



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

## MÉTODOS DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM *FLOW SHOP* TRADICIONAL COM TEMPOS DE *SETUP* SEPARADOS DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO

MIYATA, Hugo Hissashi (IC Fundação Araucária/SETI), Engenharia de Produção Agroindustrial, Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM), hugomiyata7@hotmail.com

BOIKO, Thays J. P. (OR), Engenharia de Produção Agroindustrial, (GEPPGO), Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM), thaysperassoli@bol.com.br

MORAIS, Márcia de Fátima, Engenharia de Produção Agroindustrial, (GEPPGO), Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM), marciafmorais@yahoo.com.br

**RESUMO:** Esta pesquisa, realizada com o apoio da Fundação Araucária/SETI dedica-se ao Problema de Programação da Produção (PPP) em sistemas de produção *Flow Shop* Tradicional com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento, para tarefas ou lotes de tarefas. O objetivo foi identificar e analisar os trabalhos disponíveis que tratam do desenvolvimento de métodos de solução para este Problema. Também foi realizada uma análise do número de trabalhos publicados ao longo dos anos. O referencial teórico foi referente ao PPP, tempos de *setup* e métodos de solução para o PPP. A busca por trabalhos foram realizadas em nível nacional e internacional nos principais periódicos, revistas, bibliotecas digitais e anais de eventos. As análises foram efetuadas em função: dos métodos de solução e os tipos de métodos desenvolvidos; do tratamento dos tempos de *setup* (dependente ou independente); do critério de desempenho adotado e; das restrições adicionais consideradas. Em nível nacional não se estabeleceu uma limitação temporal. Em nível internacional identificou-se os trabalhos publicados a partir de 2008. Foram encontrados 21 trabalhos, apenas um nacional. Verificou-se que 90,47% dos trabalhos consideraram tempos de *setup* dependentes da sequência, predominância em métodos de solução heurística e metaheurística, grande porcentagem em adoção do *makespan* como critério de desempenho e grande variação de restrições adicionais. Além disso, de 2008 para 2010 notou-se uma redução de 25% no número de pesquisas que abordam *Flow Shop* Tradicional com considerações de *setup* em nível nacional e internacional.

**Palavras-chave:** Programação da Produção. *Flow Shop* Tradicional. Tempos de *Setup*.



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

## 1 INTRODUÇÃO

A análise da evolução de métodos para o Problema de Programação da Produção em sistemas de produção *Flow Shop* nas últimas cinco décadas, apresentada por Gupta e Stafford Jr. (2006), mostra que a consideração de problemas com o tratamento dos tempos e/ou custos de *setup* teve um aumento progressivo de interesse dos pesquisadores.

A esse respeito Allahverdi, Gupta e Aldowaisan (1999) e Allahverdi *et al* (2008) citam que grande parte das pesquisas em Programação da Produção até meados de 1990 considerava os tempos e/ou custos de *setup* como irrelevantes e, geralmente, os incluíam nos tempos e/ou custos de processamento. Este artifício simplifica a análise e reflete certas aplicações, porém afeta a qualidade da solução em vários problemas de programação.

Barros e Moccellin (2004) afirmam que, nestes casos existe a necessidade de tratar os tempos e/ou custos de *setup* diferenciadamente dos tempos e/ou custos de processamento, devido aos *setups* apresentarem relação direta com a disponibilidade de equipamentos e custos específicos. O tratamento em separado dos tempos e/ou custos de *setup* pode levar, com a otimização do critério de desempenho adotado, à melhorias no atendimento à demanda e à facilidade no gerenciamento do sistema de produção.

Realizada com o apoio da Fundação Araucária/SETI, esta pesquisa está inclusa nos estudos desenvolvidos pelo Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), pertencente ao Departamento de Engenharia de Produção (DEP) da Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM). A linha de pesquisa em questão é denominada “Pesquisa Operacional e Sub-linha Pesquisa Operacional Aplicada à Programação da Produção”.

Esta pesquisa tem por objetivo identificar e analisar os trabalhos disponíveis na literatura especializada, que tratam do desenvolvimento de métodos de solução para a Programação da Produção em sistemas de produção *Flow Shop* Tradicional, que consideram os tempos de *setup* para tarefas separados dos tempos de processamento.

