crescimento nas pesquisas que consideram nas hipóteses do Problema de Programação da Produção, a restrição adicional de que os Tempos de *Setup* são separados dos tempos de processamento.

Esta pesquisa, realizada pelo Grupo de Estudo e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção (DEP), da FECILCAM, tem por objetivo identificar os trabalhos disponíveis na literatura especializada, que tratam do desenvolvimento de métodos para a Programação da Produção em sistemas de produção *Flow Shop* Híbrido, que consideram os Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento, dependentes e independentes da seqüência de execução de tarefas e/ou de lote de tarefas.

A presente pesquisa poderá nortear pesquisas futuras, quer sejam de cunho teórico, quer sejam de cunho metodológico, por meio do desenvolvimento de novos métodos para a Programação da Produção, a partir de lacunas do conhecimento identificadas nesta pesquisa, ou de cunho prático, por meio da aplicação dos métodos investigados em empresas que possuam o tipo de sistema de produção adotado nesta pesquisa.

O artigo encontra-se estruturado em seis seções. Após a apresentação da contextualização e dos objetivos da pesquisa, tem-se o referencial teórico da pesquisa. Na terceira seção, os procedimentos metodológicos são apresentados. Na quarta seção, encontra-se a apresentação dos trabalhos realizados em *Flow Shop* Híbridos com Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento dependentes e independentes da seqüência. Em seguida, a análise do conteúdo dos trabalhos e os resultados da análise são apresentados. E na sexta seção, as considerações finais são apresentadas.

2. Referencial Teórico

2.1 Programação da Produção e Problema de Programação da Produção

A Programação da Produção refere-se à ordenação de tarefas a serem executadas, em uma ou diversas máquinas, considerando-se uma base de tempo, ou seja, determinando-se principalmente, as datas de início e fim de cada tarefa. (MOCCELLIN, 2005)

Um Problema de Programação da Produção (PPP), segundo Moccellin (2005), pode ser definido, do ponto de vista da Pesquisa Operacional, que fornece modelos matemáticos para a tomada de decisão, como um problema de n tarefas $\{J_1, J_2, \dots, J_j, \dots, J_n\}$ que devem ser processadas em m máquinas $\{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_m\}$ que estão disponíveis. Um PPP é especificado termos sua classificação, dos critérios de desempenho adotados (MACCARTHY e LIU, 1993) e das hipóteses do problema (BOIKO e MORAIS, 2009).

2.1.1 Classificação dos Problemas de Programação da Produção

Os Problemas de Programação da Produção (PPP) são classificados de acordo com os sistemas de produção, por tipo de posicionamento do processo de produção, onde ocorrem

(BOIKO e MORAIS, 2009). Assim, podem ser classificados conforme segue em: a) Máquina Única; b) Máquinas Paralelas; c) *Flow Shop*; d) *Flow Shop* Permutacional (FSP); e) *Flow Shop* com máquinas múltiplas; f) *Job Shop*; g) *Job Shop* com máquinas múltiplas, também denominado na literatura de *Flow Shop* Flexível (SETHANAN, 2001), *Flow Shop* com Máquinas em Paralelo (SETHANAN, 2001) e *Flow Shop* Híbrido (MORAIS, 2008); h) *Open Shop*; i) Por Projeto. Esta pesquisa trata do *Flow Shop* com máquinas múltiplas, adotando-se a definição utilizada por Morais (2008).

2.1.1.1 *Flow Shop* Híbrido

O *Flow Shop* Híbrido, é um caso especial de *Flow Shop* em que, em pelos menos um dos estágios de produção k o número de máquinas é maior que 1 ($k < m$), ou seja, existe k máquinas em paralelo, sendo que cada tarefa e/ou lote de tarefas é processamento em apenas uma das máquinas em cada estágio de produção (SETHANAN, 2001). O *Flow Shop* Híbrido pode ser subdividido em três categorias, de acordo com o relacionamento entre máquinas do mesmo estágio: a) *Flow Shop* Híbrido com Máquinas Idênticas; b) *Flow Shop* Híbrido com Máquinas Uniformes ou Proporcionais; e c) *Flow Shop* Híbrido com Máquinas Não Relacionadas.

