UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MÁRCIA DE FÁTIMA MORAIS

**Métodos Heurísticos Construtivos para Redução do Estoque em Processo em Ambientes
de Produção *Flow Shop* Híbridos com Tempos de *Setup* Dependentes da Seqüência**

São Carlos
2008

MÁRCIA DE FÁTIMA MORAIS

**Métodos Heurísticos Construtivos para Redução do Estoque em Processo em Ambientes
de Produção *Flow Shop* Híbridos com Tempos de *Setup* Dependentes da Seqüência**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Processos e Gestão de Operações.
Linha de Pesquisa: Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Titular João Vitor Moccellin

São Carlos
2008

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira: **MARCIA DE FÁTIMA MORAIS**

Dissertação defendida e julgada em 28/05/2008 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Titular **JOÃO VITOR MOCCELLIN (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Prof. Dr. **MARCELO SEIDO NAGANO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovada

Prof^a. Dr^a. **MARISTELA OLIVEIRA DOS SANTOS**
(Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação/USP)

Aprovada

Prof. Associado **REGINALDO TEIXEIRA COELHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Dedico

*A todos que me apoiaram e me incentivaram no
decorrer desta empreitada, em especial a minha
família pela educação e pelos princípios morais
que me repassaram.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Titular João Vitor Moccellin, em especial, pela orientação e pela oportunidade de poder usufruir sua competência, apoio, amizade e muita paciência durante o processo de definição e orientação.

Ao estimado professor Dr. Marcelo Seido Nagano, por seu incentivo e atenção e pelas valiosas contribuições na realização deste trabalho.

Ao colega e professor Roberto Cezar Soltoski pela ajuda no aprendizado de programação em linguagem Delphi.

Ao meu esposo Brande por sua incansável compreensão e paciência ao longo do período de realização deste trabalho.

As minhas amigas de república, Francielle e Thays pelo companheirismo, apoio e acima de tudo pela inestimável amizade solidificada no decorrer destes anos.

Aos amigos Cris, Flávia, Mariana Rafael e Renata, eternizados em meu coração, pelos momentos de descontração que tornaram esta jornada mais leve e divertida.

Aos amigos de laboratório Fabio e Hélio, agradeço pelo conhecimento e pela experiência transmitida, que foi imprescindível na realização deste trabalho.

A todos os profissionais do Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo auxílio financeiro, sem o qual não teria sido possível a realização desta pesquisa.

A todos que de uma maneira direta e indireta contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

E acima de tudo, a Deus, presente em todos os momentos de minha vida.

“Não busques a vaidade de ser melhor que os outros. Contenta-se com a tarefa gloriosa de tentares ser melhor que és.”

Henfil

RESUMO

MORAIS, M. F. **Métodos Heurísticos Construtivos para Redução do Estoque em Processo em Ambientes de Produção *Flow Shop* Híbridos com Tempos de *Setup* Dependentes da Seqüência**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

A teoria de programação da produção preocupa-se em fornecer diretrizes e métodos eficientes para a utilização dos recursos nas atividades produtivas. Este trabalho investiga o problema de programação da produção em ambientes *flow shop* com máquinas múltiplas e tempos de preparação das máquinas assimétricos e dependentes da seqüência de execução das tarefas. A atividade de programação da produção constitui uma das várias funções executadas pelo Planejamento e Controle da Produção, que tem como objetivo comandar e gerenciar o processo produtivo, e caracteriza uma das atividades mais complexas no gerenciamento dos sistemas produtivos. A programação da produção preocupa-se com a alocação de recursos sobre o tempo para executar um conjunto de tarefas. No ambiente estudado neste trabalho as operações de cada tarefa são executadas em múltiplos estágios de produção, podendo variar a quantidade de máquinas em cada um deles. Cada operação é processada por apenas uma máquina em cada estágio. Os tempos de preparação das máquinas possuem uma variabilidade relevante em função da ordem de execução das tarefas nas mesmas. A função-objetivo considerada é a minimização do tempo médio de fluxo. Foram desenvolvidos quatro métodos heurísticos construtivos com base em algoritmos reportados na literatura para solução do problema *flow shop* permutacional e máquinas paralelas cujo tempo de *setup* é dependente da seqüência de execução das tarefas. Como não foram encontrados na literatura métodos de solução para o problema investigado neste trabalho, os algoritmos propostos foram comparados entre si. Foi efetuado um estudo da influência da relação entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento das tarefas e do *setup* das máquinas em cada método de solução. Os resultados obtidos na experimentação computacional foram analisados e discutidos com base na porcentagem de sucesso, desvio relativo, desvio-padrão do desvio relativo e tempo médio de computação.

Palavras-chave: Programação da produção, *Flow shop* híbrido, *Setup* dependente, Métodos heurísticos.

ABSTRACT

MORAIS, M. F. *Constructive Heuristics Methods to minimizing work in process in environment production hybrid flow shop with asymmetric sequence dependent setup times*. 2008. *Dissertation* – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Scheduling theory attempts to provide guidelines and efficient methods to the use of the resources in the productive activities. This study investigates the hybrid flow shop problem with asymmetric sequence dependent setup times. The activity of production scheduling constitute is one of the several functions carried by Production Planning and Control, which has as the objective command and management the production system, and characterize is one of the tasks most complex in production management. This activity of the scheduling aims within the allocation of the resources for the execution of jobs in a time base. In the environment studied in this work, the operations of each job are processed in multiple production stages. The number of machines in each stage can be different. Each operation is processed by only one machine in each stage. The setup times have a significant variability in function of the sequence of job processing on the machines. The objective is minimizing the mean flow time. Four constructive heuristic methods were proposed on the basis of algorithms reported in the literature for solving permutation flow shop and parallel machine problems with sequence dependent setup times. The proposed heuristic methods will have compared between themselves, since no constructive heuristics have been found in the literature for the scheduling problem considered in this work. It was carried out the study of the influence of the relations among the range of the times processing and setup times in each method. The statistics used in order to evaluate the heuristic performances were the percentage of success (in finding the best solution), relative deviation, standard deviation of relative deviation and average computation time. Results from computational experience are discussed.

Keywords: Production scheduling, Hybrid flow shop, Sequence dependent setup time, Heuristics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Relação entre as classes de problemas de programação de operações em máquinas (adaptado de MACCARTHY e LIU, 1993).....	43
Figura 4.1 - Ambiente de Produção - <i>Flow Shop</i> Híbrido.....	64
Figura 4.2 – Gráfico de Programação MM-Flowtime ₁	76
Figura 4.3 – Gráfico de Programação MM-Flowtime ₂	78
Figura 4.4 – Programação de tarefas MM-Flowtime ₃	79
Figura 4.5 – Gráfico de Programação MM-Flowtime ₃	81
Figura 4.6 –Programação de tarefas MM-Flowtime ₄	82
Figura 4.7 – Gráfico de Programação MM-Flowtime ₄	84
Figura 5.1 – Relação I	86
Figura 5.2 – Relação II	87
Figura 5.3 – Relação III.....	87
Figura 5.4 – Relação IV.....	87
Figura 5.5 – Relação V	88
Figura 5.6 – Relação VI.....	88
Figura 5.7 – Interface do “Gerador de Arquivos”	90
Figura 5.8 – Formato do arquivo de dados.....	91
Figura 5.9 – Interface do software “ <i>MM-FlowTime</i> ”	94
Figura 5.10 – Arquivo de saída o tempo médio de fluxo	95
Figura 5.11 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₂ - Relação I.....	152
Figura 5.12 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₂ - Relação II.....	152

Figura 5.13 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₂ - Relação III	153
Figura 5.14 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₂ - Relação IV	153
Figura 5.15 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₂ - Relação V	154
Figura 5.16 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₂ - Relação VI.....	154
Figura 5.17 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₂ - agregando as relações	155
Figura 5.18 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₃ E MM-FT ₄ - Relação I.....	156
Figura 5.19 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₃ E MM-FT ₄ - Relação II.....	156
Figura 5.20 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₃ E MM-FT ₄ - Relação III	157
Figura 5.21 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₃ E MM-FT ₄ - Relação IV	157
Figura 5.22 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₃ E MM-FT ₄ - Relação V	158
Figura 5.23 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₃ E MM-FT ₄ - Relação VI.....	158
Figura 5.24 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₃ E MM-FT ₄ - agregando as relações	159

Figura 5.25 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₃ - Relação I.....	160
Figura 5.26 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₃ - Relação II.....	160
Figura 5.27 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₃ - Relação III	161
Figura 5.28 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₃ - Relação IV	161
Figura 5.29 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₃ - Relação V	162
Figura 5.30 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₃ - Relação VI.....	162
Figura 5.31 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₃ - agregando as relações	163
Figura 5.32 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₄ - Relação I.....	164
Figura 5.33 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₄ - Relação II.....	164
Figura 5.34 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₄ - Relação III	165
Figura 5.35 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₄ - Relação IV	165
Figura 5.36 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₄ - Relação V	166

Figura 5.37 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₄ - Relação VI.....	166
Figura 5.38 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₄ - agregando as relações	167
Figura 5.39 – Gráfico de programação 7 ESTÁGIOS - MM-FT ₁	172
Figura 5.40 – Gráfico de programação 7 estágios - MM-FT ₂	175
Figura 5.41 – Programação de tarefas 7 estágios - MM-FT ₃	176
Figura 5.42 – Gráfico de programação 7 estágios - MM-FT ₃	178
Figura 5.43 – Programação de tarefas 7 estágios - MM-FT ₄	179
Figura 5.44 – Gráfico de programação 7 estágios - MM-FT ₄	181
Figura 5.45 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₄ - Relação I.....	182
Figura 5.46 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₄ - Relação II.....	183
Figura 5.47 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₄ - Relação III	183
Figura 5.48 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₄ - Relação IV	184
Figura 5.49 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₄ - Relação V	184
Figura 5.50 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₄ - Relação VI.....	185
Figura 5.51 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₁ E MM-FT ₄ - Agregando as relações	185

Figura 5.52 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₃ - Relação I.....	186
Figura 5.53 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₃ - Relação II.....	187
Figura 5.54 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₃ - Relação III	187
Figura 5.55 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₃ - Relação IV	188
Figura 5.56 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₃ - Relação V	188
Figura 5.57 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₃ - Relação V	189
Figura 5.58 – Comparação da porcentagem de sucesso - métodos MM-FT ₂ E MM-FT ₃ – Agregando as relações.....	189
Figura 5.59 – Comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos - Relação I	190
Figura 5.60 – Comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos - Relação II	191
Figura 5.61 – Comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos - Relação III.....	191
Figura 5.62 – Comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos - Relação IV.....	192
Figura 5.63 – Comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos - Relação V.....	192
Figura 5.64 – Comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos - Relação VI.....	193
Figura 5.65 – Comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos agregando as relações.....	193
Figura 5.66 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM- FT ₂ – Relação I.....	194

Figura 5.67 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação II.....	195
Figura 5.68 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação III	195
Figura 5.69 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação IV	196
Figura 5.70 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação V	196
Figura 5.71 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação VI.....	197
Figura 5.72 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação I.....	198
Figura 5.73 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação II.....	198
Figura 5.74 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação III	199
Figura 5.75 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação IV	199
Figura 5.76 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação V	200
Figura 5.77 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação VI.....	200
Figura 5.78 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação I.....	201

Figura 5.79 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação II.....	202
Figura 5.80 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação III	202
Figura 5.81 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação IV	203
Figura 5.82 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação V	203
Figura 5.83 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação VI.....	204
Figura 5.84 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação I.....	205
Figura 5.85 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação II.....	205
Figura 5.86 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação III	206
Figura 5.87 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação IV	206
Figura 5.88 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação V	207
Figura 5.89 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação VI.....	207
Figura 5.90 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação I.....	208

Figura 5.91 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação II.....	209
Figura 5.92 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação III	209
Figura 5.93 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação IV	210
Figura 5.94 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação V	210
Figura 5.95 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação VI.....	211
Figura 5.96 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação I.....	212
Figura 5.97 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação II.....	212
Figura 5.98 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação III	213
Figura 5.99 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação IV	213
Figura 5.100 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação V	214
Figura 5.101 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação VI.....	214
Figura 5.102 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os quatro métodos– Relação I	215

Figura 5.103 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os quatro métodos– Relação II	216
Figura 5.104 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os quatro métodos– Relação III	216
Figura 5.105 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os quatro métodos– Relação IV	217
Figura 5.106 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os quatro métodos– Relação V	217
Figura 5.107 – Comparação do desvio relativo médio (%) entre os quatro métodos– Relação VI	218
Figura 5.108 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação I	219
Figura 5.109 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação II	219
Figura 5.110 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação III	219
Figura 5.111 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação IV	220
Figura 5.112 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação V	220
Figura 5.113 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₂ – Relação VI	220
Figura 5.114 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação I	221

Figura 5.115 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação II.....	221
Figura 5.116 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação III	222
Figura 5.117 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação IV	222
Figura 5.118 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação V	222
Figura 5.119 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₃ e MM-FT ₄ – Relação VI.....	223
Figura 5.120 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação I.....	223
Figura 5.121 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação II.....	224
Figura 5.122 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação III	224
Figura 5.123 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação IV	224
Figura 5.124 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação V	225
Figura 5.125 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₃ – Relação VI.....	225
Figura 5.126 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação I.....	226

Figura 5.127 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação II.....	226
Figura 5.128 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação III	227
Figura 5.129 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação IV	227
Figura 5.130 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação V	227
Figura 5.131–Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₄ – Relação VI.....	228
Figura 5.132 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação I.....	229
Figura 5.133 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação II.....	229
Figura 5.134 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação III	229
Figura 5.135 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação IV	230
Figura 5.136 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação V	230
Figura 5.137 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₁ e MM-FT ₄ – Relação VI.....	230
Figura 5.138 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação I.....	231