O artigo encontra-se estruturado em sete seções. Após a contextualização e apresentação dos objetivos da pesquisa, o referencial teórico é exposto. Na terceira seção, a metodologia da pesquisa é apresentada. Na quarta seção, encontra-se a apresentação dos trabalhos realizados em *Flow Shop* Tradicional com considerações de tempos de *setup*. Em seguida, a análise dos trabalhos é apresentada. Os resultados da análise são discutidos na sexta seção. Na sétima seção apresenta-se uma análise do número de trabalhos publicados em Programação da Produção em Sistemas de Produção *Flow Shop* Tradicional



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento. Em seguida, as considerações finais são apresentadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

*Um Problema de Programação da Produção (PPP) é entendido como um problema de  $n$  tarefas  $\{J_1, J_2, \dots, J_j, \dots, J_n\}$  que devem ser processado em  $m$  máquinas  $\{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_m\}$  que estão disponíveis, segundo Taillard (1993). Para Moccellini (2005) e Boiko e Morais (2009) para cada operação  $op_{kj}$  existem tempos associados. Estes tempos correspondem aos tempos de processamento  $p_{kj}$ , de preparo de máquinas (setup)  $s_{kj}$ , de transferência  $t_{kj}$  e remoção  $r_{kj}$ , entre outros. Cada tarefa  $J_j$  possui uma data de liberação  $l_j$  (release date) e uma data de entrega  $d_j$  (due date). Assim, a Programação da Produção, corresponde à designação de tarefas nas máquinas, em um determinado período de tempo.*

Os PPP são classificados, conforme Boiko e Morais (2009) relatam, de acordo com os sistemas de produção, por tipo de posicionamento do processo de produção, onde ocorrem. Assim, os PPP são classificados em: Máquina Única; Máquinas Paralelas; *Flow Shop*; *Job Shop*; *Open Shop*, e; Por Projetos.

Os sistemas de produção *Flow Shop* são aqueles que  $n$  produtos devem ser processados em  $k$  operações ou estágios de produção ( $k > 1$ ), sendo que todos os  $n$  produtos a serem produzidos têm a mesma sequência de operações nos  $k$  estágios de produção, ou seja, todos os produtos têm fluxos com padrões idênticos, pois possuem o mesmo roteiro de produção linear. Os PPP em sistemas *Flow Shop* são classificados em: *Flow Shop* Tradicional; *Flow Shop* Permutacional e; *Flow Shop* com máquinas múltiplas: também denominado como *Flow Shop* Híbrido, Flexível ou com Máquinas em Paralelo.

Toda Programação da Produção (PP) é realizada visando melhorar o desempenho em um determinado critério. Os principais critérios de desempenho podem ser encontrados em French (1982), Bedworth; Bailey (1987), e MacCarthy; Liu (1993), Moccellini (2005), Arenales *et al.* (2007) e Lustosa *et al.* (2008).

Quanto às hipóteses dos PPP, segundo Gupta e Stafford Jr. (2006), estas podem ser divididas em hipóteses sobre tarefas e/ou grupos de tarefas, hipóteses sobre máquinas e



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

hipóteses sobre políticas de operações. Para Boiko e Morais (2009) as hipóteses dizem respeito à dinâmica de funcionamento do sistema de produção e as restrições envolvidas.

Os sistemas de produção possuem várias restrições que podem comprometer ou otimizar seus indicadores de desempenho, ferramentas utilizadas para analisar e controlar datas de entregas, velocidade de processamento de ordens e tempo de ociosidade. Uma dessas restrições, segundo Boiko e Morais (2009), são os tempos associados ao preparo de uma máquina ou processo para processar uma tarefa ou lote de tarefas (tempos de *setup*).

Para Yang; Liao (1999); Cheng; Gupta; Wang (2000), Allahverdi; Cheng e Kovalyov (2006), Gilio (2007) e Allahverdi e Soroush (2008) em PPP, os *setup* podem ser classificados em *setup* dependente ou independente da sequência, *setup* separável (antecipado) ou não-separável (não-antecipado). Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2006) complementam a existência de *setup* para tarefas individuais ou para lotes de tarefas.

Segundo Morais (2008), um problema básico de PP em sistemas de produção *Flow Shop* Tradicional consiste em programar um conjunto de  $n$  tarefas, onde cada tarefa possui necessariamente uma única operação em cada estágio de produção. As principais hipóteses consideradas no problema básico são: os tempos de processamento das tarefas nos estágios de produção são determinados e fixos; as tarefas têm a mesma data de liberação no primeiro estágio; as operações quando iniciadas não podem ser interrompidas nem subdivididas em sub-operações simultâneas; e uma tarefa somente começa a ser executada em um determinado estágio após sua conclusão no estágio anterior.

Quando restrições são incorporadas ao problema tradicional de PP aumenta-se sua complexidade de um PPP, tornando-o um problema não básico. Conforme Boiko (2009), alguns exemplos de possíveis restrições adicionais são: tempo de remoção; tempo de *lag* ou tempo de defasagem; *release dates* ou datas de liberação; *deadlines* ou prazos de entrega; quebras de máquinas; limitações de *buffer* ou espaço para estocagem; reprogramações; estágios gargalos; operador único; tempo de *setup*.

De acordo com Souza e Moccellini (2000), os métodos de solução para os PPP são divididos em duas grandes categorias: a) métodos de solução ótima - geram uma programação ótima de acordo com o critério de desempenho adotado; b) métodos heurísticos - buscam alcançar uma solução próxima da solução ótima, em um tempo computacional (tempo de solução) aceitável, e podem ser subdivididos em construtivos e melhorativos. Uma terceira categoria, derivada dos métodos heurísticos tem sido destacada são as metaheurísticas, tais como Busca Tabu, *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético.