2.1.2 Critérios de Desempenho do Problema de Programação da Produção

Os principais critérios de desempenho utilizados nos métodos de solução para programação da produção, de acordo com Maccarthy e Liu (1993) e Allahverdi, Cheng e Kovalyov (2008) são: Adiantamento da Tarefa ou *Lateness* (L_j); Adiantamento Máximo (L_{max}); Adiantamento Total ($\sum L_j$); Adiantamento Total Ponderado ($\sum w_j L_j$); Adiantamento; Atraso da Tarefas ou *Tardiness* (T_j); Atraso Máximo (T_{max}); Atraso Total ($\sum T_j$); Atraso Médio das Tarefas ($\sum T_j/n$); Atraso Total Ponderado ($\sum w_j T_j$); Data de Término da Tarefa ou *Completion Time* (C_j); Duração Total da Programação ou *Maximum Completion Time* ou *Makespan* (C_{max}); Duração Média da Programação ou *Mean Completion Time* ($\sum C_j/n$); Número de Tarefas em Atraso ($\sum U_j$); Tempo de Espera (W_j); Tempo Médio de Espera ($\sum W_j/n$); Tempo Total de Espera Ponderado ($\sum w_j W_j$); Tempo de Fluxo da Tarefa ou *Flow Time* (F_j); Tempo de Fluxo Total Ponderado ($\sum w_j F_j$); Tempo de Fluxo Total Ponderado ($\sum w_j F_j$); Tempo Médio de Fluxo ($\sum F_j/n$); Tempo Total de Espera ($\sum W_j$); Custo Total de *Setup* (TSC); Tempo Total de *Setup* (TST); Custos de Estoque (CE), e; Custos de Transporte (CT).

2.1.3 Hipóteses do Problema de Programação da Produção

Quanto às hipóteses dos Problemas de Programação da Produção, estas podem ser divididas em hipóteses sobre tarefas e/ou grupos de tarefas, sobre máquinas e sobre políticas de operações (GUPTA e STAFFORD JR., 2006). Estas hipóteses determinam as restrições do Problema. Nesta pesquisa adota-se a restrição de Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento.

2.1.3.1 Tempos de *Setup*

Tempo de *Setup* é o tempo requerido para preparar uma máquina ou um processo para processar uma tarefa e/ou lote de tarefas. Isto inclui, de acordo com Morais (2008), o tempo para obter ferramentas, posicionar o trabalho no processo de materiais, limpeza, recolocação de ferramental, posicionamento de acessórios, ajuste de ferramentas e inspeção de materiais. O *Setup* pode ser classificado de acordo com a dependência da seqüência adotada, quanto a ser *Setup* das máquinas para tarefas ou para lotes de tarefas e quanto à ‘antecipabilidade’.

Quanto à dependência da seqüência, o *Setup* pode ser classificado, segundo Allahverdi; Gupta e Aldowaisan (1999) e Cheng, Gupta e Wang (2000): a) *Setup* dependente da seqüência de execução, e; b) *Setup* independente da seqüência de execução. Quanto a ser *Setup* das máquinas para as tarefas ou para lotes de tarefas, o *Setup* é classificado, conforme Allahverdi, Gupta e Aldowaisan (1999) e Cheng, Gupta e Wang (2000): a) *Setup* para tarefas, e; b) *Setup* para lotes de tarefas. Segundo a “antecipabilidade”, o *Setup* pode ser classificado, segundo Cheng, Gupta e Wang (2000) em: a) *Setup* antecipatório, e; b) *Setup* não-antecipatório.

2.1.4 Métodos de Solução para Problemas de Programação da Produção

Os métodos de solução para Problemas de Programação da Produção são divididos em duas categorias: a) métodos de solução ótima - geram uma programação ótima de acordo com o critério de desempenho adotado (MORAIS, 2008), tais como técnicas de enumeração do tipo *Branch-and-Bound* e Programação Linear Inteira; b) métodos heurísticos - buscam alcançar uma solução próxima da solução ótima, em um tempo computacional (tempo de solução) aceitável, tais como metaheurísticas Busca Tabu, *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético, são classificados em construtivos ou melhorativos (SOUZA e MOCCELLIN, 2000).

3. Procedimentos Metodológicos

A pesquisa aqui relatada classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e, quanto aos meios, como bibliográfica. O método de abordagem adotado foi o quantitativo-qualitativo.