Figura 5.139 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação II.....	232
Figura 5.140 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação III	232
Figura 5.141 –Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação IV	232
Figura 5.142 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação V	233
Figura 5.143 – Comparação do desvio padrão do DR entre os métodos MM-FT ₂ e MM-FT ₃ – Relação VI.....	233
Figura 5.144 – Comparação do desvio padrão do DR entre os quatro métodos– Relação I..	234
Figura 5.145 – Comparação do desvio padrão do DR entre os quatro métodos– Relação II.	234
Figura 5.1456– Comparação do desvio padrão do DR entre os quatro métodos– Relação III	235
Figura 5.147 – Comparação do desvio padrão do DR entre os quatro métodos– Relação IV	235
Figura 5.148 – Comparação do desvio padrão do DR entre os quatro métodos– Relação V.	235
Figura 5.149 – Comparação do desvio padrão do DR entre os quatro métodos– Relação VI	236
Figura 5.150 - Comparação do tempo médio de computação (ms) para 4 e 7 estágios entre os métodos para a Relação I.....	237
Figura 5.151 - Comparação do tempo médio de computação (ms) para 4 e 7 estágios entre os métodos para a Relação II	237
Figura 5.152 - Comparação do tempo médio de computação (ms) para 4 e 7 estágios entre os métodos para a Relação III.....	237
Figura 5.153 - Comparação do tempo médio de computação (ms) para 4 e 7 estágios entre os métodos para a Relação IV.....	238

Figura 5.154 - Comparação do tempo médio de computação (ms) para 4 e 7 estágios entre os métodos para a Relação V	238
Figura 5.155 - Comparação do tempo médio de computação (ms) para 4 e 7 estágios entre os métodos para a Relação VI.....	238
Figura 5.156 - Comparação do tempo médio de computação (ms) para 4 e 7 agregando as relações	239
Figura 5.157 - Comparação do tempo médio de computação entre as relações agregando o número de estágios – Método MM-FT ₁	240
Figura 5.158 - Comparação do tempo médio de computação entre as relações agregando o número de estágios – Método MM-FT ₂	240
Figura 5.159 - Comparação do tempo médio de computação entre as relações agregando o número de estágios – Método MM-FT ₃	241
Figura 5.160 - Comparação do tempo médio de computação entre as relações agregando o número de estágios – Método MM-FT ₄	241

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Tempos de processamento de J_i – 3 Estágios.....	73
Tabela 4.2 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 1 – 3 Estágios	73
Tabela 4.3 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 2 – 3 Estágios	73
Tabela 4.4 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 3 – 3 Estágios.....	74
Tabela 4.5 – Soma dos tempos de processamento de J_i – MM-FT ₁	74
Tabela 4.6 – Soma dos tempos de processamento de J_i – MM-FT ₂	77
Tabela 5.1 – Porcentagem de sucesso da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	96
Tabela 5.2 – Porcentagem de sucesso da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	96
Tabela 5.3 – Porcentagem de sucesso da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	97
Tabela 5.4 – Porcentagem de sucesso da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	97
Tabela 5.5 – Porcentagem de sucesso da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	97
Tabela 5.6 – Porcentagem de sucesso da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	98
Tabela 5.7 – Porcentagem de sucesso agregando as relações – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	98
Tabela 5.8 – Total geral de porcentagens de sucesso - MM-FT ₁ e MM-FT ₂	98
Tabela 5.9 – Porcentagem de sucesso da relação I – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	99
Tabela 5.10 – Porcentagem de sucesso da relação II – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	99
Tabela 5.11 – Porcentagem de sucesso da relação III – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	99
Tabela 5.12 – Porcentagem de sucesso da relação IV – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	100
Tabela 5.13 – Porcentagem de sucesso da relação V – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	100
Tabela 5.14 – Porcentagem de sucesso da relação VI – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	100
Tabela 5.15 – Porcentagem de sucesso agregando as relações – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	101
Tabela 5.16 – Total geral de porcentagens de sucesso - MM-FT ₃ e MM-FT ₄	101
Tabela 5.17 – Porcentagem de sucesso da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	102
Tabela 5.18 – Porcentagem de sucesso da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	102

Tabela 5.19 – Porcentagem de sucesso da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	102
Tabela 5.20 – Porcentagem de sucesso da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	103
Tabela 5.21 – Porcentagem de sucesso da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	103
Tabela 5.22 – Porcentagem de sucesso da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	103
Tabela 5.23 – Porcentagem de sucesso agregando as relações – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	104
Tabela 4.24 – Total geral de porcentagens de sucesso - MM-FT ₁ e MM-FT ₃	104
Tabela 5.25 – Porcentagem de sucesso da relação I – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	104
Tabela 5.26 – Porcentagem de sucesso da relação II – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	105
Tabela 5.27 – Porcentagem de sucesso da relação III – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	105
Tabela 5.28 – Porcentagem de sucesso da relação IV – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	105
Tabela 5.29 – Porcentagem de sucesso da relação V – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	106
Tabela 5.30 – Porcentagem de sucesso da relação VI – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	106
Tabela 5.31 – Porcentagem de sucesso agregando as relações – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	106
Tabela 5.32 – Total geral de porcentagens de sucesso - MM-FT ₂ e MM-FT ₄	107
Tabela 5.33 – Porcentagem de sucesso da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	107
Tabela 5.34 – Porcentagem de sucesso da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₁	108
Tabela 5.35 – Porcentagem de sucesso da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT	108
Tabela 5.36 – Porcentagem de sucesso da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	108
Tabela 5.37 – Porcentagem de sucesso da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	109
Tabela 5.38 – Porcentagem de sucesso da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	109
Tabela 5.39 – Porcentagem de sucesso agregando as relações – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	109
Tabela 5.40 – Total geral de porcentagens de sucesso - MM-FT ₁ e MM-FT ₄	110
Tabela 5.41 – Porcentagem de sucesso da relação I – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	110
Tabela 5.42 – Porcentagem de sucesso da relação II – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	111
Tabela 5.43 – Porcentagem de sucesso da relação III – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	111

Tabela 5.44 – Porcentagem de sucesso da relação IV – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	111
Tabela 5.45 – Porcentagem de sucesso da relação V – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	112
Tabela 5.46 – Porcentagem de sucesso da relação VI – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	112
Tabela 5.47 – Porcentagem de sucesso agregando as relações – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	112
Tabela 5.48 – Total geral de porcentagens de sucesso - MM-FT ₂ e MM-FT ₃	113
Tabela 5.49 – Porcentagem de sucesso da relação I.....	113
Tabela 5.50 – Porcentagem de sucesso da relação II	114
Tabela 5.51 – Porcentagem de sucesso da relação III	114
Tabela 5.52 – Porcentagem de sucesso da relação IV	114
Tabela 5.53 – Porcentagem de sucesso da relação V	115
Tabela 5.54 – Porcentagem de sucesso da relação VI.....	115
Tabela 5.55 – Porcentagem de sucesso agregando as relações	116
Tabela 5.56 – Total geral de porcentagens de sucesso	116
Tabela 5.57 – Desvio relativo médio (%) da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	116
Tabela 5.58 – Desvio relativo médio (%) da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	117
Tabela 5.59 – Desvio relativo médio (%) da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	117
Tabela 5.60 – Desvio relativo médio (%) da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	117
Tabela 5.61 – Desvio relativo médio (%) da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	118
Tabela 5.62 – Desvio relativo médio (%) da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	118
Tabela 5.63 – Desvio relativo médio (%) da relação I – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	119
Tabela 5.64 – Desvio relativo médio (%) da relação II – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	119
Tabela 5.65 – Desvio relativo médio (%) da relação III – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	119
Tabela 5.66 – Desvio relativo médio (%) da relação IV – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	120
Tabela 5.67 – Desvio relativo médio (%) da relação V – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	120
Tabela 5.68 – Desvio relativo médio (%) da relação VI – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	120

Tabela 5.69 – Desvio relativo médio (%) da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	121
Tabela 5.70 – Desvio relativo médio (%) da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	121
Tabela 5.71 – Desvio relativo médio (%) da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	122
Tabela 5.72 – Desvio relativo médio (%) da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	122
Tabela 5.73 – Desvio relativo médio (%) da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	122
Tabela 5.74 – Desvio relativo médio (%) da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	123
Tabela 5.75 – Desvio relativo médio (%) da relação I – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	123
Tabela 5.76 – Desvio relativo médio (%) da relação II – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	124
Tabela 5.77 – Desvio relativo médio (%) da relação III – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	124
Tabela 5.78 – Desvio relativo médio (%) da relação IV – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	124
Tabela 5.79 – Desvio relativo médio (%) da relação V – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	125
Tabela 5.80 – Desvio relativo médio (%) da relação VI – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	125
Tabela 5.81 – Desvio relativo médio (%) da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	126
Tabela 5.82 – Desvio relativo médio (%) da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	126
Tabela 5.83 – Desvio relativo médio (%) da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	126
Tabela 5.84 – Desvio relativo médio (%) da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	127
Tabela 5.85 – Desvio relativo médio (%) da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	127
Tabela 5.86 – Desvio relativo médio (%) da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	127
Tabela 5.87 – Desvio relativo médio (%) da relação I – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	128
Tabela 5.88 – Desvio relativo médio (%) da relação II – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	128
Tabela 5.89 – Desvio relativo médio (%) da relação III – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	129
Tabela 5.90 – Desvio relativo médio (%) da relação IV – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	129
Tabela 5.91 – Desvio relativo médio (%) da relação V – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	129
Tabela 5.92 – Desvio relativo médio (%) da relação VI – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	130
Tabela 5.93 – Desvio relativo médio (%) da relação I	130

Tabela 5.94 – Desvio relativo médio (%) da relação II.....	131
Tabela 5.95 – Desvio relativo médio (%) da relação III	131
Tabela 5.96 – Desvio relativo médio (%) da relação IV	131
Tabela 5.97 – Desvio relativo médio (%) da relação V.....	132
Tabela 5.98 – Desvio relativo médio (%) da relação VI	132
Tabela 5.99 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	133
Tabela 5.100 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	133
Tabela 5.101 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	133
Tabela 5.102 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	134
Tabela 5.103 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	134
Tabela 5.104 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₂	134
Tabela 5.105 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação I – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	135
Tabela 5.106 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação II – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	135
Tabela 5.107 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação III – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	136
Tabela 5.108 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação IV – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	136
Tabela 5.109 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação V – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	136
Tabela 5.110 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação VI – MM-FT ₃ e MM-FT ₄	137
Tabela 5.111 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	137
Tabela 5.112 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	138
Tabela 5.113 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	138
Tabela 5.114 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	138
Tabela 5.115 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	139
Tabela 5.116 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₃	139
Tabela 5.117 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação I – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	140
Tabela 5.118 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação II – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	140

Tabela 5.119 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação III – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	140
Tabela 5.120 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação IV – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	141
Tabela 5.121 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação V – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	141
Tabela 5.122 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação VI – MM-FT ₂ e MM-FT ₄	141
Tabela 5.123 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação I – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	142
Tabela 5.124 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação II – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	142
Tabela 5.125 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação III – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	143
Tabela 5.126 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação IV – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	143
Tabela 5.127 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação V – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	143
Tabela 5.128 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação VI – MM-FT ₁ e MM-FT ₄	144
Tabela 5.129 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação I – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	144
Tabela 5.130 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação II – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	145
Tabela 5.131 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação III – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	145
Tabela 5.132 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação IV – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	145
Tabela 5.133 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação V – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	146
Tabela 5.134 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação VI – MM-FT ₂ e MM-FT ₃	146
Tabela 5.135 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação I	147
Tabela 5.136 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação II	147
Tabela 5.137 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação III	147
Tabela 5.138 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação IV	148
Tabela 5.139 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação V	148
Tabela 5.140 – Desvio-padrão do desvio relativo da relação VI	148
Tabela 5.141 – Tempo médio de computação (ms) dos problemas da relação I	149
Tabela 5.142 – Tempo médio de computação (ms) dos problemas da relação II	149
Tabela 5.143 – Tempo médio de computação (ms) dos problemas da relação III	150

Tabela 5.144 – Tempo médio de computação (ms) dos problemas da relação IV	150
Tabela 5.145 – Tempo médio de computação (ms) dos problemas da relação V	150
Tabela 5.146 – Tempo médio de computação (ms) dos problemas da relação VI.....	151
Tabela 5.147 - Tempos de processamento de J_i – 7 Estágios	168
Tabela 5.148 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 1– 7 Estágios	168
Tabela 5.149 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 2– 7 Estágios	168
Tabela 5.150 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 3– 7 Estágios.....	168
Tabela 5.151 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 4– 7 Estágios.....	168
Tabela 5.152 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 5– 7 Estágios.....	169
Tabela 5.153 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 6– 7 Estágios.....	169
Tabela 5.154 – Tempos de <i>setup</i> do estágio 7– 7 Estágios.....	169
Tabela 5.155 - Soma dos tempos de processamento de J_i – 7 Estágios.....	169

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDS Algoritmo de Campbell, Dudek e Smith (1970)

DR Desvio Relativo

DRM Desvio Relativo Médio

EDD *Earliest Due Date*

FS *Flow Shop*

FSH *Flow Shop* Híbrido

FSP *Flow Shop* Permutacional

FIFO *First In First Out*

GA *Genetic Algorithm*

LIFO *Last In First Out*

LIT *Less Idle Time*

LPST *Longest Processing-Setup Time*

LPT *Longest Processing Time*

LWR *Least Work Remaining*

NEH Algoritmo de Nawaz, Enscoe Jr. e Ham (1983)