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

## 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e, quanto aos meios, como bibliográfica. O método de abordagem adotado foi o quantitativo-qualitativo. Neste contexto, realizou-se uma pesquisa, com os objetivos de identificar os trabalhos publicados, que tratam do desenvolvimento de métodos para Programação da Produção (PP) em sistemas *Flow Shop* Tradicional com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento bem como analisar o conteúdo destes trabalhos, de modo a identificar o atual estado da arte das pesquisas para este tipo de Problema de Programação da Produção (PPP).

A busca por trabalhos foram realizadas nos portais Periódicos Capes, Science Direct, DOAJ, Hindawi e Open J-Gate, nos anais dos principais eventos da área, como o SBPO (Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional), o ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção) e o SIMPEP (Simpósio de Engenharia de Produção), nas principais bibliotecas *online* da USP, Unicamp e UFSC, no Portal Livre e na Rede Universia, considerando os sistemas *Flow Shop* Tradicional com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento. Mais de 30 periódicos brasileiros e internacionais, nas áreas de Pesquisa Operacional, Administração, Gestão da Produção e Ciências Aplicadas, consultados individualmente, considerando os sistemas de produção *Flow Shop* Tradicional 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. As palavras-chave utilizadas para a busca dos trabalhos foram: *Flow Shop*, *Flow Shop* Tradicional, tempos de *setup*, tempos de *setup* dependentes da sequencia, tempos de *setup* independentes da sequencia, restrições e limitações. Uma extensiva combinação destas palavras-chave foi também utilizada para identificação dos trabalhos na literatura especializada.

Não se estabeleceu uma limitação temporal para a investigação de trabalhos a nível nacional. Todavia, para a investigação de trabalhos a nível internacional, optou-se por levantar trabalhos realizados a partir do ano de 2008, devido a *surveys* já realizados em períodos anteriores por Yang; Liao (1999), Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (2000), Cheng; Gupta; Wang (2000), Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2006) e Allahverdi *et al* (2008).

As análises dos trabalhos que tratam do desenvolvimento de métodos de solução para o PPP em sistemas *Flow Shop* Tradicional com considerações de tempos de *setup*, foram efetuadas em função: a) da abordagem e os tipos de métodos de solução; b) do tratamento dos tempos de *setup*



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

(dependente ou independente da seqüência de execução das tarefas); c) do critério de desempenho adotado, e; d) das restrições adicionais consideradas. As discussões dos resultados foram feitas em termos de porcentagem.

#### **4 REVISÃO DE LITERATURA: TRABALHOS REALIZADOS EM PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLOW SHOP TRADICIONAL COM TEMPOS DE SETUP SEPARADOS DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO**

No total foram encontrados 21 trabalhos que tratam do Problema de Programação da Produção (PPP) em sistemas de produção *Flow Shop* Tradicional com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento.

A nível nacional foi encontrado apenas o trabalho de Belo Filho (2010). Já a nível internacional foram encontrados 20 trabalhos: Hendizadeh (2008), Huang e Yang (2008), Kodeekha (2008), Lo; Chen e Chang (2008), Mansouri; Hendizadeh e Salmasi (2008); Ruiz e Stütze (2008), Sajadl; Aryanezhad e Ziaee (2008), Yang; Kuo e Chern (2008); Ben-Dati; Mosheiov e Oron (2009), Dhingra e Chandna (2009), Lin *et al.* (2009), Maboundian e Shafaei (2009), Martin (2009), Mohammadi *et al.* (2009), Mskani; Ladhar e Allahverdi (2009), Eren (2010), Gong; Tang e Duin (2010), Salmasi; Logendran e Skandari (2010), Sun (2010) e Fernandes e Carmo-Silva (2010).

#### **5 ANÁLISE DOS TRABALHOS REALIZADOS EM PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLOW SHOP TRADICIONAL COM TEMPOS DE SETUP SEPARADOS DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO**

O Quadro 1 apresenta uma síntese das abordagens utilizadas no desenvolvimento de métodos de solução encontrados na literatura e os tipos de métodos desenvolvidos.

<b>Referência</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Método desenvolvido</b>
Hendizadeh (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Busca Tabu e <i>Simulated Annealing</i>
Huan e Yang (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Otimização da Colônia de Formigas
Kodeekha (2008)	- Solução ótima	- Método da Força Bruta



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

		- Aproximação de Programação Acoplável
Lo; Chen; Chang (2008)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- <i>Branch-and-Bound</i> - Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético
Mansouri; Hendizadeh; Salmasi (2008)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- Limitante Inferior - Construtivo - <i>Simulated Annealing</i> e Algoritmo Genético
Ruiz; Stützle (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo - Algoritmo Iterativo Guloso
Sajadi; Aryanezhad; Ziaee (2008)	- Solução ótima	- Programação Inteira Mista
Yang; Kuo; Chern (2008)	- Solução ótima	- <i>Branch-and-Bound</i>
Ben-Dati; Mosheiov; Oron (2009)	- Solução ótima	- Programação Inteira

Quadro 1 – Abordagens utilizadas no desenvolvimento dos métodos de solução e os tipos de métodos desenvolvidos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2011. (Continua...)