Assim, realizou-se uma pesquisa, com os objetivos de identificar os trabalhos publicados, que tratam do desenvolvimento de métodos para Programação da Produção em sistemas *Flow Shop* Híbrido com tempos de *Setup* dependentes e independentes da seqüência de execução de tarefas e/ou lotes de tarefas, bem como analisar o conteúdo tratado nestes trabalhos.

A busca por trabalhos foi realizada nos portais Periódicos Capes, Science Direct, DOAJ, Hindawi e Open J-Gate, nos anais do ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), do SIMPEP (Simpósio de Engenharia de Produção) e do SBPO (Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional), nas principais bibliotecas *online* do Brasil, como USP, Unicamp e UFSC, no Portal Livre e na Rede Universia, considerando os sistemas de produção *Flow Shop* Híbrido com tempos de *Setup* dependentes e independentes da seqüência de execução de tarefas e/ou lotes de tarefas. Mais de 30 períodos brasileiros e internacionais, nas áreas de Pesquisa Operacional, Administração, Gestão da Produção e Ciências Aplicadas, consultados individualmente, considerando os sistemas de produção *Flow Shop* Híbrido com tempos de *Setup* dependentes e independentes da seqüência de execução de tarefas e/ou lotes de tarefas, também serviram de fontes para esta investigação.

Não se estabeleceu uma limitação temporal para esta investigação.

A análise de conteúdo dos trabalhos encontrados foi estruturada conforme o critério de desempenho adotado, o enfoque do método de solução as restrições adicionais incorporadas ao problema.

4. Programação da Produção em Sistemas *Flow Shop* Híbridos com Tempos de *Setup*

4.1. Programação da Produção em Sistemas *Flow Shop* Híbridos com Tempos de *Setup* Dependentes da Seqüência

Métodos de solução para o Problema de Programação da Produção (PPP) em sistemas de produção *Flow Shop* Híbrido (FSH) com tempos de *Setup* dependentes da seqüência de execução de tarefas e/ou lote de tarefas foram encontrados em 30 publicações.

O Quadro 1 apresenta uma síntese dos trabalhos em sistemas de produção FSH com Tempos de *Setup* dependentes da seqüência de tarefas.

Quadro 1 – Trabalhos em Sistemas de Produção *Flow Shop* Híbrido com Tempos de *Setup* Dependentes da Seqüência de Tarefas (Continua...)

Referência	Critério(s) Desempenho	Enfoque Método(s)	Restrições Adicionais
Liu e Chang (2000)	TST TSC	Ótimo Heurístico	Máquinas Idênticas
Oguz, Janiak e Lichtenstein (2001)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Idênticas Datas de liberações Subdivisão de tarefas Operações simultâneas
Sethanan (2001)	C_{max}	Limitante Heurístico Metaheurístico	Máquinas Idênticas Tempo de espera Tempo ocioso Tempo total de <i>setup</i>
Kurz e Askin (2003)	C_{max}	Heurístico Metaheurístico	Máquinas Idênticas Operações Perdidas
Kurz e Askin (2004)	C_{max}	Limitante Heurístico Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Pugszhendhi et al. (2004)	$\sum w_j F_i$	Heurístico	Máquinas Idênticas Operações Perdidas
Fuchigami (2005)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas
Jungwattanaki et al. (2005)	C_{max} $\sum U_i$	Heurístico Metaheurístico	Máquinas Não-Relacionadas
Moccellin e Silva (2005)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas Estágio dominante
Tang e Zang (2005)	TST	Heurístico Rede Neural	Máquinas Idênticas
Ruiz e Maroto (2006)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Não-Relacionadas
Ruiz, Sivrikaya-Serifoglu e Urlings (2006)	C_{max}	Ótimo Heurístico Metaheurístico	Máquinas Não-Relacionadas Restrições de Precedência Datas de Liberação Elegibilidade de Máquinas <i>Setup</i> Antecipado Tempo de Defasagem
Zandie, Ghomi e Husseini (2006)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Chen et al. (2007)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Não-Relacionadas Restrições de Precedência Limitação de Estoque Intermediário
Jungwattanaki et al. (2008)	C_{max} $\sum U_i$	Heurístico Metaheurístico	Máquinas Não-Relacionadas

Quadro 1 – Trabalhos em Sistemas de Produção *Flow Shop* Híbrido com Tempos de *Setup* Dependentes da Sequência de Tarefas (Fim.)