MWR *Most Work Remaining*

P Máquinas Paralelas

PCP Planejamento e Controle da Produção

SA *Simulated Annealing*

SCT *Shortest Completion Time*

SPD *Smallest Process Distance*

SPT *Shortest Processing Time*

SRD *Shortest Release Date*

TLPT *Total Longest Processing Time*

TSP *Traveling Salesman Problem*

TSPT *Total Shortest Processing Time*

WSPT *Weighted Shortest Processing Time*

LISTA DE SÍMBOLOS

C_i data de término da tarefa J_i

$C_{\max}$ data de término máxima das tarefas

C_{ik} data de término da tarefa J_i no estágio k

C_{Eik} data mais cedo de término da tarefa J_i no estágio k

d_i data de entrega (*due date*) da tarefa J_i

E_i *earliness* da tarefa J_i

$E_{\max}$ *earliness* máximo de um conjunto de tarefas

F_i tempo de fluxo ou tempo de permanência da tarefa J_i

$F_{\max}$ tempo máximo de fluxo das tarefas

$\bar{F}$ tempo médio de fluxo de um conjunto de tarefas

J conjunto de n tarefas $\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$

J_i tarefa de índice i

$J_{[i]}$ tarefa que ocupa a i -ésima posição em uma sequência de tarefas

J' conjunto das tarefas ainda não programadas

k estágio de produção

K número total de estágios de produção

L_i *lateness* da tarefa J_i

$L_{\max}$ *lateness* máximo de um conjunto de tarefas

m_v máquina de índice v

M número total de máquinas do problema

M_k número de máquinas no estágio k

n número de tarefas

op_{ij} operação j da tarefa J_i

$O_{(x)}$ ordem de grandeza da variável x

p_{ik} tempo de processamento da operação da tarefa J_i no estágio k

$p_{\max}$ tempo máximo de processamento da tarefa

$\bar{p}_m$ tempo médio de processamento das tarefas na máquina m

r_i data de liberação (*release date*) da tarefa J_i

r_{ik} data de liberação da tarefa J_i no estágio k

s_{ij} tempo de preparação (*setup*) da máquina para execução da tarefa J_j após a execução da tarefa J_i

s_{ijk} tempo de preparação (*setup*) da máquina para execução da tarefa J_j após a execução da tarefa J_i no estágio k

S_x desvio-padrão da variável x

T_i *tardiness* da tarefa J_i

$T_{\max}$ *tardiness* máximo de um conjunto de tarefas

u_m índice da última tarefa alocada na máquina m

w peso de uma variável

w_i peso da tarefa J_i

m_k conjunto dos índices das máquinas do estágio k

σ sequência de tarefas

σ_m subconjunto de tarefas alocadas à máquina m

$|\sigma_m|$ cardinalidade do subconjunto de tarefas σ_m

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	34
2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	38
2.1 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	40
2.2 PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES EM MÁQUINAS	42
2.2.1 Conceitos de tempos de preparação (Tempos de <i>Setup</i>)	44
2.2.2 Conceitos de tempos de preparação dependentes da sequência e assimétricos.....	45
2.3 MÉTODOS DE SOLUÇÃO	46
3 PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES EM AMBIENTES <i>FLOW SHOP</i> E MÁQUINAS PARALELAS.....	48
3.1 <i>FLOW SHOP</i> PERMUTACIONAL.....	48
3.2 MÁQUINAS PARALELAS.....	54
3.3 <i>FLOW SHOP</i> COM MÁQUINAS MÚLTIPLAS (<i>FLOW SHOP</i> HÍBRIDO)	56
3.4 <i>FLOW SHOP</i> PERMUTACIONAL COM TEMPOS DE PREPARAÇÃO DEPENDENTES DA SEQUÊNCIA	60
3.5 MÁQUINAS PARALELAS COM TEMPOS DE PREPARAÇÃO DEPENDENTES DA SEQUÊNCIA.....	61
3.6 <i>FLOW SHOP</i> COM MÁQUINAS MÚLTIPLAS E TEMPOS DE PREPARAÇÃO DEPENDENTES DA SEQUÊNCIA	62
4 MÉTODOS HEURÍSTICOS PROPOSTOS.....	63
4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	63
4.2 PROPOSIÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS CONSTRUTIVOS.....	65
4.2.1 Regras de Prioridade.....	66
4.2.1.1 Regra de Prioridade TSPT (<i>Total Shortest Processing Time</i>).....	66

4.2.1.1 Regra de Prioridade TLPT (<i>Total Longest Processing Time</i>)	66
4.2.1.2 Regra de Prioridade SRD (<i>Shortest Release Date</i>)	67
4.2.2 Regra de Alocação SCT (<i>Shortest Completion Time</i>).....	67
4.2.3 Algoritmos propostos para Programação Estágio a Estágio	68
4.2.4 Algoritmos propostos para Programação Tarefa a Tarefa	71
4.2.5 Exemplo Numérico	73
5 EXPERIMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....	85
5.1 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO.....	86
5.1.1 Relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de <i>setup</i>	86
5.1.2 Definição da amostragem.....	89
5.1.3 Obtenção dos Dados	90
5.1.4 Processo de Análise.....	92
5.1.5 Resultados Obtidos	94
5.1.6 Análise dos Resultados	151
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	242
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	245
GLOSSÁRIO	251
APENDICE	253
Apêndice A – Classes de Problemas Testados.....	254
Apêndice B – Código Fonte: Gerador de Arquivos.....	256
Apêndice C – Planilhas Modelos para Análise dos Dados	260
Apêndice D – Código Fonte do Software MM-FlowTime.....	263

1 INTRODUÇÃO

A concorrência acirrada tem levado as empresas a utilizar técnicas cada vez mais sofisticadas para gerir as atividades de produção, cujo objetivo consiste no atendimento das necessidades de seus consumidores, que primam por produtos e serviços com qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo adequado.

As estratégias de produção objetivam dar suporte a empresa na obtenção de vantagem competitiva, que pode ser obtida através do gerenciamento adequando dos recursos produtivos, beneficiando a empresa com um conjunto de características de desempenho adequado as suas necessidades estratégicas.

Diante do exposto, nota-se que a produção desempenha um importante papel no auxílio ao cumprimento dos objetivos estratégicos da empresa. Conforme salienta (MARTINS, 2005), as atividades desenvolvidas por uma empresa visando atender seus objetivos de curto, médio e longo prazo se inter-relacionam, muitas vezes, de forma extremamente complexa.

A gestão da produção, na maioria das situações, é conduzida de forma sistemática. A responsabilidade pelo planejamento, execução e controle das atividades realizadas no sistema de produção, ou seja, pela operacionalização do sistema, é do Planejamento e Controle da Produção (PCP).

O PCP é definido como a função administrativa que tem por objetivo desenvolver os planos que irão orientar a produção, bem como realizar o controle da produção, com base nestes planos. De forma simplificada, pode-se dizer que, o PCP seria então a atividade de determinar “o que” vai ser produzido, “em qual quantidade” vai ser produzido, “como” e “onde” vai ser produzido, “quem” vai produzir e “quando” vai ser produzido como destaca

(ZACCARELLI, 1979). A partir desta definição pode-se perceber que o PCP, possui três funções básicas: i) estoques; ii) planejamento do processo de produção; iii) programação e controle da produção.

A atividade de programação da produção constitui uma das várias funções executadas pelo Planejamento e Controle da Produção, que tem como objetivo comandar e gerenciar o processo produtivo, e caracteriza uma das atividades mais complexas no gerenciamento dos sistemas produtivos, uma vez que lida com diversos tipos diferentes de recursos e tarefas simultaneamente.

A programação da produção é um sistema de transformação de informações, que assume aspectos multiformes em função da variedade de tipos de indústrias. As programações fazem parte da rotina diária de qualquer empresa, envolvem uma enorme quantidade de detalhes e afetam diretamente todo o processo na empresa. As decisões envolvidas no nível de programação são: designação de tarefas a máquinas e programação das tarefas em cada máquina, isto é, a seqüência de processamento das tarefas e o instante de início e término do processamento de cada tarefa. Em outras palavras, a programação preocupa-se com a alocação de recursos sobre o tempo para executar um conjunto de tarefas e caracteriza um dos mais intensos desafios em indústrias intermitentes, foco desta pesquisa.

Segundo (JOHNSON e MONTGOMERY, 1974), entre os sistemas de produção, os intermitentes são aqueles que comportam o processamento do mesmo produto ou de uma grande variedade de produtos, em lotes de diferentes tamanhos. Estes sistemas são considerados mais flexíveis, pois apresentam diferentes tarefas a serem executadas em uma ou mais máquinas e, naturalmente, exigem do administrador maior perspicácia no planejamento e controle da produção.

A programação das operações ao longo do tempo e sua atribuição aos recursos adequados apresenta estreitas ligações com o desempenho da empresa no âmbito de

dimensões estratégicas como rapidez, confiabilidade, flexibilidade, qualidade e custos. As consequências da programação da produção para as dimensões estratégicas anteriormente mencionadas são extremamente relevantes e, portanto influenciam profundamente o desempenho global das empresas manufatureiras.

A teoria de programação da produção preocupa-se em fornecer diretrizes e métodos eficientes para a utilização dos recursos em suas atividades. Os problemas de programação da produção são alvo de incontáveis trabalhos de pesquisa operacional há cerca de quatro décadas. A partir do trabalho pioneiro de Johnson, em 1954, que aborda *flow shop* com duas máquinas, muitas pesquisas têm sido conduzidas na busca de métodos exatos e heurísticos para o problema *flow shop*. Todavia, alguns ambientes ainda foram pouco explorados, como é o caso do ambiente *flow shop* híbrido.

Assim, este trabalho investiga o problema de programação da produção em ambientes *flow shop* com máquinas múltiplas e tempos de preparação (*setup*) das máquinas assimétricos e dependentes da sequência, e propõe métodos heurísticos construtivos para a minimização do tempo médio de fluxo (*Mean Flow Time*). Segundo (BAKER, 1974), o critério de desempenho adotado objetiva a uma resposta rápida à demanda e à redução do estoque em processamento.

O texto está estruturado da seguinte forma: o primeiro capítulo apresenta uma breve introdução acerca do trabalho a ser realizado, o segundo capítulo apresenta o Planejamento e Controle da Produção (PCP), enfatizando o problema de programação de operações em máquinas. O terceiro capítulo traz uma revisão bibliográfica de vários ambientes *flow shop* e máquinas paralelas, direcionada a trabalhos que buscam a minimização do tempo de fluxo (tempo médio de fluxo, tempo total de fluxo, soma dos tempos de fluxo ponderados). A contextualização do problema tratado e a proposição dos métodos heurísticos construtivos para solução, incluindo as regras de prioridade e de alocação, constam no quarto capítulo. O

quinto capítulo apresenta o delineamento da experimentação computacional e a análise dos resultados obtidos. As conclusões do trabalho são discorridas no sexto capítulo.

2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

A gestão da manufatura preocupa-se com o fluxo de materiais e o conjunto de processos que transformam os produtos. (VOLLMAN ,1988) salienta que o fluxo de materiais ocorre em qualquer sistema de produção ou processo logístico que produz materiais brutos, peças componentes, fabrica produtos para venda e move-os até os consumidores.

O sistema de produção é a parte da empresa que acrescenta valor aos produtos e serviços. Um sistema de produção pode ser definido como “o conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens ou serviços”. (MOREIRA, 2000, p.08). De acordo com Riggs (1970, apud RUSSOMANO, 2000) um sistema de produção é um processo planejado pelo qual, elementos são transformados em produtos úteis, ou seja, um procedimento organizado para se conseguir a conversão de insumos em produtos acabados.

Diversas são as formas de classificar os sistemas de produção. Segundo Erdmann (2000, apud FUCHIGAMI, 2005) os sistemas de produção podem ser classificados como determinísticos ou probabilísticos. Sistemas determinísticos são os sistemas exatamente previsíveis em suas operações, enquanto os probabilísticos são aqueles com previsões das atividades em termos de probabilidade.

A classificação mais comumente utilizada é a classificação em função do fluxo de produção. Segundo (HAX e CANDEA, 1984); (JOHNSON e MONTGOMERY,1974) e VOLLMANN ,1988) podem ser classificados conforme o fluxo de produção em três classes:

- **Sistema de produção unitária ou por projetos** - Nos sistemas de produção unitária ou por projetos, cada projeto de produto é único, não havendo um fluxo de produto. Nesse

caso, tem-se uma seqüência de tarefas ao longo do tempo, geralmente de longa duração, com pouca ou nenhuma repetitividade.

- **Sistema de produção em massa ou contínua** - empregado quando são produzidos grandes volumes de produtos padronizados. Apresentam uma seqüência linear de produção e os produtos fluem de um posto de trabalho a outro numa seqüência prevista.

- **Sistema de produção intermitente** - caracterizado pela produção em lotes de produtos ou serviços. Cada lote segue uma série de operações que necessitam ser programadas à medida que as operações anteriores forem concluídas.

De acordo com (JOHNSON e MONTGOMERY, 1974) e (VOLLMANN,1988) os sistemas intermitentes podem ser subdivididos em dois tipos:

- **Flow Shop** – os itens fabricados em uma linha de produção ou célula de manufatura têm a mesma seqüência de operações nas diversas máquinas;

- **Job Shop** - a seqüência de execução das operações se modifica de um produto para o outro.

Conforme salienta (VOLLMANN,1988) ambos têm fluxos de materiais que requerem programação. Deste modo, mesmo que possa haver diferentes ênfases, critérios e complexidades do problema, a questão gerencial fundamental está na programação,

Para (SLACK et al.,1999) qualquer operação produtiva requer o gerenciamento de suas atividades de modo a satisfazer a demanda dos consumidores, ou seja, precisa realizar o Planejamento e Controle da Produção, cujo propósito é garantir que a produção ocorra eficazmente. Isto requer que os recursos produtivos estejam disponíveis na quantidade, no momento e no nível de qualidade adequados. (CONTADOR,1998) afirma que um sistema eficaz de Planejamento e Controle da Produção (PCP) otimiza o uso dos recursos produtivos, proporciona fluidez à produção, reduz dificuldades e auxilia a manter a eficiência produtiva em níveis elevados.