Referência	Abordagem	Método desenvolvido
Dhingra e Chandna (2009)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético Híbrido
Lin et al. (2009)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo - <i>Simulated Annealing-Based</i>
Maboundian; Shafaei (2009)	- Solução ótima	- Modelo Matemático e Limitante Inferior
Martin (2009)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- Programação Inteira Mista - Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético
Mohammadi et al. (2009)	- Solução ótima - Heurística	- Programação Inteira Mista e Método da Enumeração Ótima - Construtivo
Mskani; Ladhari; Allahverdi (2009)	- Heurística	- Construtivo e Melhorativo
Eren (2010)	- Solução ótima - Heurística	- Programação Inteira - Construtivo
Gong; Tang e Duin (2010)	- Heurística	- Construtivo
Salmasi; Logendran; Skandari (2010)	- Heurística - Metaheurística - Híbrido	- Construtivo e Melhorativo - Busca Tabu - Otimização da Colônia de Formigas Híbrido
Sun (2010)	- Solução ótima	- Programação Dinâmica
Belo Filho (2010)	- Heurística	- Construtivo e Melhorativo
Fernandes; Carmo-Silva (2010)	- Simulação	- Modelo matemático

Quadro 1 – Abordagens utilizadas no desenvolvimento dos métodos de solução e os tipos de métodos desenvolvidos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2011. (Conclusão.)

O Quadro 2 mostra o tratamento dado aos tempos de *setup*, quanto a ser dependente ou independente, no desenvolvimento dos métodos de solução.

Referências	Tratamento do Setup
Hendizadeh (2008)	Dependente
Huang e Yang (2008)	Dependente



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

Kodeekha (2008)	Independente
Lo; Chen; Chang (2008)	Dependente
Mansouri; Hendizadeh; Salmasi (2008)	Dependente
Ruiz; Stützle (2008)	Dependente
Sajadi; Aryanezhad; Ziaee (2008)	Dependente
Yang; Kuo; Chern (2008)	Dependente
Ben-Dati; Mosheiov; Oron (2009)	Dependente
Dhingra e Chandna (2009)	Dependente
Lin <i>et al.</i> (2009)	Dependente
Maboundian; Shafaei (2009)	Dependente
Martin (2009)	Dependente
Mohammadi <i>et al.</i> (2009)	Dependente
Mskani; Ladhari; Allahverdi (2009)	Independente
Eren (2010)	Dependente

Quadro 2 – Tratamento dados aos tempos de *setup* para o desenvolvimento dos métodos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2011. (Continua...)

Referências	Tratamento do Setup
Gong; Tang; Duin (2010)	Dependente
Salmasi; Logendran; Skandari (2010)	Dependente
Sun (2010)	Dependente
Belo Filho (2010)	Dependente
Fernandes; Carmo-Silva (2010)	Dependente

Quadro 2 – Tratamento dados aos tempos de *setup* para o desenvolvimento dos métodos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2011. (Conclusão.)

O Quadro 3 apresenta os critérios de desempenho adotados no desenvolvimento dos métodos de solução encontrados. O Quadro 4 mostra as restrições adicionais consideradas no desenvolvimento dos métodos de solução encontrados na literatura.

Referências	Critérios de Desempenho
Hendizadeh (2008)	$C_{max}$
Huang e Yang (2008)	$MIT; TWT(CE); T_j$
Kodeekha (2008)	$C_{max}$
Lo; Chen; Chang (2008)	$C_{max}$
Mansouri; Hendizadeh; Salmasi (2008)	$C_{max}; S_j$
Ruiz; Stützle (2008)	$C_j; C_{max}; T_j$
Sajadi; Aryanezhad; Ziaee (2008)	$T_j$ e $C_{max}$
Yang; Kuo; Chern (2008)	$C_{max}$
Ben-Dati; Mosheiov; Oron (2009)	$C_{max}$
Dhingra e Chandna (2009)	$T_j; E_j; C_{max}$
Lin <i>et al.</i> (2009)	$C_{max}; T_j$
Maboundian; Shafaei (2009)	$C_{max}$
Martin (2009)	$C_{max}$
Mohammadi <i>et al.</i> (2009)	$\sum S_j$
Mskani; Ladhari; Allahverdi (2009)	$\sum C_j$
Eren (2010)	$\sum T_j; C_{max}$





# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

Gong; Tang; Duin (2010)	<i>C<sub>max</sub></i>
Mirabi (2010)	<i>C<sub>max</sub></i>
Salmasi; Logendran; Skandari (2010)	<i>Total Flow Time (TFT)</i>
Sun (2010)	<i>C<sub>max</sub></i>
Belo Filho (2010)	<i>S<sub>j</sub> ; TSC ; CE</i>
Fernandes; Carmo-Silva (2010)	<i>S<sub>j</sub></i>

Quadro 3 – Critérios de desempenho adotados nos métodos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2011.