Referência	Critério(s) Desempenho	Enfoque Método(s)	Restrições Adicionais
Morais (2008)	$\sum F_i/n$	Heurístico	Máquinas Idênticas
Naderi <i>et al.</i> (2008)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Abiri, Zandieh e Tabriz (2009)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Behnamian, Fatemi Ghomi e Zandieh (2009)	C_{max} $\sum L_j$ $\sum T_j$	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Jabbarizadeh, Zandieh e Talebi (2009)	C_{max}	Heurístico Metaheurístico	Máquinas Idênticas Disponibilidade de Máquinas Operações Perdidas
Jungwattanaki <i>et al.</i> (2009)	C_{max} $\sum U_i$	Heurístico Metaheurístico	Máquinas Não-Relacionadas
Naderi, Zandieh e Roshanaei (2009)	C_{max} T_{max}	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Naderi <i>et al.</i> (2009)	C_{max} $\sum T_i$	Metaheurístico	Máquinas Idênticas Tempo de Transporte
Trabiz, Zandieh e Vaziri (2009)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Yaurima, Burtseva e Tchernykh (2009)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Não-Relacionadas

Uma síntese dos trabalhos em sistemas de produção FSH com tempos de *Setup* dependentes da seqüência de execução de lotes de tarefas é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Trabalhos Realizados em Sistemas de Produção *Flow Shop* Híbrido com Tempos de *Setup* Dependentes da Sequência de Lotes de Tarefas

Referência	Critério de Desempenho	Enfoque do (s) Método(s)	Restrições Adicionais
Lin e Liao (2003)	T_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas Estágio Dominante Datas de entrega
Andrés <i>et al.</i> (2005)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas Coeficiente de Similaridade
Logendran, Szoek e Barnami (2006)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Zandieh, Dorri e Khamseh (2009)	C_{max}	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Behnamian, Zandieh e Fatemi Ghomi (2010)	$\sum L_j$ $\sum T_j$	Metaheurístico	Máquinas Idênticas

4.2. Programação da Produção em Sistemas *Flow Shop* Híbridos com Tempos de *Setup* Independentes da Sequência

Métodos de solução para o Problema de Programação da Produção (PPP) em sistemas de produção *Flow Shop* Híbrido (FSH) com Tempos de *Setup* independentes da seqüência de execução das tarefas e/ou do lote de tarefas foram encontrados em 19 publicações.

O Quadro 3 apresenta uma síntese dos trabalhos realizados em sistemas de produção FSH com Tempos de *Setup* Independentes da Sequência de Tarefas.

Quadro 3 – Trabalhos em Sistemas de Produção *Flow Shop* Híbrido com Tempos de *Setup* Independentes da Sequência de Tarefas

Referência	Critério de Desempenho	Enfoque do (s) Método(s)	Restrições Adicionais
Gupta e Tunc (1994)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas Estágio Dominante Tempos de Remoção
Kim, Kang e Lee (1997)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas Lote de Transferência
Botta-Genoulaz (2000)	T_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas Restrições de Precedência Tempo de Defasagem Tempo de Remoção Datas de Entrega
Allaoui e Artiba (2004)	C_{max} $\sum F_i/n$ $\sum W_j/n$ $\sum T_j/n$ T_{max} $\sum U_i$	Ótimo Simulação Heurístico	Máquinas Idênticas Restrições de Manutenção
Low (2005)	$\sum F_i$	Metaheurístico	Máquinas Idênticas Tempo de Remoção
Fuchigami e Moccellini (2006)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas
Fuchigami e Moccellini (2007)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas <i>Setup</i> Antecipatório
Xuan e Tang (2007)	$\sum w_j C_j$ $\sum w_j W_j$	Ótimo	Máquinas Idênticas Lotes no último estágio Tempos de Transporte

Uma síntese dos trabalhos em sistemas de produção FSH com tempos de *Setup* independentes da seqüência de execução de lotes de tarefas é apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 – Trabalhos Realizados em Sistemas de Produção *Flow Shop* Híbrido com Tempos de *Setup* Independentes da Sequência de Lotes de Tarefas