Planejamento e Controle da Produção (PCP) é:

“a função da administração que planeja, dirige e controla o suprimento de material e as atividades de processamento de uma indústria, de modo que os produtos especificados sejam produzidos por métodos pré-estabelecidos para conseguir um programa de vendas aprovado; essas atividades são desempenhadas de tal maneira que recursos humanos, instalações industriais e capital disponível são usados com a máxima vantagem”. (RUSSOMANO, 2000, p. 49)

A programação da produção, que será discutida a seguir, constitui uma das várias funções executadas pelo Planejamento e Controle da Produção (PCP).

2.1 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Muito embora empresas distintas enfrentem desafios parecidos em suas operações diárias, cada uma tem características próprias que precisam ser consideradas nas tomadas de decisões. Além disso, a existência de uma grande variedade de empresas, que atuam em setores totalmente diversos, constitui por si só um obstáculo às decisões operacionais de programação da produção. Essa variedade de empresas somada às características específicas de cada uma impede a utilização de uma forma padrão de programação que apresente benefícios generalizados para todas as empresas.

De acordo com (ZACCARELLI, 1987), a programação é a fase intermediária entre o planejamento e o controle das atividades de produção, pois transforma os planos mestre de produção em uma agenda de operações que será a base para a emissão de ordens de fabricação. Ou seja, “programar a produção ou estabelecer uma agenda de produção é tarefa

que requer a consideração de uma multiplicidade de fatores que influem na decisão sobre quando produzir”. (ZACCARELLI, 1987, p.104).

Como a programação da produção está sujeita a uma série de eventos aleatórios, os problemas de tomada de decisões desta atividade produtiva tornam-se muito amplos e complexos. Conforme (CORRÊA e CORRÊA, 2004), as decisões de curto prazo podem ser muito complexas, em função do volume de diferentes variáveis que podem estar envolvidas e a sua capacidade de influenciar os diferentes e, às vezes, conflitantes objetivos de desempenho do sistema de produção.

Assim, “as decisões decorrentes da programação da produção tornam-se um problema combinatório de tal ordem que soluções intuitivas são inadequadas pelas limitações humanas de administrar informações”. (CORRÊA, 2004, p. 579).

Uma das aplicações da programação da produção consiste na resolução dos problemas de programação de operações em máquinas, que se referem principalmente às decisões de curto prazo no ambiente produtivo. De acordo com (PINEDO, 1995) a programação preocupa-se com a alocação de recursos sobre o tempo para executar um conjunto de tarefas. Para (BAKER, 1974), o problema de programação da produção em geral, requer decisões de seqüenciamento e alocação de recursos.

Segundo (MOCCELLIN, 2005), 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.

Em outras palavras, a programação da produção pode ser definida como a determinação de quando e onde cada operação necessária para a fabricação de um produto deve ser realizada. As tarefas são conhecidas, determinadas e devem ser executadas. Cada tarefa corresponde a um dado conjunto de operações que tem uma seqüência a ser seguida para a execução completa.

Segundo (SLACK et al.,1999) a atividade de programação é uma das mais complexas tarefas no gerenciamento de produção. Primeiro, os programadores precisam lidar com diversos tipos diferentes de recursos simultaneamente. As máquinas terão diferentes capacidades e o pessoal terá diferentes habilidades. De maneira mais importante, o número de programações possíveis cresce rapidamente à medida que o número de atividades e processos aumenta. Ou seja, para n tarefas já liberadas para a programação há $n!$ (n fatorial) maneiras diferentes de programação dos trabalhos em uma única máquina. Considerando mais que uma máquina ($M > 1$), o número de programações possíveis passa para $(n!)^M$. Assim, a primeira característica que torna os problemas de programação difíceis de resolver é a sua natureza combinatorial, o que significa que o número de soluções possíveis cresce exponencialmente em várias dimensões, de acordo com a quantidade de tarefas, operações ou máquinas.

2.2 PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES EM MÁQUINAS

Em problemas de programação de operações em máquinas, as restrições tecnológicas das tarefas e os objetivos da programação devem ser especificados. As restrições tecnológicas são determinadas principalmente pelo padrão do fluxo das tarefas nas máquinas, levando a uma classificação conforme segue.

- **Job Shop**: cada tarefa tem sua própria ordem de processamento nas máquinas;
- **Flow Shop**: todas as tarefas têm o mesmo fluxo de processamento nas máquinas;
- **Open Shop**: não há fluxo definido (específico) para as tarefas serem processadas nas máquinas;
- **Flow Shop Permutacional**: trata-se de *flow shop* no qual a ordem de processamento

das tarefas deve ser a mesma em todas as máquinas;

- **Máquina Única:** existe apenas uma máquina a ser utilizada;
- **Máquinas Paralelas:** são disponíveis mais de uma máquina, geralmente idênticas, para as mesmas operações;
- **Job Shop com Múltiplas Máquinas:** *job shop* no qual em cada estágio de produção existe um conjunto de máquinas paralelas;
- **Flow Shop com Múltiplas Máquinas:** *flow shop* no qual em cada estágio de produção existe um conjunto de máquinas paralelas.

Esses diversos tipos de problemas são ilustrados na figura 1.1.

K - número de estágios de produção

M_k - número de máquinas do estágio k (com $k = 1, 2, \dots, k$)

FIGURA 2.1 – RELAÇÃO ENTRE AS CLASSES DE PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES EM MÁQUINAS (ADAPTADO DE MACCARTHY E LIU, 1993)

Dos problemas acima, teoricamente, o caso mais simples é o problema de ordenação de n tarefas em uma única máquina. Como já mencionado, o número de soluções possíveis neste caso é $n!$ (n fatorial).

Existem problemas (geralmente de pequeno porte) que são relativamente simples de resolver através de programação linear inteira para se obter a solução ótima. Entretanto, a grande maioria dos problemas de programação da produção é intrinsecamente muito difícil de ser resolvida. De acordo com (YANG e LIAO, 1999) tais problemas podem ser classificados em duas classes distintas: P e NP. P denota a classe de problemas que são eficientemente resolvidos e para os quais procedimentos algorítmicos com tempos polinomiais têm sido encontrados, enquanto os problemas da classe NP são problemas para os quais procedimentos algorítmicos com tempos não-polinomiais (geralmente exponenciais) têm sido encontrados.

2.2.1 Conceitos de tempos de preparação (Tempos de *Setup*)

Tempo de *setup* é o tempo requerido para preparar uma máquina ou um processo para processar uma tarefa. Isto inclui obter ferramentas, posicionar o trabalho no processo de materiais, limpeza, recolocação de ferramental, posicionamento de acessórios, ajuste de ferramentas e inspeção de materiais, de acordo com (CAO e BEDWORTH, 1992).

Segundo (ALLAHVERDI et al., 1999) grande parte das pesquisas em programação de operações em máquinas considera os tempos de *setup* como não relevantes ou de pequena variação e, geralmente, os incluem nos tempos de processamento das tarefas. Esse procedimento simplifica muito a análise em determinadas aplicações, principalmente quando os tempos de *setup* são consideravelmente menores que os tempos de processamento, ou em casos em que o *setup* destina-se à produção de lotes e é executado somente uma vez para um grande lote de produção.

No entanto, para os casos em que os tempos de *setup* apresentam razão significativa diante dos tempos de processamento, há necessidade de tratá-los diferenciadamente, uma vez que eles têm relação direta com a disponibilidade de equipamentos e acarretam custos específicos, como a necessidade de pessoal especializado para sua execução. De acordo com (BARROS e MOCCELLIN, 2004), o tratamento em separado dos tempos de *setup* pode levar, com a otimização do critério de desempenho adotado, a melhorias no atendimento à demanda e à facilidade no gerenciamento do sistema de produção.

2.2.2 Conceitos de tempos de preparação dependentes da seqüência e assimétricos

Para o *setup* separado dos tempos de processamento das tarefas, existem dois tipos de problemas. No primeiro, o tempo de *setup* depende somente da tarefa a ser processada. Nesse caso ele é denominado independente da seqüência de execução das tarefas. No segundo, o tempo de *setup* depende de ambos, da tarefa a ser processada e da tarefa anterior, sendo denominado dependente da seqüência de execução das tarefas.

Para (BAKER, 1974) *setups* dependentes da seqüência são comumente encontrados onde uma só instalação produz muitos tipos diferentes de itens, ou onde máquinas de múltiplos propósitos realizam uma variedade de tarefas.

De acordo com Flynn (1987 apud BARROS e MOCCELLIN, 2004) o tempo necessário para o *setup* tem relação direta com o grau de similaridade entre duas tarefas processadas sucessivamente em uma mesma máquina. Portanto, se duas tarefas a serem processadas em seqüência são similares, o tempo requerido para o *setup* é relativamente

pequeno. Entretanto, se forem completamente diferentes, o tempo será proporcionalmente maior.

A assimetria ocorre quando o tempo de *setup* da tarefa *j* para a tarefa *i* é diferente do tempo de *setup* da máquina na seqüência inversa, ou seja, da tarefa *i* para a tarefa *j*.

2.3 MÉTODOS DE SOLUÇÃO

Nas últimas décadas, um conjunto de métodos tem sido desenvolvido para resolver problemas de programação da produção. Técnicas de programação matemática, tais como técnicas de enumeração do tipo *Branch-and-Bound* e Programação Linear Inteira, têm sido empregadas para a solução ótima do problema. Contudo, tais técnicas não são eficientes em termos computacionais, para problemas de médio e grande porte. Deste modo, muitos métodos heurísticos têm sido propostos para a solução de tais problemas.

Um método heurístico é um processo de solução de problemas apoiado em critérios racionais para escolher um bom caminho entre vários possíveis, sem a preocupação de percorrer todas as possibilidades ou atingir a solução ótima.

Os métodos heurísticos são procedimentos mais flexíveis e simples que os métodos exatos de solução, permitindo abordar problemas mais complexos. Os métodos exatos geralmente exigem simplificações nos modelos, tornando-os menos representativos do problema real.

Como já mencionado, os métodos heurísticos não garantem uma solução ótima, sendo qualificados pelo tempo computacional envolvido no seu processamento e na proximidade da solução ótima do problema, já que estes métodos possuem uma relação estrita às

características do problema e dos dados fornecidos. Em muitos casos, a pequena diferença entre a solução heurística e a ótima não justifica o grande esforço computacional requerido para obter esta última.

De acordo com (SOUZA e MOCCELLIN, 2000) os métodos heurísticos podem ser classificados de diversas formas, e uma delas classifica-os em construtivos ou melhorativos.

- **Métodos Construtivos:** a programação adotada como solução do problema é obtida:

- i) diretamente a partir da ordenação das tarefas segundo índices de prioridade calculados em função dos tempos de processamento das tarefas;
- ii) escolhendo-se a melhor programação das tarefas a partir de um conjunto de programações também obtidas utilizando-se índices de prioridade associados às tarefas; ou
- iii) a partir da geração sucessiva de programações parciais das tarefas até a obtenção de uma programação completa através de algum critério de inserção de tarefas.

- **Métodos Melhorativos:** obtém-se uma solução inicial e, posteriormente, através de algum procedimento iterativo (geralmente envolvendo trocas de posições das tarefas na programação inicial) busca-se conseguir uma solução melhor que a atual quanto à medida de desempenho adotada.

Na categoria dos métodos melhorativos destacam-se os procedimentos de busca em vizinhança, tais como Busca Tabu e *Simulated Annealing*, que têm sido alvo de grande interesse na comunidade científica em função de aplicações bem sucedidas reportadas na literatura. Outra técnica que pode ser considerada do tipo melhorativo, denominada Algoritmo Genético, desperta interesse pela sua capacidade de solução de problemas de natureza combinatorial.

Os métodos heurísticos Busca Tabu, *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético, conhecidos pelo termo metaheurísticas, consistem de procedimentos de busca no espaço de soluções, definidos por estratégias que exploram apropriadamente a topologia de tal espaço.

3 PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES EM AMBIENTES *FLOW SHOP* E MÁQUINAS PARALELAS

3.1 *FLOWSHOP* PERMUTACIONAL

A partir do trabalho pioneiro de Johnson, publicado em 1954, que aborda *flow shop* permutacional com duas máquinas, muitas pesquisas têm sido conduzidas na busca de métodos exatos e heurísticos para o problema. De acordo com (CAO e BEDWORTH, 1992) o algoritmo de Johnson é considerado como um padrão fundamental em quase toda teoria de *scheduling*.

Em um *flow shop* com m máquinas, as tarefas que chegam têm que ser processadas nas m máquinas na mesma ordem tecnológica. Cada tarefa tem m operações e cada operação i de cada tarefa é realizada na máquina j . Os tempos de operação para cada tarefa em diferentes máquinas podem ser diferentes. O problema de *flow shop* foi primeiro estudado por Johnson para duas máquinas com o objetivo de minimizar o *makespan*. Para o *flow shop* clássico de duas máquinas, programações permutacionais são dominantes com respeito a qualquer medida regular, ou seja, para encontrar a melhor solução é necessário considerar a mesma sequência de tarefas em todas as máquinas.

As pesquisas desenvolvidas buscam geralmente otimizar medidas de desempenho regulares, tais como *makespan* (duração total da programação) e tempo médio de fluxo (equivalente, nos modelos clássicos, ao tempo total de fluxo ou soma das datas de término das tarefas).

Neste trabalho, conforme já mencionado, adota-se como função-objetivo a minimização do tempo médio de fluxo. Desta forma, a revisão da literatura é orientada para os

trabalhos que utilizam tal medida de desempenho e que foram publicados a partir da década de 1990. Esta mesma orientação é efetuada nas demais seções deste capítulo.