Referências	Restrições Adicionais
Hendizadeh (2008)	- Manufatura celular
Huang e Yang (2008)	- Sobreposição - Diferentes datas de liberação - Ociosidade da máquina

Quadro 4 – Restrições adicionais incorporadas aos métodos de solução.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2011. (Continua...)

Kodeekha (2008)	-
Lo; Chen; Chang (2008)	-
Mansouri; Hendizadeh; Salmasi (2008)	-
Ruiz; Stützle (2008)	-
Sajadi; Aryanezhad; Ziaee (2008)	- Diferentes datas de liberação - Tempos de defasagem
Yang; Kuo; Chern (2008)	Fluxo de produção reentrante
Ben-Dati; Mosheiov; Oron (2009)	- Máquinas Dependentes
Dhingra e Chandna (2009)	- Máxima utilização de recursos - Datas de Entrega
Lin et al. (2009)	-
Maboundian; Shafaei (2009)	- Máquinas paralelas no primeiro estágio
Martin (2009)	- Lote de transferência - Tamanho do lote
Mohammadi et al. (2009)	- Programação Simultânea - Horizonte de planejamento
Mskani; Ladhari; Allahverdi (2009)	-
Eren (2010)	-
Gong; Tang; Duin (2010)	- <i>Setup</i> Compartilhado - Bloqueio de máquinas
Salmasi; Logendran; Skandari (2010)	-
Sun (2010)	- Regras de Precedência
Belo Filho (2010)	- Demanda Dinâmica Determinística - <i>Setup</i> mantido entre períodos - Restrições de Capacidade - Tempos Assíncronos
Fernandes; Carmo-Silva (2010)	Decisão de alocação das tarefas

Quadro 4 – Restrições adicionais incorporadas aos métodos de solução.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2011. (Conclusão.)



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta a discussão dos resultados em termos de métodos de solução, critérios de desempenho, tratamento dos tempos de *setup* e restrições adicionais. Os resultados foram discutidos em relação ao número total de publicações investigadas.

### 6.1 TRATAMENTO DOS TEMPOS DE *SETUP*, ABORDAGEM ADOTADAS NO DESENVOLVIMENTO DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO E TIPOS DE MÉTODOS

Em relação ao tratamento dos tempos de *setup* verificou-se que do total de publicações, 90,47% (19 trabalhos), tratam os tempos de *setup* como sendo dependentes da sequência, e 9,53% (2 trabalhos) como independentes da sequência. Quanto as abordagens adotadas de métodos de solução para o PPP em Sistemas *Flow Shop* Tradicional com tempos de *setup* dependentes ou independentes da sequência, constatou-se os problemas são tratados na proporção de: 66,66% heurística; 42,85% metaheurística; 52,38% solução ótima; 4,76% híbrido (neste caso, metaheurística combinada com solução ótima); e 4,76% - simulação.

Todavia, em função da tendência das novas pesquisas em programação tratarem os Problemas de Programação da Produção sob o ponto de vista de mais de uma abordagem, verificou a proporção dos trabalhos que tratavam os problemas por apenas uma abordagem e por várias abordagens. Neste contexto, constatou-se que 47,62 % dos trabalhos (10 trabalhos) tratavam o PPP sob uma abordagem apenas. Deste total, 60% dos trabalhos adotaram a abordagem de solução ótima, 30% a abordagem de solução heurística e 10% a abordagem de simulação.

Os outros 52,38% dos trabalhos (11 trabalhos) trataram do desenvolvimento de vários métodos de solução, cada qual com a adoção de abordagens diferentes. Neste contexto, verificou-se que 45,45% dos trabalhos visaram o desenvolvimento de métodos heurísticos e metaheurísticos, 18,18% dos trabalhos desenvolveram métodos de solução ótima e métodos heurísticos e 36, 36% dos trabalhos utilizaram as abordagens de solução ótima, solução heurística e solução metaheurística



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

para o desenvolvimento dos métodos.

Destaca-se que o único trabalho nacional que tratava do desenvolvimento de métodos de solução para Problemas de Programação da Produção em *Flow Shop* Tradicional com tempos de *setup* independentes da sequência de execução adotou a abordagem de solução heurística.