Referência	Critério de Desempenho	Enfoque do (s) Método(s)	Restrições Adicionais
Li (1997)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas Estágio Dominante
Huang e Li (1998)	C_{max}	Ótimo Heurístico	Máquinas Uniformes Estágio Dominante
Cheng e Kovalyov (1998)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Dedicadas Estágio Dominante
Cheng, Kovalyov e Chakhlevice (2004)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas
Logendran, Carson e Hanson (2005)	C_{max}	Heurístico	Máquinas Idênticas
Zhang <i>et al</i> (2005)	$\sum C_i/n$	Ótimo Heurístico	Máquinas Idênticas Restrições de Precedência Estágio Dominante
Akrami, Karimi e Hosseini (2006)	TSC $\sum F_i/n$	Ótimo Metaheurístico	Máquinas Idênticas Limitação de Estoque Intermediário Horizonte Finito
Torabi, Ghomi e Karimi (2006)	TST CT CE	Ótimo Metaheurístico	Máquinas Idênticas Horizonte Finito
Jenabi, Ghomi e Karimi (2007)	TST CE	Ótimo Heurístico Metaheurístico	Máquinas Não-Relacionadas Horizonte Finito
Quadt e Kuhn (2007)	TSC $\sum F_i/n$	Metaheurístico	Máquinas Idênticas
Mahdavi <i>et al</i> (2008)	$\sum w_j T_j$ $\sum w_j L_j$	Ótimo	Máquinas Idênticas <i>Setup</i> antecipatório

4.3. Análise dos Resultados

Métodos para o Problema de Programação da Produção (PPP) em Sistema de Produção *Flow Shop* Híbrido (FSH) com Tempos de *Setup* dependentes e independentes da seqüência de execução de tarefas e/ou lotes de tarefas foram encontrados em 49 publicações.

Deste total, 79,5% investigam FSH com máquinas paralelas idênticas, 16,3% com máquinas paralelas não-relacionadas, 2,1% com máquinas paralelas uniformes e 2,1% com máquinas paralelas dedicadas.

Verificou-se que, 30 trabalhos (61,3%) tratam de PPP em FSH com Tempos de *Setup* dependentes da seqüência e 19 trabalhos (38,7%) apresentam métodos para PPP em FSH com Tempos de *Setup* independentes da seqüência.

Quanto aos trabalhos que tratam de PPP em FSH com Tempos de *Setup* dependentes da seqüência, 83,33% dos trabalhos abordam *Setups* dependentes da execução de tarefas e 16,66% dos trabalhos abordam *Setups* dependentes da execução de lotes de tarefas.

Do total de trabalhos que abordam o desenvolvimento de métodos para PPP em Sistemas FSH com Tempos de *Setup* dependentes da seqüência de execução tanto de tarefas quanto de lotes de tarefas, 73,33% apresentam função-objetivo monocritério, 23,33% bicritério e 3,33% tricritério. Destes trabalhos, 60% abordam o critério de desempenho *Makespan*, 3,33% tratam de critérios orientados ao Atraso Máximo, 3,33% adotam critérios orientados aos Tempos de Fluxo Ponderados, 3,33% abordam Tempo Médio de Fluxo, 3,33% adotam Tempos de *Setup*, 16,66% abordam bricritério *Makespan* e Atraso das Tarefas, 3,33% utilizam bricritério de Atrasos e Adiantamentos, 3,33% abordam bricritério Custos e Tempos de *Setup* e 3,33% adotam tricritério de *Makespan*, Atrasos e Adiantamentos das Tarefas.

Quanto aos trabalhos que tratam de PPP em FSH com Tempos de *Setup* independentes da seqüência, 42,11% dos trabalhos abordam *Setups* dependentes da execução de tarefas e 57,89% dos trabalhos abordam *Setups* dependentes da execução de lotes de tarefas.

Do total de trabalhos que abordam o desenvolvimento de métodos para PPP em Sistemas FSH com Tempos de *Setup* independentes da seqüência de execução tanto de tarefas quanto de lotes de tarefas, 63,15% apresentam função-objetivo monocritério, 26,31% bicritério, 5,27% tricritério e 5,27% multicritério. Destes, 47,36% abordam o critério de desempenho *Makespan*, 5,27% utilizam critérios orientados a Duração Média da Programação, 5,27% tratam de critérios orientados ao Atraso Máximo, 5,27% adotam critérios orientados ao Tempo Total de Fluxo, 5,27% utilizam bicritério de desempenho relacionados aos Tempos de Espera e Adiantamentos Ponderados, 5,27% adotam bicritério direcionados as Datas de Términos e Tempos de Espera Ponderados, 10,52% adotam critérios de Tempo total de *Setup* e Tempo Médio de Fluxo, 5,27% adotam tricritério de Tempo Total de *Setup*, Custo de Transporte e Custo de Estoque e 5,27% utilizam função-objetivo multicritério, abrangendo *Makespan*, Atrasos, Adiantamentos e Tempos de Fluxo das Tarefas.