(RAJENDRAN e CHAUDHURI, 1991) desenvolveram três algoritmos para programação em ambientes *flow shop* com o objetivo de minimizar o tempo total de fluxo. As heurísticas desenvolvidas minimizam o tempo total de fluxo por meio da minimização dos tempos ociosos das máquinas nos estágios e do tempo de espera das tarefas, com base em três critérios. O primeiro critério considera a soma dos tempos ociosos dos estágios. O segundo considera a soma dos tempos ociosos dos estágios e os tempos de espera das tarefas antes dos estágios. O terceiro considera o tempo de fluxo da programação parcial resultante nos vários estágios em adição aos fatores considerados no segundo critério. As três heurísticas obtiveram melhor desempenho que os métodos heurísticos propostos por Gupta (1972) e Miyazaki et al (1978), em termos de qualidade de solução e também quanto ao esforço computacional.

(RAJENDRAN, 1993) apresenta um algoritmo heurístico para programação em *flow shop* com o objetivo de minimizar o tempo de fluxo total das tarefas. O método heurístico é baseado na técnica de inserção de tarefas, que é similar à técnica utilizada nas heurísticas para o problema do caixeiro viajante. O algoritmo proposto usa uma relação de preferência como base para inserção das tarefas para obter uma programação completa que produz uma solução bastante acurada. A relação de preferência é desenvolvida por meio da consideração da soma dos limitantes inferiores nos tempos de fluxo de uma tarefa para várias máquinas. A heurística é similar ao NEH (NAWAZ, ENSCORE JR. e HAM, 1983), mas é baseada na ordenação de tarefas em ordem não-decrescente da soma dos tempos de processamento nas m máquinas e na inserção de tarefas em um subconjunto restrito de possíveis espaços na solução corrente. O método proposto apresentou melhor desempenho do que as heurísticas acima mencionadas, em termos de qualidade da solução, porém com alto esforço computacional.

(HO, 1995) desenvolveu um algoritmo heurístico para minimizar o tempo total ou o tempo médio de fluxo para ambientes *flow shop* permutacional com n tarefas e m máquinas. O algoritmo proposto é baseado em métodos de ordenação envolvendo dois importantes aspectos: (1) obtenção de uma solução inicial; e (2) melhoramento da solução inicial. Para obtenção da solução inicial foi desenvolvido um índice para cada tarefa, baseado no impacto da tarefa na data de início de sua sucessora imediata. Então, uma seqüência inicial pode ser obtida pela seleção das tarefas de acordo com ordem crescente destes índices. Após a obtenção da solução inicial, métodos de ordenação são aplicados, para obtenção da solução final. A heurística é comparada com as heurísticas propostas por Rajendran e Chaudhuri (1991) e Rajendran (1992). O autor desenvolveu uma heurística composta de muitas iterações de um esquema de melhoramento baseado na busca do ótimo local por meio da troca de pares de tarefas adjacentes, e melhorando a solução por meio de movimentos de inserção de tarefas.

(RAJENDRAN e ZIEGLER, 1997) consideram o problema de programação em um *flow shop* com o objetivo de minimizar o tempo total de fluxo ponderado. A heurística proposta (denominada RZ) consiste de duas fases. Na primeira fase m seqüências são geradas e a melhor seqüência com respeito ao tempo total de fluxo ponderado é escolhida como a seqüência semente (inicial). Na segunda fase, a seqüência inicial é melhorada por meio de uma técnica de inserção. O esquema de melhoramento empregado no algoritmo é baseado na inserção seqüencial de cada tarefa na seqüência semente (inicial) em cada possível posição diferente de uma seqüência gerada. O esquema de melhoramento é basicamente um método de busca local e é baseado na estrutura de busca em vizinhança.

(WANG, CHU e PROTH, 1997) desenvolveram duas heurísticas para o problema de *flow shop* com o critério de minimização da soma dos tempos de fluxo. A primeira heurística, denominada LIT (*less idle time*), enfoca a redução do tempo ocioso nas máquinas e a segunda, denominada SPD (*smallest process distance*), objetiva a redução do tempo ocioso das

máquinas e dos tempos de espera (fila) das tarefas. As heurísticas são comparadas com um limitante inferior do tempo médio de fluxo, proposto por Ahmadi e Bagchi (1990). Os resultados de uma variedade de casos numéricos demonstram que as heurísticas são eficientes para encontrar soluções desejáveis.

(WOO e YIM, 1998) desenvolveram um algoritmo heurístico baseado no método de inserção de tarefas, para reduzir o tempo médio de fluxo em um ambiente *flow shop* permutacional. A principal idéia do algoritmo é introduzir uma nova regra de ordenação para o método de inserção utilizado na heurística que trata do problema do caixeiro viajante. A característica que distingue o algoritmo proposto dos outros métodos de inserção de tarefas é a ordem das tarefas a serem inseridas para a construção da seqüência parcial candidata. Enquanto as heurísticas existentes predeterminam a ordem de inserção das tarefas, o algoritmo proposto considera todas as tarefas remanescentes que não estão incluídas na seqüência parcial e determina a melhor tarefa para inserção. Todavia, é natural que a heurística proposta requeira mais tempo computacional que outras heurísticas. A heurística desenvolvida é comparada com a heurística de Rajendran (1993) e com as heurísticas NEH e CDS, ambas adaptadas para o objetivo de minimização do tempo médio de fluxo. O algoritmo de Woo e Yim ordena as tarefas inicialmente em ordem não-decrescente da soma dos tempos de processamento. Contudo, no processo de inserção em k iterações, todas as possíveis tarefas remanescentes ($n - k + 1$) são consideradas em todas as possíveis posições para inserção.

(LIU e REEVES, 2001) propõem uma nova heurística construtiva para problemas de *flow shop* permutacional com critério de minimização do tempo total de fluxo. Com base em uma função-índice, para selecionar e adicionar tarefas à seqüência parcial. A função-índice é constituída de duas partes, uma que considera o tempo ocioso da máquina e outra que considera os efeitos do tempo de fluxo das últimas tarefas. Um novo procedimento heurístico construtivo tem sido proposto para resolver o problema, o qual pode ser ajustado para

consumir mais ou menos tempo computacional, dependendo da necessidade. Esse procedimento é então combinado com métodos de busca local. A função-índice precisa ser ajustada cuidadosamente uma vez que a qualidade da solução depende muito de como a referida função reflete a natureza do problema.

(ALLAHVERDI e ALDOWAISAN, 2002) estudaram o problema de *flow shop* permutacional com m máquinas, cujo objetivo consiste em minimizar o tempo total de fluxo. Os autores comparam muitas heurísticas para minimização do tempo de fluxo que geram primeiro uma seqüência inicial e depois melhoram esta seqüência por meio da troca de pares de tarefas. Sete heurísticas, nomeadas IH_x ($x = 1, 2, \dots, 7$) são apresentadas. As heurísticas são construídas por meio da combinação de várias outras heurísticas (CDS, NEH, Ho, Wang et al, RZ e WY) reportadas na literatura. A heurística IH_7 apresenta-se melhor em termos de qualidade de solução, sendo recomendado seu uso para um número máximo de aproximadamente 300 tarefas. A heurística IH_7 consiste no emprego da solução fornecida pela heurística WY como solução inicial, em seguida aplica-se a segunda fase da heurística RZ para construir a programação e finalmente utiliza-se um método baseado na busca local com procedimentos de permutação nas posições das tarefas, para melhorar a solução.

(FRAMINAN e LEISTEN, 2003) propuseram uma heurística para a minimização do tempo total de fluxo/tempo médio de fluxo em *flow shop* permutacional. A heurística explora a idéia de otimização da programação parcial, já presente na heurística NEH com respeito à minimização do *makespan*. A heurística proposta, denominada IH_7 -proposed, é baseada na construção de seqüências parciais, assim como na heurística NEH. Contudo, aqui as tarefas são inicialmente ordenadas de acordo com a ordem não-decrescente da soma de seus tempos de processamento. Como no NEH, a k -ésima tarefa da ordenação é inserida dentro dos k espaços possíveis, e a seqüência parcial com o menor tempo de fluxo é retida como a melhor solução. Em seguida, um procedimento de permutação nas posições é aplicado e a melhor

solução com respeito ao tempo de fluxo é retida. O processo é repetido até que todas as tarefas sejam programadas, obtendo-se uma solução inicial. A essa solução inicial são aplicadas as duas fases finais do método heurístico IH₇ apresentado por Allahverdi e Aldowaisan (2002).

(FRAMINAN, LEISTEN e RAJENDRAN, 2003) apresentam uma generalização da heurística NEH para minimização da duração total da programação (*makespan*), do tempo ocioso das máquinas e do tempo de fluxo das tarefas. A heurística pode ser generalizada com respeito a muitos aspectos, função-objetivo, valores indicadores, critério de ordenação, restrição das k possíveis posições para inserção de tarefas. 177 diferentes ordenações iniciais foram construídas e suas performances foram avaliadas no enfoque de inserção do NEH. Analisam a performance da heurística NEH com respeito a funções-objetivo anteriormente mencionadas por meio da modificação da ordenação inicial de tarefas. Um total de 177 diferentes enfoques, derivados de diferentes valores indicadores e diferentes critérios de ordenação baseados em idéias presentes em muitos artigos, foram testados em um extenso estudo numérico.

(FRAMINAN et al., 2005) investigam o problema de seqüenciamento de tarefas em *flow shop* permutacional com o objetivo de minimizar a soma dos tempos de fluxo. Realizaram uma extensiva comparação entre as heurísticas existentes, e com base nos resultados dos experimentos, duas novas heurísticas compostas para o problema são sugeridas (C_1 e C_2), ou seja, as heurísticas propostas são combinações de duas ou mais heurísticas. Na experiência computacional efetuada pelos autores, o método C_2 foi considerado o melhor (em termos de qualidade da solução) em comparação com os outros métodos existentes na literatura.

(NAGANO e MOCCELLIN, 2007) desenvolveram o SPT-*Flowtime*, um método heurístico para minimizar o tempo médio de fluxo em um ambiente de produção *flow shop*

permutacional. O *SPT-Flowtime* foi comparado com o melhor algoritmo reportado na literatura, o C_2 , desenvolvido por Framinan et al (2005). Os resultados experimentais mostraram que o método desenvolvido tem, em geral, um desempenho superior quando comparado com o método C_2 , obtendo soluções de melhor qualidade com menor esforço computacional.

3.2 MÁQUINAS PARALELAS

O problema de máquinas paralelas tem sido extensivamente estudado. Quando há somente um único recurso (máquina), ou um fluxo de produção unidirecional, a programação é determinada pelo seqüenciamento das atividades a serem executadas. No caso das máquinas paralelas, além da ordem de execução das tarefas, é necessário também definir a alocação das tarefas às máquinas.

De acordo com (FRENCH, 1982), há três classes de problemas com Máquinas Paralelas:

Máquinas Idênticas – Os tempos de processamento das tarefas são os mesmos em todas as máquinas;

Máquinas Uniformes (Proporcionais) – Os tempos de processamento das tarefas variam de acordo com um padrão simples entre as máquinas. Esta variação está associada a um fator de proporcionalidade; e

Máquinas Não-Relacionadas – Os tempos de processamento das tarefas variam entre as máquinas, mas em um padrão completamente arbitrário.

(ALIDAE, 1993) desenvolveu um algoritmo de programação dinâmica para problemas de programação de n tarefas em dois processadores idênticos, com o objetivo de minimizar o tempo total de fluxo ponderado das tarefas. Similaridades entre o problema investigado e os pesos dos adiantamentos e dos atrasos em uma única máquina são discutidos. O algoritmo apresentado é baseado em duas propriedades conhecidas para qualquer solução ótima para o problema em questão: (1) tarefas são processadas consecutivamente sem tempo ocioso; e (2) em qualquer ordenação ótima, adiantamentos e atrasos das tarefas são ordenados em ordem não-decrescente e não-crescente dos valores dos pesos dos adiantamentos (w_i) dividido pelos tempos de processamento (t_i).

(WEBSTER, 1993) investiga o problema de programação de n tarefas com tempos de processamento conhecidos em m máquinas paralelas idênticas, com o objetivo de minimizar o tempo de fluxo ponderado das tarefas. Uma generalização da regra SPT, a WSPT/ $W_{\max}$, para classes de problemas onde os pesos das tarefas não são idênticos é apresentada. A WSPT (*Weighted Shortest Processing Time*) programa as tarefas nas máquinas disponíveis em ordem não-decrescente de p_j/w_j . A $W_{\max}$ (*Maximum Weight*) programa as tarefas nas máquinas disponíveis em ordem não-crescente dos pesos w_j . A WSPT/ $W_{\max}$, ordena as tarefas em ordem não-decrescente dos valores p_j/w_j , com desempates de acordo com a regra $W_{\max}$ (ordem não-crescente de w_j)

(WEBSTER, 1993b) apresenta limitantes superiores e inferiores para o problema de programação de n tarefas em m processadores de diferentes capacidades (processadores não-relacionados), com o objetivo de minimizar o tempo de fluxo ponderado. Os limitantes são derivados dos limitantes bem conhecidos para problemas de processadores idênticos.

(WEBSTER, 1995) apresenta dois limitantes inferiores para o problema de minimização do tempo de fluxo ponderado em processadores paralelos idênticos e identifica propriedades teóricas considerando o relacionamento entre estes e outros limitantes para o

problema. Os novos limitantes junto com outros limitantes da literatura, são avaliados em um estudo computacional e encontram-se entre os três melhores em desempenho. Condições favoráveis para cada um dos três limitantes são identificadas.

(AZIZOGLU e KIRCA, 1999) analisam o problema de minimização do tempo total de fluxo em máquinas paralelas idênticas. São introduzidas propriedades que caracterizam a estrutura de uma solução ótima e definido um eficiente método para calcular um limitante inferior. As propriedades e o método para o cálculo do limitante são incorporados em um algoritmo de solução ótima do tipo *branch-and-bound*, que resolve satisfatoriamente os problemas com razoável tempo computacional. Uma extensão do algoritmo desenvolvido é apresentada para o problema de máquinas paralelas uniformes.