## 6.2 CRITÉRIOS DE DESEMPENHO ADOTADOS E RESTRIÇÕES ADICIONAIS

Quanto aos critérios de desempenho adotados, das 21 publicações encontradas abordando métodos de solução para o PPP em sistemas de produção *Flow Shop* Tradicional com tempos de *setup* dependentes ou independentes da sequência de execução das tarefas, 13 publicações (61,91%) apresentam função objetivo monocritério, ou seja, adotam somente um critério de desempenho, 28,57% (seis publicações) apresentam função objetivo bicritério e duas obras (9,52%) apresentam função objetivo tricritério. Destaque para a publicação nacional que tratou do desenvolvimento de métodos de solução para o problema em questão, com função objetivo tricritério.

Do total de trabalhos (13 publicações) que utilizam função objetivo monocritério, 10 trabalhos (76,93%) adotam o *makespan* como único critério de desempenho, um trabalho (7,69%) adota o tempo total de fluxo, um trabalho (7,69%) adota as datas de término das tarefas e um trabalho (7,69%) adota o os tempos totais de *setup* com critério de desempenho.

Das quatro publicações que adotam função objetivo bicritério, dois (50%) trabalhos adotam bicritério de *makespan* e atraso das tarefas, uma publicação (25%) bicritério de *makespan* e tempos de *setup* e uma publicação (25%) bicritério de *makespan* e atraso total.

Em relação aos trabalhos que utilizam funções objetivo tricritério (quatro trabalhos), verificou-se que um trabalho (25%) utiliza tricritério de *makespan*, *completion time* e *tardiness*; um trabalho (25%) adota *tardiness*, *earliness* e *makespan* como critério de desempenho, um trabalho (25%) utiliza minimização dos tempos de *setup*, custos de produção e custos de estoque e um trabalho (25%) adota como critérios de desempenho o tempo final de conclusão de um lote, custos de estoques e *tardiness*. O trabalho nacional, conforme mencionado anteriormente, adotou função objetivo tricritério, sendo eles custos de *setup*, produção e estoque.

Destaque deve ser dado à utilização do *makespan* como critério para avaliar uma



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

programação. Do total de 21 trabalhos que tratam do desenvolvimento de métodos de solução para a programação da produção em *Flow Shop* tradicional, 16 trabalhos (76,20%) apresentam o *makespan* em suas funções objetivo.

Em relação às restrições adicionais constatou-se que não há grande predominância de um tipo específico de restrição. Restrições adicionais como manufatura celular, sobreposição de tarefas, ociosidade de máquinas, tempos de defasagem, datas de entrega, fluxo de produção reentrante, máquinas dependentes, máquinas paralelas no primeiro estágio, lotes de transferência, tamanho do lote, programação simultânea, horizonte de planejamento, bloqueio de máquinas, *setup* compartilhado, regras de precedência, capacidade, *setup* mantido entre períodos, tempos assíncronos e decisão de alocação das tarefas foram consideradas como restrições adicionais nos métodos analisados.

## **7 UMA ANÁLISE DO NÚMERO DE TRABALHOS PUBLICADOS EM PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLOW SHOP TRADICIONAL COM TEMPOS DE SETUP SEPARADOS DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO**

*Uma análise do número de trabalhos publicados em Programação da Produção em Sistemas de Produção Flow Shop Tradicional com tempos de setup separados dos tempos de processamento é apresentada no Gráfico 1, que mostra uma redução de 25% no número de pesquisas tratando do desenvolvimento de métodos para Programação da Produção em sistemas de produção Flow Shop Tradicional no período compreendido entre 2008 e 2010.*

# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

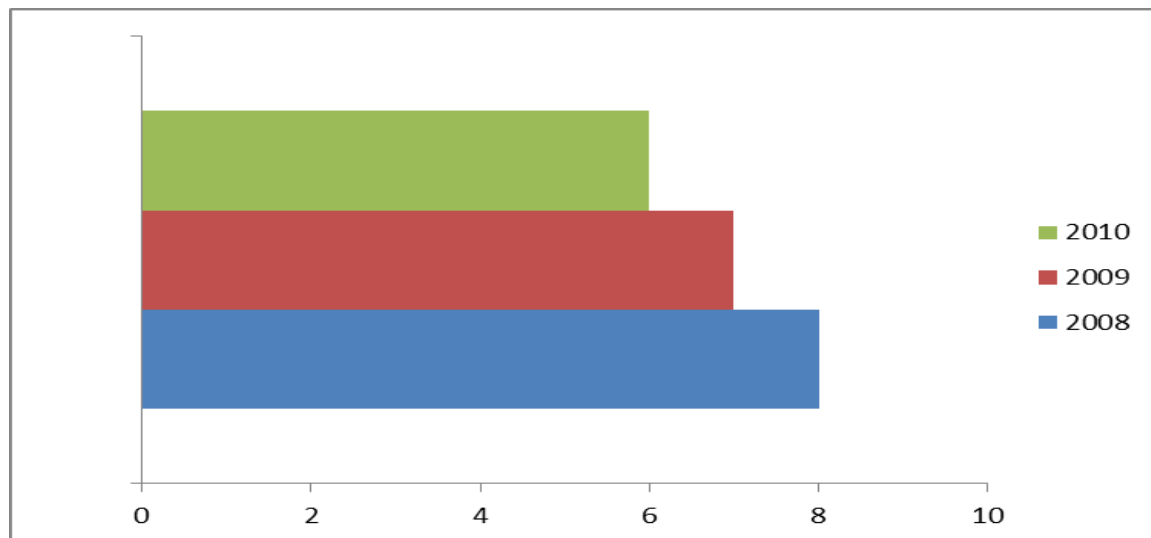


Gráfico 1 – Número de Trabalhos publicados em *Flow Shop* Tradicional com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2011.