5. Considerações Finais

Os resultados da pesquisa mostram que os estudos direcionados ao desenvolvimento de métodos para a Programação da Produção em sistemas de produção *Flow Shop* Híbrido cresceram consideravelmente no decorrer da última década. Porém, nota-se uma predominância no desenvolvimento de métodos para PPP em sistemas FSH, que consideram o *Setup* separado dos tempos de processamento, dependentes e independentes da seqüência da execução de tarefas e/ou lotes de tarefas com funções-objetivo monocritério orientados à minimização do *Makespan*.

Referências

- Abiri, M.B.; Zandieh, M. e Tabriz, A.A.** (2009), A Tabu Search Approach to Hybrid Flow Shops Scheduling with Sequence-Dependent Setup Times, *Journal of Applied Sciences*, 9, n.9, p.1740-1745.
- Akrami, B., Karimi, B. e Moattar-Hosseini, S.M.** (2005), Two metaheuristic methods for the common cycle economic lot sizing and scheduling in flexible flow shops with limited intermediate buffers: The finite horizon case, *Applied Mathematics and Computation*, 183, p.634-645.
- Allahverdi, A., Gupta, J.N.D. e Aldowaisan, T.** (1999), A review of scheduling research involving setup considerations, *Omega - The International Journal of Management Science*, 27, p. 219-239.
- Allahverdi, A., Cheng, T. C. E. e Kovalyov, M. Y.** (2008), A survey of scheduling problems with setup times or costs, *European Journal of Operational Research*, 187, p. 985-1032.
- Allaoui, H. e Artiba, A.** (2004), Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints, *Computers and Industrial Engineering*, 47, p.431-450.
- Andrés, C., Albarracín, J.M., Tormo, G., Vicens, E. e García-Sabater, J.P.** (2005), Group technology in a hybrid flowshop environment: a case study, *European Journal of Operational Research*, 167, p.272-281.
- Behnamian, J., Fatemi-Ghomi, S.M.T. e Zandieh, M.** (2009), Multi-phase covering Pareto-optimal front method to multi-objective scheduling in a realistic hybrid flowshop using a hybrid metaheuristic, *Expert Systems with Applications*, 36, n.8.
- Behnamian, J., Zandieh, M. e Fatemi-Ghomi, S. M. T.** (2010), Due windows group scheduling using an effective hybrid optimization approach, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46, n. 5-8, p.721-735.
- Boiko, T. J. P. e Morais, M. F.** (2009), A atividade de programação da produção sobre a ótica da Pesquisa Operacional: uma abordagem teórico conceitual, *Anais...Encontro Tecnológico*, 6, 2009, Campo Mourão – PR.
- Botta-Genoulaz, V.** (2000), Hybrid flow shop scheduling with precedence constraints and time lags to minimize maximum lateness, *International Journal of Production Economics*, 64, p.101-111.
- Cheng, T.C.E., Kovalyov, M.Y. e Chakhlevich, K. N.** (2004), Batching in a two-stage flowshop with dedicated machines in second stage, *IIE Transactions*, 36, p.87-93.
- Cheng, T. C. E.; Gupta, J. N. D. e Wang, G.** (2000), A review of flowshop scheduling research with setup times, *Production and Operations Management*, 9, no.3, p.262-282.
- Cheng, T.C.E.; Kovalyov, M.Y.** (1998), An exact algorithm for batching two part types in a mixed shop: Algorithms and Complexity, *International Journal of Production Economics*, 55, p.53-56.
- Fuchigami, H. Y. e Moccasin, J. V.** (2006), Estudo da influência da programação do primeiro estágio em sistemas flow shop híbridos com tempos de setup independentes da sequência de processamento das tarefas. *Anais...Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 38. Poços de Caldas, MG.
- Fuchigami, H.Y. e Moccasin, J.V.** (2007), Análise de desempenho de regras de prioridade para programação em flow shop com múltiplas máquinas e tempos de setup independentes da sequência. *Anais...Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 27, Foz do Iguaçu – PR.
- Fuchigami, H.Y.** (2005), Métodos heurísticos construtivos para o problema de programação da produção em sistemas Flow Shop híbridos com tempos de preparação das máquinas assimétricos e dependentes da sequência. 135f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.*
- Gupta, J.N.D. e Stafford Jr.** (2006), Flowshop scheduling research after five decades. *European Journal of Operational Research*, 169, p. 699-711.