(GUPTA e RUIZ-TORRES, 2005) consideram o problema de geração de um conjunto de eficientes programações em máquinas paralelas idênticas envolvendo o tempo total de fluxo e o número total de tarefas em atraso. Em vista da natureza NP-hard do problema são propostos oito algoritmos heurísticos de solução. Duas combinações de métodos são utilizadas para avaliar a performance do conjunto de soluções geradas pelas heurísticas.

(AMBÜHL e MASTROLILLI, 2005) investigam o problema de minimização do tempo de fluxo máximo para programação de tarefas em m máquinas idênticas, quando interrupções (*preemptions*) são permitidas e quando não são permitidas.

3.3 *FLOW SHOP* COM MÁQUINAS MÚLTIPLAS (*FLOW SHOP* HÍBRIDO)

O problema de programação *flow shop* híbrido (FSH) consiste de um *flow shop* de múltiplos estágios de produção, onde cada estágio $k \in \{1, \dots, K\}$, $K \geq 2$, é composto de M_k

máquinas paralelas, as quais podem processar uma única tarefa de cada vez. Um *flow shop* multi-estágios é um FSH se pelo menos em um dos estágios existirem duas ou mais máquinas.

O problema tradicional consiste em programar um conjunto de tarefas $J = \{1, \dots, n\}$, onde cada tarefa tem uma única operação em cada estágio. As operações de uma tarefa devem ser efetuadas sequencialmente, passando por todos os estágios. Além disso, as operações uma vez iniciadas não devem ser interrompidas e também não podem ser subdivididas em operações simultâneas e independentes. Cada tarefa i tem um tempo de processamento conhecido p_{ik} no estágio k , $i \in J$ e $k \in \{1, \dots, K\}$.

O ambiente FSH pode ser visto como uma combinação do *flow shop* clássico ($M_k = 1$, $K \geq 2$) com o problema de máquinas paralelas ($M_k \geq 2$, $K = 1$). Os problemas de *flow shop* clássico e de máquinas paralelas têm sido extensivamente estudados. Contudo, na literatura encontram-se relativamente poucas pesquisas que reportam o desenvolvimento de métodos heurísticos para FSH, e com o objetivo de minimizar o tempo médio de fluxo.

(RAJENDRAN e CHAUDHURI, 1992) apresentam um algoritmo *branch-and-bound* para obter uma programação para o problema de *flow shop* com múltiplos estágios e processadores paralelos, com o objetivo de minimizar o tempo total de fluxo. O algoritmo consiste de dois módulos, um para calcular o limitante inferior e outro para executar o procedimento de ramificação. Dada a natureza NP-completa do problema, é proposto também um algoritmo heurístico para programação em *flow shop* com máquinas paralelas e dois estágios de produção. Investigações mostram que a performance da heurística é muito boa em termos de qualidade de solução e tempo computacional, e é claramente superior à regra SPT. As soluções heurísticas, quando comparadas com as soluções ótimas dadas pelo método *branch-and-bound* proposto, apresentam pequenos desvios.

(HUNSUCKER e SHAH, 1994) realizaram uma análise comparativa do desempenho de regras de prioridade em *flow shop* com múltiplos processadores com restrições, como por

exemplo, o número máximo de tarefas permitido no sistema. As regras de prioridade testadas foram FIFO, LIFO, SPT, LPT, MWR e LWR. O estudo objetivou avaliar o desempenho das regras de prioridade para os critérios de duração total da programação (*makespan*), tempo médio de fluxo e tempo máximo de fluxo. Os resultados mostraram que a regra SPT produziu desempenho superior para duração total da programação e tempo médio de fluxo. Para o tempo de fluxo máximo, dependendo da configuração do sistema, deverão ser implementadas as regras SPT ou FIFO.

(LINN e ZANG, 1999) apresentam uma classificação das pesquisas em *flow shop* híbrido, que se encontra dividida em três categorias: problemas com dois estágios, três estágios e k estágios ($k > 3$). No artigo os autores também apresentam uma discussão acerca da complexidade do processamento, dos critérios de desempenho, bem como dos métodos de solução para o problema.

(BRAH e LOO, 1999) investigaram o desempenho de heurísticas para programação em ambientes *flow shop* com múltiplos processadores. Foram investigados o desempenho das cinco melhores heurísticas (CDS; NEH; Algoritmo de Palmer modificado por Hundae e Rajgopal; CDS2 - combinação do CDS com o algoritmo de Dannenbring - de Yang, Pegden e Enscore; e o Algoritmo de Ho) nos critérios de *makespan* e tempo médio de fluxo em *flow shop* com múltiplos processadores. O estudo examina os efeitos de características do problema (número de tarefas, número de máquinas (estágios) e número de processadores paralelos em cada estágio). Uma revisão de literatura para *flow shop* e *flow shop* com múltiplos processadores pode ser encontrada nesse estudo de Brah e Loo (1999).

(DROZDOWSKI e DELL'OLMO, 2000) consideram o problema de programação de tarefas com interrupções (*preemptions*) permitidas em ambientes com múltiplos processadores idênticos, com o objetivo de minimizar o tempo médio de fluxo e o tempo médio de fluxo ponderado. O modelo investigado assume que algumas tarefas podem requerer vários

processadores ao mesmo tempo. Algoritmos polinomiais são apresentados para programação de tarefas quando o número de processadores é fixado, ou o número de processadores requeridos é superior a dois.

(AZIZOGLU et al., 2001) investigam o problema de minimização do tempo total de fluxo em ambiente *flow shop* híbrido. Um algoritmo *branch-and-bound* é desenvolvido para encontrar uma programação ótima. Três heurísticas são propostas para encontrar uma solução inicial e incorporadas no algoritmo *branch-and-bound*. Na primeira heurística os estágios são considerados separadamente. Em cada estágio, o problema é resolvido por meio do uso da regra SPT. As seqüências encontradas são aplicadas em todos os estágios de produção e a seqüência que dá o menor tempo médio de fluxo é selecionada. A segunda heurística difere da primeira apenas no fato de que a seqüência é somente usada no primeiro estágio de produção. Para os outros estágios, as tarefas são designadas às máquinas com menor carga. Na terceira heurística, as tarefas são ordenadas em uma seqüência, de acordo com a seqüência proposta por Rajendram e Chaudhuri (1991) que ordena as tarefas em ordem não-decrescente dos valores $\sum_{j=1}^m (m - j + 1)t_{ij}$, onde i denota a tarefa. As tarefas são designadas às máquinas de menor carga.

(KIS e PESCH, 2005) apresentam uma revisão da literatura dos métodos de solução exata para o caso geral de *flow shop* com múltiplos processadores e com $K \geq 2$ estágios de produção, onde interrupções (*preemptions*) não são permitidas. O artigo fornece um panorama compreensivo e uniforme sobre os métodos de solução exata, apresentando procedimentos de ramificações, cálculo dos limitantes e propagação de restrições sob duas diferentes funções-objetivo; minimizar o *makespan* de uma programação e o tempo médio de fluxo.

(ALLAHVERDI e AL-ANZI, 2006) investigam o problema de programação em um ambiente multi-estágio com processadores paralelos idênticos, com o objetivo de minimizar o tempo médio de fluxo. Eles propõem uma nova heurística, denominada PH, baseada na

heurística AA, proposta por Allahverdi e Al-anzi (2002). A heurística proposta é constituída de três fases, sendo que a heurística proposta difere da heurística AA apenas na primeira fase, onde é utilizado o Algoritmo Genético. A heurística PH utiliza na primeira fase o *Simulated Annealing* (SA), para obtenção de uma seqüência inicial. Na segunda fase um esquema de melhoramento, baseado na inserção de tarefas é aplicado na seqüência obtida na primeira fase. A melhor seqüência em relação ao tempo médio de fluxo, obtida na segunda fase, é melhorada na terceira fase da heurística.

3.4 *FLOW SHOP* PERMUTACIONAL COM TEMPOS DE PREPARAÇÃO DEPENDENTES DA SEQÜÊNCIA

Conforme apresentado na seção 2.1 deste capítulo, diversos trabalhos têm sido reportados na literatura referentes à programação *flow shop* permutacional com tempos de preparação das máquinas (*setup*) incluídos nos tempos de processamento das tarefas. Entretanto, quando tais tempos de preparação são tratados separadamente dos tempos de processamento das tarefas, o número de trabalhos existentes na literatura é bastante reduzido. Este fato também será observado nas seções subseqüentes.

No caso desta seção, que trata do FSP com *setup* dependente da seqüência de execução das tarefas e função-objetivo relacionada aos tempos de fluxo, foi encontrado somente um trabalho, descrito a seguir.

(RAJENDRAN e ZIEGLER, 2003) apresentam uma heurística para programação de tarefas em *flow shop* permutacional com tempos de *setup* dependentes da seqüência de tarefas. O objetivo é minimizar a soma dos tempos ponderados de fluxo e dos atrasos

ponderados das tarefas. A heurística proposta gera duas seqüências, sendo a melhor delas, com relação ao critério de desempenho adotado considerada como a solução inicial dada pela heurística. A geração da primeira seqüência considera a influência dos tempos individuais de processamento e de *setup* no tempo de fluxo das tarefas, em adição aos custos de manutenção e antecipação das tarefas. A segunda seqüência é gerada por meio da consideração das *due-dates* (data de entrega ou prazo de término das tarefas), dos custos de manutenção e atraso das tarefas. Em seguida, um esquema de melhoramento que se baseia na inserção de cada tarefa em cada possível posição diferente da seqüência inicial gerada, é empregado.

3.5 MÁQUINAS PARALELAS COM TEMPOS DE PREPARAÇÃO DEPENDENTES DA SEQUÊNCIA

(RANDHAWA e SMITH, 1995) realizaram uma investigação dos fatores que afetam a programação de sistemas com máquinas paralelas não-idênticas (não-relacionadas) usando uma série de procedimentos experimentais. O objetivo primário foi identificar as variáveis do sistema que afetam o desempenho da programação para processadores paralelos não-idênticos em termos de tempo médio de fluxo, proporção de atraso nas tarefas e proporção da utilização dos processadores. As variáveis do sistema incluídas foram capacidade de conexão/afinidade dos processadores, regras de seqüenciamento e designação, tamanho da tarefa e distribuição da demanda dos produtos.

(KRAVCHENKO e WERNER, 2001) consideram o problema de programação de um conjunto de tarefas em m máquinas paralelas idênticas com o objetivo de minimizar a soma dos tempos de fluxo, para o caso de tempos de preparação unitários e tempos de

processamento arbitrários. O problema foi classificado como fortemente *NP-hard*. O algoritmo proposto busca minimizar o tempo ocioso das máquinas e programar tarefas com menores tempos de processamento primeiro.

(WENG, LU e REN, 2001) tratam do problema de máquinas paralelas não-relacionadas com tempos de preparação dependentes da seqüência. O critério utilizado para otimização foi a minimização da média ponderada dos tempos de fluxo. Sete heurísticas foram propostas e testadas por meio de simulação. Foi observado que as diferenças entre o desempenho das heurísticas diminuem com a redução da amplitude dos tempos de processamento das tarefas e tempos de preparação das máquinas.

3.6 *FLOW SHOP* COM MÁQUINAS MÚLTIPLAS E TEMPOS DE PREPARAÇÃO DEPENDENTES DA SEQÜÊNCIA

Para o ambiente de produção tratado neste trabalho, até o momento, nenhum trabalho que abordasse o critério de minimização do tempo médio de fluxo, foi encontrado na literatura examinada.

Conforme já mencionado na seção 3.4, para o objetivo de minimização do tempo médio de fluxo, existem poucos trabalhos reportados até o momento que abordam os tempos de preparação das máquinas dependentes da seqüência de execução das tarefas.

4 MÉTODOS HEURÍSTICOS PROPOSTOS

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O problema tratado neste trabalho integra uma linha de pesquisa do Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos – USP denominada “Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção”. O principal tema de pesquisa no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção para esta linha foca a “Programação da Produção em Sistemas de Produção Intermitentes”. Este tema consiste no estudo de modelos e desenvolvimento de novos métodos de solução para problemas de programação de operações em máquinas.

O problema objeto deste trabalho pode ser definido como:

- 1) *Flow shop* híbrido composto por múltiplos estágios de produção, ou seja, $K \geq 2$;
- 2) Em cada estágio k , existem M_k máquinas paralelas idênticas, onde $M_k \geq 2$;
- 3) Os tempos de preparação das máquinas são assimétricos e dependentes da sequência de execução das tarefas.

O ambiente descrito é ilustrado na Figura 4.1

FIGURA 4.1 - AMBIENTE DE PRODUÇÃO - *FLOW SHOP* HÍBRIDO

As principais hipóteses consideradas no problema são as seguintes:

- 1) Os tempos de processamento das tarefas nas diversas máquinas são determinados e fixos;
- 2) As tarefas têm a mesma data de liberação, a partir da qual qualquer uma pode ser programada e executada. Esta data de liberação pode ser considerada igual a zero, no primeiro estágio, sem perda de generalidade;
- 3) Uma vez iniciadas, as operações de cada tarefa não podem ser interrompidas nem subdivididas em sub-operações simultâneas;
- 4) Uma tarefa só pode começar a ser executada em uma máquina após a execução completa da sua operação no estágio anterior e desde que a máquina já esteja preparada;
- 5) O *setup* de uma máquina, para determinada tarefa, pode ser executado antes da operação dessa tarefa estar concluída no estágio anterior e considera-se que o *setup* da primeira operação em cada máquina já esteja realizado (no problema, o tempo de *setup* dessas operações é considerado igual a zero).

O problema consiste em programar um conjunto de n tarefas, definido como $J = \{J_1, \dots, J_n\}$, onde cada tarefa possui necessariamente uma única operação em cada estágio de produção. O objetivo do problema é minimizar o tempo médio de fluxo como medida de desempenho.