O *Flow Shop* Tradicional por sua natureza, em si só já constitui um sistema de produção de difícil solução no que tange a programação das atividades de produção, dado que a cada estágio de produção, as tarefas devem ser novamente sequenciadas. Esta dificuldade intrínseca destes sistemas de produção tem levado os pesquisadores a direcionarem seus esforços ao desenvolvimento de métodos de programação para sistemas de produção *Flow Shop* Permutacional.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da pesquisa mostram que o número de trabalhos que tratam do desenvolvimento de métodos de solução para a Programação da Produção em sistemas de produção *Flow Shop* Tradicional, que consideram os tempos de *setup* para tarefas ou lotes de tarefas separados dos tempos de processamento tem diminuído nos últimos anos e que no Brasil, o número de pesquisas considerando este problema é insignificante.

Os resultados mostraram também que o tipo de *setup* mais considerado neste Problema de Programação da Produção é o dependente, que existe uma tendência em desenvolver metaheurísticas e que o *Makespan* é o critério de desempenho mais adotado.



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

Sugere-se com trabalhos futuros investigações dos motivos que levaram a redução no desenvolvimento de métodos para o Problema de Programação da Produção considerado, da tendência em desenvolver metaheurísticas e dos motivos que fazem com que o *setup* dependente e o critério de *Makespan* serem os mais adotados.

## REFERÊNCIAS

ALLAHVERDI, A. & SOROUSH, H.M. **The significance of reducing setup times/setup costs**. European Journal of Operational Research, 187, p. 978-984, 2008.

ALLAHVERDI, A.; CHENG, T. C. E. & KOVALYOV, M. Y. **A survey of scheduling problems with setup times or costs**. European Journal of Operational Research, 187, p. 985-1032, 2006.

ALLAHVERDI, A.; GUPTA, J.N.D. & ALDOWAISAN, T. **A review of scheduling research involving setup considerations**. Omega - The International Journal of Management Science, 27, p. 219-239, 1999.

ALLAHVERDI, A.; NG, C.T.; CHENG, T.C.E. & KOVALYOV, M.Y. **A survey of scheduling problems with setups times or costs**. European Journal of Operational Research, v.187, n.3, p.985-1032, 2008.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. & YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BARROS, A.D & MOCCELLIN, J.V. Análise da flutuação do gargalo em flow shop permutacional com tempos de setup assimétricos e dependentes da seqüência. **Gestão e Produção**, v. 11, n. 1, p. 101-108, 2004.

BEDWORTH, D.D. & BAILEY, J. E. **Integrated Production Control Systems: management, analysis, design**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987.

BELO FILHO, M.A. **Programação da produção e dimensionamento de lotes para flowshop**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BEN-DATI, L.; MOSHEIOV, B. & ORON, D. **Batch Scheduling on Two-Machine Flowshop with Machine-Dependent Setup Times**. Advances in Operations Research, Estados Unidos, v. 2009, Junho, 10p.

BOIKO, T. J. P. & MORAIS, M. F. A atividade de programação da produção sobre a ótica da Pesquisa Operacional: uma abordagem teórico conceitual. In: VI ENCONTRO TECNOLÓGICO, 2009, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2009.



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

CHENG, T. C. E.; GUPTA, J. N. D. & WANG, G. **A review of flowshop scheduling research with setup times.** Production and Operations Management, 9, n. 3, p. 262-282, 2000.

DHINGRA, A. & CHANDNA, P. **Hybrid Genetic Algorithm for Multicriteria Scheduling with Sequence Dependent Set up Time.** International Journal of Engineering, v. 3, ed. 5., p. 510-520, 2009.

EREN, T. **A bicriteria m-machine flowshop scheduling with sequence-dependent setup times.** Applied Mathematical Modelling, Swansea, v. 34, n. 2, p. 284-293, 2010.

FERNADES, N.O. & CARMO-SILVA, S. **Order release in a workload controlled flow-shop with sequence-dependent set-up times.** International Journal of Production Research, n. 9-10, p. 1366-1588, 2010.

FRENCH, S. **Sequencing and scheduling:** an introduction to the mathematics of the job shop. New York: Wiley, 1982.