- Gupta, J.N.D. e Tunc, E.A.** (1994), Scheduling a two-stage hybrid flowshop with separable setup and removal times, *European Journal of Operational Research*, 77, p.415-428.
- Huang, W. e Li, S.** (1998), A two-stage hybrid flowshop with uniform machines and setup times, *Mathematical and Computer Modeling*, 27, n.2, p.27-45.
- Jabbarizadeh, F., Zandieh, M. e Talebi, D.** (2009), Hybrid flexible flowshops with sequence-dependent setup times and machine availability constraints, *Computers & Industrial Engineering*, 57, n. 3, p.949-957.
- Jenabi, M., Ghomia, S.M.T. F.; Torabi, S.A. e Karimi, B.** (2007), Two hybrid meta-heuristics for the finite horizon ELSP in flexible flow lines with unrelated parallel machines, *Applied Mathematics and Computation*, 186, n.1, p. 230-245.
- Jungwattanaki, J., Reodecha, M., Chaovallitwongse, P. e Werner, F.** (2005), An evaluation of sequencing heuristics for flexible flow shop scheduling problems with unrelated parallel machines and dual criteria, *Otto-Von-Guericke, Universitat Magdeburg, Preprint*, 28. n.5, p.1-23.
- Jungwattanaki, J., Reodecha, M., Chaovallitwongse, P. e Werner, F.** (2008), Algorithms for flexible flow shop problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria, *Introduction Journal Advanced Manufactory Technology*, 37, p.354-370
- Jungwattanaki, J., Reodecha, M., Chaovallitwongse, P. e Werner, F.** (2009), A comparison of scheduling algorithms for flexible flow shop problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria, *Computers and Operations Research*, 36, n.2, p.358-378.
- Kim, J.S., Kang, S.H e Lee, S.M.** (1997), Transfer Batch Scheduling for a Two-stage Flowshop with Identical Parallel Machines at Each Stage, *Omega - The International Journal of Management Science*, 25, n.5, p. 547-555.
- Kurz, M.E. e Askin, R.G.** (2003), Comparing scheduling rules for flexible flow lines, *International Journal of Production Economics*, 85, p.371-388.
- Kurz, M.E. e Askin, R.G.** (2004), Scheduling flexible flow lines with sequence-dependent setup times, *International Journal of Operational Research*, 159, p.66-82.
- Li, S.** (1997), A hybrid two-stage flowshop with part family, batch production, and major and minor set-ups, *European Journal of Operational Research*, 102, p.142-156.
- Lin, H.T. e Liao, C.J.** (2003), A case study in a two-stage hybrid flow shop with setup time and dedicated machines, *International Journal of Production Economics*, 86, p.133-143.
- Liu, C. e Chang, S.** (2000), Scheduling flexible flow shops with sequence-dependent setup effect, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 16, n.x, p.408-419.
- Logendran, R., Carson, S. e Hanson, E.** (2005), Group scheduling in flexible flow shops, *International Journal of Production Economics*, 96, p.143-155.
- Logengran, R.; Szoeki, P. e Barnard, F.** (2006), Sequence-dependent group scheduling problems in flexible flow shops, *International Journal of Production Economics*, 102, n.1, p.66-86.
- Low, C.** (2005), Simulated annealing heuristic for flow shop scheduling problems with unrelated parallel machines. *Computers & Operations Research*, 32, p.2013-2025.
- MaCarthy, B.L. e Liu, J.Y.** (1993), Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling, *International Journal of Production Research*, 31, n.1, p. 59-79.
- Mahdavi, I.; Mojarad, M.S.; Javadi, B.; Tajdin, A.** (2008) A genetic approach for solving a hybrid flow shop scheduling problem, *Proceedings of Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*.
- Moccellin, J.V e Silva, P.P.** (2005), Estágios dominantes flexíveis em sistemas de produção flow shop híbridos. Anais...*Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 37, Gramado, RS.
- Moccellin, J.V.** (2005), Técnicas de Sequenciamento e Programação de Operações em Máquinas. 74p, *Publicação Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo*, 2005.
- Morais, M.F.** (2005), Métodos Heurísticos Construtivos para Redução do Estoque em Processo em Ambientes de Produção Flow Shop Híbridos com Tempos de Setup Dependentes da

Seqüência. *Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo*, São Carlos. 2008.