4.2 PROPOSIÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS CONSTRUTIVOS

Para resolução do problema investigado são propostos quatro métodos de solução, denominados MM-FlowTime_x (MM-FT_x, com $x = 1, \dots, 4$) onde os dois primeiros (MM-FT₁ e MM-FT₂) enfocam a programação estágio a estágio e os dois últimos (MM-FT₃ e MM-FT₄) enfocam a programação tarefa a tarefa.

A programação das tarefas, estágio a estágio, é feita como solução iterativa de K problemas relacionados. O primeiro estágio ($k = 1$) é programado como se fosse um problema tradicional de M_k máquinas paralelas idênticas com a mesma data de liberação, convencionada igual a zero ($r_i = r = 0$). Os estágios seguintes ($k \geq 2$) consistem de $K - 1$ problemas consecutivos de M_k máquinas paralelas idênticas.

A programação das tarefas, tarefa a tarefa, é feita como solução iterativa de n problemas relacionados. A primeira tarefa é programada como se fosse um problema de *flow shop* tradicional, constituído de K máquinas. As tarefas seguintes consistem de $n - 1$ problemas relacionados de M_k máquinas paralelas idênticas.

Os métodos de solução MM-FT₁ e MM-FT₃ estabelecem uma ordenação inicial com base na regra de prioridade TSPT (*Total Shortest Processing Time*), enquanto os métodos MM-FT₂ e MM-FT₄ definem a ordenação inicial utilizando a regra de prioridade TLPT (*Total*

Longest Processing Time). Os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂, além das regras de prioridade, acima mencionadas, para o estabelecimento da ordenação inicial, utilizam a regra de prioridade SRD (*Shortest Release Date*) para a programação sucessiva das tarefas em cada estágio $k \geq 2$. Os quatro métodos propostos utilizam a regra de alocação SCT (*Shortest Completion Time*), baseada no algoritmo de (WENG, LU e REN, 2001). As regras de prioridade e de alocação são descritas a seguir.

4.2.1 Regras de Prioridade

4.2.1.1 Regra de Prioridade TSPT (*Total Shortest Processing Time*)

Considera a soma dos tempos de processamento de cada tarefa em todos os estágios de produção. O seqüenciamento das tarefas é feito em ordem não-decrescente destas somas.

4.2.1.1 Regra de Prioridade TLPT (*Total Longest Processing Time*)

Considera a soma dos tempos de processamento de cada tarefa em todos os estágios de produção. O seqüenciamento das tarefas é feito em ordem não-crescente destas somas.

4.2.1.2 Regra de Prioridade SRD (*Shortest Release Date*)

A ordenação das tarefas é feita em ordem não-decrescente dos valores das datas de liberação das tarefas ($r_{ik}, k = 2, 3, \dots, K$). É importante observar que a data de liberação de uma tarefa em um estágio $k \geq 2$, corresponde à sua data de término no estágio anterior.

4.2.2 Regra de Alocação SCT (*Shortest Completion Time*)

Considerando um determinado estágio de produção k ($k = 1, 2, \dots, K$) e uma vez definida a tarefa a ser programada (em função de alguma regra de prioridade), a alocação dessa tarefa é efetuada à máquina do respectivo estágio que leva à menor data de término dessa tarefa. Essa data é calculada pela expressão que segue:

$$C_{Eik} = \min_{m=1}^{Mk} \{ \max \{ C_{umk} + S_{umik}; C_{i, k-1} \} + p_{ik} \} \quad (4.1.)$$

com $i = 1, 2, \dots, n$ e $k = 1, \dots, K$

C_{Eik} - Menor data de término da tarefa J_i no estágio k .

U_m - Índice da última tarefa alocada à máquina m (J_{Um}).

C_{umk} - Data de término da tarefa J_{Um} no estágio k .

S_{umik} - Tempo de preparação da máquina m para processamento da tarefa J_i no estágio k após o processamento de J_{Um} .

p_{ik} - Tempo de processamento da tarefa J_i no estágio k .

M_k - Número de máquinas do estágio k .

$C_{i,k-1}$ - Data de término da tarefa J_i no estágio $k-1$.

Os algoritmos para os quatro métodos de solução propostos são descritos a seguir.

4.2.3 Algoritmos propostos para Programação Estágio a Estágio

Para a definição dos algoritmos propostos neste trabalho vamos considerar:

J - Conjunto de n tarefas a serem programadas.

J' - Conjunto das tarefas ainda não programadas.

$J'_{[j]}$ - Tarefa que ocupa a j -ésima posição de J' .

M - Número total de máquinas considerando todos os estágios de produção ($M =$

$\sum_{k=1}^K M_k$, onde M_k é o número de máquinas no estágio k).

σ_m - subconjunto de tarefas já alocadas à máquina m ($m = 1, 2, \dots, M$).

Algoritmo 1 - MM -Flow Time 1 (TSPT/SRD/SCT)

Passo 0 – (Inicialização)

$\sigma_x = \phi$ para $x = 1, 2, \dots, M$

$J' \leftarrow J$

Passo 1 - Ordene todas as tarefas do conjunto J' de acordo com a regra de prioridade TSPT.

Selecione a tarefa que ocupa a primeira posição em J' ($J'_{[1]}$). Vá para o Passo 3.

Passo 2 - Ordene todas as tarefas de J' de acordo com a regra de prioridade SRD, considerando as datas de término das tarefas no estágio anterior como as datas de liberação do estágio atual. Selecione a tarefa que ocupa a primeira posição em J' ($J'_{[1]}$). Vá para o Passo 3.

Passo 3 - Em cada uma das máquinas do estágio, analise todas as possibilidades de alocação da tarefa $J'_{[1]}$ (primeira posição de J'), e escolha a máquina x com a data de término mais cedo, ou seja, aplique a regra de alocação SCT.

Passo 4 - Atualização de conjuntos

$$\sigma_x \leftarrow \sigma_x \cup \{J'_{[1]}\}$$

$$J' \leftarrow J' - \{J'_{[1]}\}$$

Se $J' \neq \emptyset$ e $k = 1$ (primeiro estágio), vá para o Passo 1.

Se $J' \neq \emptyset$ e $k > 1$, vá para o Passo 2.

Caso contrário, programação do estágio atual concluída.

Passo 5 – Passa para o estágio seguinte

Faça $J' \leftarrow J$ (ou seja, J' passa a conter novamente as n tarefas para programação no próximo estágio).

Se não for o último estágio, vá para o Passo 2.

Caso contrário pare, programação concluída. Saída: σ_m para $m = 1, 2, \dots, M$.

Algoritmo 2 - MM -Flow Time 2 (TLPT/SRD/SCT)

Passo 0 – (Inicialização)

$\sigma_x = \phi$ para $x = 1, 2, \dots, M$

$J' \leftarrow J$

Passo 1 - Ordene todas as tarefas do conjunto J' de acordo com a regra de prioridade TLPT.

Selecione a tarefa que ocupa a primeira posição em J' ($J'_{[1]}$). Vá para o Passo 3.

Passo 2 - Ordene todas as tarefas de J' de acordo com a regra de prioridade SRD, considerando as datas de término das tarefas no estágio anterior como as datas de liberação do estágio atual. Selecione a tarefa que ocupa a primeira posição em J' ($J'_{[1]}$). Vá para o Passo 3.

Passo 3 - Em cada uma das máquinas do estágio, analise todas as possibilidades de alocação da tarefa $J'_{[1]}$ (primeira posição de J'), e escolha a máquina x com a data de término mais cedo, ou seja, aplique a regra de alocação SCT.

Passo 4 - Atualização de conjuntos

$\sigma_x \leftarrow \sigma_x \cup \{J'_{[1]}\}$

$J' \leftarrow J' - \{J'_{[1]}\}$

Se $J' \neq \phi$ e $k = 1$ (primeiro estágio), vá para o Passo 1.

Se $J' \neq \phi$ e $k > 1$, vá para o Passo 2.

Caso contrário, programação do estágio atual concluída.

Passo 5 – Passa para o estágio seguinte

Faça $J' \leftarrow J$ (ou seja, J' passa a conter novamente as n tarefas para programação no próximo estágio).

Se não for o último estágio, vá para o Passo 2.

Caso contrário pare, programação concluída. Saída: σ_m para $m = 1, 2, \dots, M$.

4.2.4 Algoritmos propostos para Programação Tarefa a Tarefa

Algoritmo 3 - MM - Flow Time 3 (TSPT/SCT)

Passo 0 – (Inicialização)

$\sigma_x = \phi$ para $x = 1, 2, \dots, M$

$J' \leftarrow J$

Passo 1 - Ordene todas as tarefas do conjunto J' de acordo com a regra de prioridade TSPT.

Selecione a tarefa que ocupa a primeira posição em J' ($J'_{[1]}$).

Faça $k = 1$. Vá para o Passo 2.

Passo 2 - No estágio k , aloque a primeira tarefa de J' ($J'_{[1]}$) à máquina x , cuja programação possua a data mais cedo de término, ou seja, aplique a regra de alocação SCT.

$\sigma_x \leftarrow \sigma_x \cup \{J'_{[1]}\}$

Faça $k \leftarrow k + 1$. Vá para o Passo 3.

Passo 3 - Se $k > K$, vá para o Passo 4.

Caso contrário, vá para o Passo 2.

Passo 4 – $J' \leftarrow J' - \{J'_{[1]}\}$

Se $J' \neq \emptyset$, faça $k = 1$ e vá para o Passo 2.

Caso contrário pare, programação concluída. Saída: σ_m para $m = 1, 2, \dots, M$.

Algoritmo 4 - MM - Flow Time 4 (TLPT/SCT)

Passo 0 – (Inicialização)

$\sigma_x = \emptyset$ para $x = 1, 2, \dots, M$

$J' \leftarrow J$

Passo 1 - Ordene todas as tarefas do conjunto J' de acordo com a regra de prioridade TLPT.

Selecione a tarefa que ocupa a primeira posição em J' ($J'_{[1]}$).

Faça $k = 1$. Vá para o Passo 2.

Passo 2 - No estágio k , aloque a primeira tarefa de J' ($J'_{[1]}$) à máquina x , cuja programação possua a data mais cedo de término, ou seja, aplique a regra de alocação SCT.

$\sigma_x \leftarrow \sigma_x \cup \{J'_{[1]}\}$

Faça $k \leftarrow k + 1$. Vá para o Passo 3.

Passo 3 - Se $k > K$, vá para o Passo 4.

Caso contrário, vá para o Passo 2.

Passo 4 – $J' \leftarrow J' - \{J'_{[1]}\}$

Se $J' \neq \emptyset$, faça $k = 1$ e vá para o Passo 2.

Caso contrário pare, programação concluída. Saída: σ_m para $m = 1, 2, \dots, M$.

4.2.5 Exemplo Numérico

De modo a ilustrar os quatro métodos de solução propostos considere os tempos de processamento das tarefas e de preparação das máquinas para um conjunto de 6 tarefas a serem processadas em um *flow shop* híbrido com 3 estágios de produção, com duas máquinas no primeiro estágio, três máquinas no segundo estágio e duas máquinas no terceiro estágio. (máquinas idênticas).

TABELA 4.1 - TEMPOS DE PROCESSAMENTO DE $J_1 - 3$ ESTÁGIOS

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6
p_{i1}	2	1	4	1	3	2
P_{i2}	3	5	2	2	5	5
p_{i3}	5	2	1	3	1	4

TABELA 4.2 – TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 1 – 3 ESTÁGIOS

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6
J_1	-	1	2	1	2	2
J_2	3	-	4	1	1	1
J_3	2	4	-	1	3	3
J_4	1	1	3	-	2	2
J_5	1	2	2	1	-	2
J_6	1	2	2	1	2	-

TABELA 4.3 – TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 2 – 3 ESTÁGIOS

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
J ₁	-	1	2	1	1	1
J ₂	2	-	4	4	2	2
J ₃	1	1	-	2	3	3
J ₄	3	1	3	-	3	3
J ₅	2	1	2	1	-	1
J ₆	2	1	2	1	2	-

TABELA 4.4 – TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 3 – 3 ESTÁGIOS

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
J ₁	-	1	2	1	2	2
J ₂	3	-	4	1	3	3
J ₃	2	4	-	1	2	2
J ₄	1	1	3	-	1	1
J ₅	1	2	2	1	-	2
J ₆	1	2	2	1	2	-

Algoritmo 1 - MM -Flow Time 1 (TSPT/SRD/SCT)

1º. Estágio

TABELA 4.5 – SOMA DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO DE J_i – MM-FT₁

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
Σp_{ij}	10	8	7	6	9	11

Ordenação inicial – J₄ – J₃ – J₂ – J₅ – J₁ – J₆ (Regra de prioridade TSPT)

$\sigma_1 \leftarrow J_4 - J_2 - J_5 - J_6; \sigma_2 \leftarrow J_3 - J_1$

2º. Estágio

$r_1 = 8; r_2 = 3; r_3 = 4; r_4 = 1; r_5 = 7; r_6 = 11.$

Ordenação SRD - J₄ – J₂ – J₃ – J₅ – J₁ – J₆ (Regra de prioridade SRD)

$\sigma_3 \leftarrow J_4 - J_5; \sigma_4 \leftarrow J_2 - J_6; \sigma_5 \leftarrow J_3 - J_1$

3º. Estágio

$$r_1 = 11; r_2 = 8; r_3 = 6; r_4 = 3; r_5 = 12; r_6 = 16.$$

Ordenação SRD - $J_4 - J_3 - J_2 - J_1 - J_5 - J_6$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_6 \leftarrow J_4 - J_2 - J_5 - J_6; \sigma_7 \leftarrow J_3 - J_1$$

Programação concluída.

$$F_1 = 16; F_2 = 10; F_3 = 7; F_4 = 6; F_5 = 14; F_6 = 20$$

$$\text{Tempo Médio de Fluxo} = 12,16$$

Conforme a figura 4.2, podemos visualizar a programação das tarefas realizada utilizando o algoritmo MM-FT₁.