GILIO, N.C. **Método heurístico para o problema de no-wait flow shop com setup separado e independente da sequência.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

GONG, H.; TANG, L. & DUIN, C.W. **A two-stage flow shop scheduling problem on a batching machine and a discrete machine with blocking and shared setup times.** Computers & Operations Research, Alemanha, 37, n. 5, p. 960-969, 2010.

GUPTA, J.N.D. & STAFFORD JR., E.F. **Flowshop scheduling research after five decades.** European Journal of Operational Research, 169, p. 699-711, 2006.

HENDIZADEH, S.H. **Meta-heuristics for scheduling a flowline manufacturing cell with sequence dependent family setup times.** International Journal of Production Economics, v. 111, n. 2, p. 593-605, 2008.

HUANG, R-H. & YANG, C-L. **Solving a multi-objective overlapping flow-shop scheduling.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 42, n. 9-10, p. 955-962, 2008.

KODEEKHA, E. **Case Studies for Improving FMS Scheduling by Lot Streaming in Flow-Shop. Systems.** Acta Polytechnica Hungarica, Hungária, v. 5, n. 4, p.125-143, 2008.

LIN, S-W.; GUPTA, J.N.D; YING, K-C & LEE, Z-J. **Using simulated annealing to schedule a flowshop manufacturing cell with sequence-dependent family setup times.** International Journal of Production Research, v. 47, ed. 12, p. 3205–3217, 2009.

LO, M-C.; CHEN, J-S. e CHANG, Y-F. **Two-Machine Flexible Flow-Shop Scheduling with Setup Times.** Journal of Applied Sciences, v. 8, ed. 12, p. 2217-2225, 2008.



# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M.A.; QUELHAS, O.L.G & OLIVEIRA, R.J. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MABOUDIAN, Y. & SHAF AEI, R. **Modeling a bi-criteria two stage assembly flow shop scheduling problem with sequence dependent setup times**. Industrial Engineering and Engineering Management, ed. 8-11, p. 1748-1752, 2009.

MACCARTHY, B.L. & LIU, J.Y. **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, 1993.

MANSOURI, S.A.; HENDIZADEH, S. H. & SALMASI, N. **Bicriteria scheduling of a two-machine flowshop with sequence-dependent setup times**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Londres, v. 40, n. 11-12, p. 1216-1226, 2008.

MARTIN, C.H. **A hybrid genetic algorithm/mathematical programming approach to the multi-family flowshop scheduling problem with lot streaming**. Omega, Filadélfia, v. 37, ed. 1, p. 126-137, 2009.

MOCCELLIN, J.V. **Técnicas de Sequenciamento e Programação de Operações em Máquinas**. 74p, Publicação Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MOHAMMADI, M; TORABI, S.A.; FATEMI-GHOMI, S.M.T. & KARIMI, B. **A new algorithmic approach for capacitated lot-sizing problem in flow shops with sequence dependent setups**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 49, n. 1-4, p. 201-211, 2009.

MSKANI, M.K.; LADHARI, T. e& ALLAHVERDI, A. **Heuristic algorithms for minimizing total completion time in a two-machine flowshop with sequence-independent setup times**. International Conference on Computers & Industrial Engineering, Troyes, p. 90-95, 2009.

RUIZ, R. & STÜTZLE, T. **An Iterated Greedy heuristic for the sequence dependent setup times flowshop problem with makespan and weighted tardiness objectives**. European Journal of Operational Research, v. 187, n. 3, p. 1143-1159, 2008.

SAJADI, S. J.; ARYANEZHAD, M. B. & ZIAEE, M. **The General Flowshop Scheduling: Mathematical Models**. Journal of Applied Sciences, v.8, n. 17, p. 3032-3037, 2008.

SALMASI, N.; LONGENDRAN, R. & SKANDARI, M.R. **Total flow time minimization in a flowshop sequence-dependent group scheduling problem**. Computers & Operations Research, v. 37, p. 199-212, 2010.

SOUZA, A. B. D. & MOCCELLIN, J. V. **Metaheurística híbrida Algoritmo Genético Busca Tabu para a programação de operações flow shop**. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (XXII SBPO), Viçosa, 2000. **Anais...** Viçosa, 2000.





# VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

SUN, U.J. **Sequencing Problem in a Two Machine Flow Shop with Sequence Dependent Setup Times.** The 2010 EABR and ETLC Conference, Dublin, Ireland, 2010.

TAILLARD, E.D. **Parallel iterative search methods for vehicle routing problems.** Networks 23, p. 66 -673, 1993.

YANG, D-L.; KUO, W-H. & CHERN, M-S. **Multi-family scheduling in a two machine reentrant flow shop with setups.** European Journal of Operational Research, v. 187, ed. 3, p. 1160-1170, 2008.

YANG, W. & LIAO, C. **Survey of scheduling research involving setup times.** International Journal of Systems Science, 30, n.2, p. 143-155, 1999.