Naderi, B., Khalili, M., Taghavifard, M.T. e Roshanaei, V. (2008), A variable neighborhood search for hybrid flexible flowshops with setup times minimizing total completion time, *Journal of Applied Sciences*, 8, n.16, p.2843-2859.

Naderi, B., Zandieh, M., Balag, A.K.G. e Roshanaei, V. (2009), An improved simulated annealing for hybrid flowshops with sequence-dependent setup and transportation times to minimize total completion time and total tardiness, *Expert systems with Applications*, 36, n.6, p.9625-9633.

Oguz, C., Janiak, A. e Lichtenstein, M. (2001), Metaheuristic algorithms for hybrid flowshop scheduling problem with multiprocessor tasks, *Proceedings of the 4th Metaheuristics International Conference*, p.477-481.

Pugazhendhi, S., Thiagarajan, S., Rajendran, C. e Anantharaman, N. (2004), Generating non-permutation schedules in flowline-based manufacturing systems with sequence-dependent setup times of Jobs: a heuristic approach, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23, p.64-78.

Quadt, D. e Kuhn, H. (2005), Conceptual framework for lot-sizing and scheduling of flexible flow lines, *Introduction Journal of Production Research*, 43, n.11, p.2291-2308.

Quadt, D. e Kuhn, H. (2007), Batch scheduling of jobs with identical process times on flexible flow lines, *Introduction Journal of Production Economics*, 105, p. 385-401

Ruiz, R. e Maroto, C. (2006), A genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times and machine eligibility, *European Journal of Operational Research*, 169, p.781-800.

Ruiz, R., Sivrikaya-Serifoglu, F. e Urlings, T. (2008), An evolutionary approach to realistic hybrid flexible flowshop scheduling problems, *Computers & Operations Research*, 35, p.1115-1175.

Sethanan, K. (2001), Scheduling flexible flowshops with sequence dependent setup times, *Tese (Doutorado em Decision Sciences and Production System) - College of Engineering and Mineral Resources*, West Virginia University, Morgantown.

Souza, A. B. D. e Moccellini, J. V. (2000), Metaheurística híbrida Algoritmo Genético Buscatabu para a programação de operações flow shop, *Anais...Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 22, 2000, Viçosa, MG.

Tabriz, A.A., Zandieh, M. e Vaziri, Z. (2009), A Novel Simulated Annealing Algorithm to Hybrid Flow Shops Scheduling with Sequence-Dependent Setup Times, *Journal of Applied Sciences*, 9, n.10, p.1943-1949.

Tang, L. e Zhang, Y. (2005) Heuristic Combined Artificial Neural Networks to Schedule Hybrid Flow Shop with Sequence Dependent Setup Times, *Lecture Notes in Computer Science*. 3496, p. 788-793.

Torabi, S.A., Fatemi-Ghomi, S.M.T e Karimi, B. (2007), A hybrid genetic algorithm for the finite horizon economic lot and delivery scheduling in supply chains, *European Journal of Operational Research* 173, p.173-189.

Yang, W. e Liao, C. (1999), Survey of scheduling research involving setup times, *International Journal of Systems Science*, 30, n.2, p. 143-155.

Yaurima, V., Burtseva, L. e Tchernykh, A. (2009), Hybrid flowshop with unrelated machines, sequence-dependent setup time, availability constraints and limited buffers, *Computers & Industrial Engineering*, 56, n. 4, 1452-1463.

Xuan, H. e Tang, L. (2007), Scheduling a hybrid flowshop with batch production at the last stage, *Computers & Operations Research*, 34, p.2718 – 2733.

Zandieh, M., Fatemi Ghomi, S.M.T e Moattar Hussein, M. (2006), An immune algorithm approach to hybrid flow shops scheduling with sequence dependent setup times. *Applied Mathematics and Computation*, 180, 111-127.

Zandieh, M., Dorri, B. e Khamseh, A. R. (2010), Robust metaheuristics for group scheduling with sequence-dependent setup times in hybrid flexible flow shops, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43, n.7-8, p. 767-778.