FIGURA 4.2 – GRÁFICO DE PROGRAMAÇÃO MM-FLOWTIME₁

Algoritmo 2 - MM -Flow Time 2 (TLPT/SRD/SCT)

1º. Estágio

TABELA 4.6 – SOMA DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO DE J_i – MM-FT₂

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6
Σp_{ij}	10	8	7	6	9	11

Ordenação inicial – $J_6 - J_1 - J_5 - J_2 - J_3 - J_4$ (Regra de prioridade TLPT)

$$\sigma_1 \leftarrow J_6 - J_5 - J_4; \sigma_2 \leftarrow J_1 - J_2 - J_3$$

2º. Estágio

$$r_1 = 2; r_2 = 4; r_3 = 12; r_4 = 9; r_5 = 7; r_6 = 2.$$

Ordenação SRD - $J_1 - J_6 - J_2 - J_5 - J_4 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_3 \leftarrow J_1 - J_5; \sigma_4 \leftarrow J_6 - J_4; \sigma_5 \leftarrow J_2 - J_3$$

3º. Estágio

$$r_1 = 5; r_2 = 9; r_3 = 15; r_4 = 11; r_5 = 12; r_6 = 7.$$

Ordenação SRD - $J_1 - J_6 - J_2 - J_4 - J_5 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_6 \leftarrow J_1 - J_2 - J_5; \sigma_7 \leftarrow J_6 - J_4 - J_3$$

Programação Concluída.

$$F_1 = 10; F_2 = 13; F_3 = 19; F_4 = 15; F_5 = 17; F_6 = 11$$

$$\text{Tempo Médio de Fluxo} = 14,16$$

A programação das tarefas realizada utilizando o algoritmo MM-FT₂ pode se visualizada na figura 4.3 a seguir.

FIGURA 4.3 – GRÁFICO DE PROGRAMAÇÃO MM-FLOWTIME₂

Algoritmo 3 - MM -Flow Time 3 (TSPT/SCT)

Ordenação inicial ¹- $J_4 - J_3 - J_2 - J_5 - J_1 - J_6$ (Regra de prioridade TSPT)

Programação - J_4		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_1	σ_3	σ_6
Programação - J_3		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_2	σ_4	σ_7
Programação - J_2		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_1	σ_5	σ_6
Programação - J_5		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_1	σ_3	σ_7
Programação - J_1		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_2	σ_4	σ_6
Programação - J_6		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_1	σ_5	σ_7

FIGURA 4.4 – PROGRAMAÇÃO DE TAREFAS MM-FLOWTIME₃

Programação completa:

$$\sigma_1 \leftarrow J_4 - J_2 - J_5 - J_6$$

$$\sigma_2 \leftarrow J_3 - J_1$$

$$\sigma_3 \leftarrow J_4 - J_5$$

$$\sigma_4 \leftarrow J_3 - J_1$$

¹ Ordenação inicial igual à obtida no passo 1 do algoritmo 1 - MM-Flowtime 1.

$$\sigma_5 \leftarrow J_2 - J_6$$

$$\sigma_6 \leftarrow J_4 - J_2 - J_1$$

$$\sigma_7 \leftarrow J_3 - J_5 - J_6$$

$$F_1 = 18; F_2 = 10; F_3 = 7; F_4 = 6; F_5 = 13; F_6 = 20$$

$$\text{Tempo Médio de Fluxo} = 12,33.$$

Conforme a figura 4.5, podemos visualizar a programação das tarefas realizada utilizando o algoritmo MM-FT₃

FIGURA 4.5 – GRÁFICO DE PROGRAMAÇÃO MM-FLOWTIME₃

Algoritmo 4 - MM -Flow Time 4 (TLPT/SCT)

Ordenação inicial² – $J_6 - J_1 - J_5 - J_2 - J_3 - J_4$ (Regra de prioridade TLPT)

Programação – J_6		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_1	σ_3	σ_6
Programação – J_1		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_2	σ_4	σ_7
Programação – J_5		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_1	σ_5	σ_7
Programação – J_2		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_2	σ_3	σ_6
Programação – J_3		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_2	σ_4	σ_7
Programação – J_4		
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3
σ_1	σ_5	σ_6

FIGURA 4.6 –PROGRAMAÇÃO DE TAREFAS MM-FLOWTIME₄

Programação completa:

$$\sigma_1 \leftarrow J_6 - J_5 - J_4$$

$$\sigma_2 \leftarrow J_1 - J_2 - J_3$$

$$\sigma_3 \leftarrow J_6 - J_2$$

$$\sigma_4 \leftarrow J_1 - J_3$$

² Ordenação inicial igual à obtida no passo 1 do algoritmo 2 - MM-Flowtime 2.

$$\sigma_5 \leftarrow J_5 - J_4$$

$$\sigma_6 \leftarrow J_6 - J_2 - J_4$$

$$\sigma_7 \leftarrow J_1 - J_5 - J_3$$

$$F_1 = 10; F_2 = 15 ; F_3 = 16; F_4 = 19; F_5 = 13; F_6 = 11$$

Tempo Médio de Fluxo = 14.

A programação das tarefas realizada utilizando o algoritmo MM-FT₄ pode se visualizada na figura 4.7 a seguir.

FIGURA4.7 – GRÁFICO DE PROGRAMAÇÃO MM-FLOWTIME₄

5 EXPERIMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

O foco da experimentação computacional foi a análise da influência da relação entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e do *setup* em cada método de solução, bem como a influência das ordenações iniciais no resultado da programação e a influência do tipo da programação, dado que os quatro métodos de programação aqui desenvolvidos trabalham com programação estágio a estágio (métodos MM-FT₁ e MM-FT₂) e com programação tarefa a tarefa (métodos MM-FT₃ e MM-FT₄).

No exame da literatura que foi efetuado não foram encontrados métodos de solução para o problema investigado neste trabalho. Desta forma, os métodos propostos foram comparados entre si. Além da comparação geral entre os quatro métodos foram efetuadas comparações entre pares de métodos, conforme segue:

- Comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₂, MM-FT₃ e MM-FT₄ para investigar a influência da ordenação inicial no resultado da programação; e
- Comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₃, MM-FT₂ e MM-FT₄ para investigar a influência da programação estágio a estágio e da programação tarefa a tarefa.

Em função dos resultados obtidos nas comparações acima citadas, duas comparações adicionais foram realizadas:

- Comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₄ com o objetivo de consubstanciar os resultados obtidos nas comparações anteriores;
- Comparação dos métodos MM-FT₂ e MM-FT₃ com o objetivo de avaliar as influências relativas da programação estágio a estágio e da ordenação inicial TSPT.

5.1 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO

5.1.1 Relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*

Com base no trabalho de (FUCHIGAMI, 2005), foram definidas seis relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* das tarefas.

Relação I: $O(p_i)/O(s_{ij}) = 1$

Os tempos de processamento e de *setup* possuem a mesma ordem de grandeza, ou seja, foram definidos no mesmo intervalo. (SIMONS JR., 1992; RIOS-MERCADOS e BARD, 1998; e RAJENDRAN e ZIEGLER, 2003) utilizaram intervalos comuns de tempos de processamento e de *setup*, com valor de 1 a 99, definindo os valores da relação I, conforme ilustra a figura 5.1.

FIGURA 5.1 – RELAÇÃO I

Relação II: $O(p_i)/O(s_{ij}) < 1$

As ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* não são comuns, ou seja, os tempos foram definidos em intervalos distintos. Nesta relação, os valores dos tempos de processamento são sempre menores do que os tempos de *setup*. Com base em (DAS, GUPTA e KHUMAWALA, 1995), valores dos tempos de processamento menores (1 a 99) do

que os tempos de *setup* (100 a 120) são utilizados na relação II, que pode ser visualizada na figura 5.2.

FIGURA 5.2 – RELAÇÃO II

Relações III: $O(p_i)/O(s_{ij}) > 1$

As ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* não são comuns e os tempos de *setup* são menores do que os tempos de processamento. De acordo com (RIOS-MERCADO e BARD, 1999) valores dos tempos de processamento maiores (1 a 99) do que os tempos de *setup* (1 a 9) foram definidos na relação III, ilustrada na figura 5.3.

FIGURA 5.3 – RELAÇÃO III

Relações IV: $O(p_i)/O(s_{ij}) > 1$

Semelhante à relação III, as ordens de grandeza não são comuns e os tempos de *setup* são menores do que os tempos de processamento. (RIOS-MERCADO e BARD, 1999) utilizaram intervalos de tempos de processamento (50 a 99) e de *setup* (1 a 49) definindo os valores da relação IV, conforme ilustra a figura 5.4.

FIGURA 5.4 – RELAÇÃO IV

Relação V: $O(pi)/O(sij) \geq 1$

As ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* não são iguais, porém existem intervalos comuns. Nesta relação, o intervalo dos tempos de *setup* é maior, mas contém todos os valores dos tempos de processamento. Com base em (FUCHIGAMI, 2005) intervalos de tempos de processamento menores (1 a 99) do que os tempos de *setup* (1 a 120) são considerados na relação V, ilustrada na figura 5.5.

FIGURA 5.5 – RELAÇÃO V

Relação VI: $O(pi)/O(sij) \geq 1$

Com base na relação V, as ordens de grandeza também não são iguais, porém o intervalo dos tempos de processamento é maior e contém todos os valores do intervalo dos tempos de *setup*. De acordo com (WENG, LU e REN, 2001), intervalos de tempos de processamento maiores (1 a 99) do que os tempos de *setup* (1 a 20) foram utilizados na relação VI, como visto na figura 5.6.

FIGURA 5.6 – RELAÇÃO VI

A geração dos tempos de processamento e de *setup* dentro de cada intervalo foi feita de forma aleatória com distribuição uniforme. Os limites dos intervalos das relações foram

definidos e padronizados com base em trabalhos reportados na literatura, conforme mencionado anteriormente.

5.1.2 Definição da amostragem

Na experimentação computacional foram testados 14.400 problemas, divididos em 144 classes definidas pelo número de tarefas (n), número de estágios de produção (K) e pelas relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* ($O(pi)/O(sij)$).

Para cada classe, foram gerados aleatoriamente 100 problemas com $n \in \{10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120\}$, $K \in \{4, 7\}$ e uma das seis relações de grandeza entre os tempos. Assim, 12 (alternativas do número de tarefas) $\times$ 2 (alternativas do número de estágios) $\times$ 6 (relações $O(pi)/O(sij)$) = 144 classes (Apêndice A). A quantidade de problemas gerados em cada classe objetiva reduzir o erro amostral.

Em cada estágio, o número de máquinas paralelas idênticas varia de 2 a 5, ou seja, $M_k \in \{2, 3, 4, 5\}$. Como M_k é gerado aleatoriamente com distribuição uniforme dentro deste conjunto, sua variação não altera a quantidade de classes. O número de estágios e o número de máquinas paralelas idênticas em cada estágio definem o *lay-out* do sistema de produção.

5.1.3 Obtenção dos Dados

Para a realização dos testes, foram utilizados dados (tempos de processamento e de *setup*) gerados aleatoriamente, através de um *software* construído especificamente para esta finalidade, denominado “Gerador de Arquivos”. O código fonte encontra-se no Apêndice B e a interface deste *software* pode ser visualizada na figura 5.7.

Gerador de arquivos

Parâmetros de dados

Tempo de Setup

Início do Intervalo

Término do Intervalo

Tempo de Processamento

Início do Intervalo

Término do Intervalo

Nº Estagios

Nº Tarefas

Nº Problemas

Gerar Arquivo

FIGURA 5.7 – INTERFACE DO “GERADOR DE ARQUIVOS”

No campo tempo de *setup* e tempo de processamento são inseridos os valores referentes as seis relações definidas anteriormente, no campo número de estágios são definidos na geração dos problemas valores para 4 e 7 estágios e no campo número de tarefas são definidos os valores para $n = \{10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120\}$.

O formato do arquivo de dados dos problemas gerados para a realização da experimentação computacional pode ser visualizado a seguir na figura 5.8.

FIGURA 5.8 – FORMATO DO ARQUIVO DE DADOS

Na primeira linha o arquivo informa o número de estágios para o problema, a segunda linha contém o número de tarefas e a terceira o número de problemas a ser rodado por classe. Na sequência, o arquivo informa o número de máquinas por estágio, e por fim as matrizes

com os tempos de *setup* para cada estágio e a matriz com os tempos de processamento das tarefas.

A linguagem de programação computacional a ser utilizada é o *Delphi* da *Borland*, versão 7.0, e o sistema operacional é o *Windows XP* da *Microsoft*. As configurações da máquina são as seguintes: processador *AMD Athlon 64*, com 3,2 GHz e 512 MB de memória RAM.

5.1.4 Processo de Análise

Os resultados obtidos na experimentação computacional foram analisados e discutidos com base na porcentagem de sucesso, desvio relativo, desvio-padrão do desvio relativo e tempo médio de computação.

A porcentagem de sucesso é calculada pelo número de vezes que o método forneceu a melhor solução (empatando ou não) dividido pelo número de problemas resolvidos.

O desvio relativo mede a variação correspondente à melhor solução obtida pelos métodos. Quando o desvio relativo é igual a zero para um determinado método, significa que o tempo médio de fluxo da programação é o menor, ou seja, o algoritmo apresentou a melhor programação. Entretanto, mais de um método pode fornecer a melhor programação (empates).

Desta forma, o melhor algoritmo é aquele que apresenta o menor valor de desvio relativo médio (a média aritmética dos desvios relativos) para uma determinada classe de problemas. O desvio relativo (DR_h) de um método h para um determinado problema será calculado utilizando a expressão a seguir:

$$DR_h = \frac{D_h - D^*}{D^*} \quad (5.1.)$$

onde D_h é o tempo médio de fluxo obtido pelo método h e D^* é o melhor tempo médio de fluxo obtido pelos quatro métodos.

O desvio-padrão de uma amostra mede o grau de dispersão dos elementos em torno da média. Neste trabalho, o desvio-padrão do desvio relativo é o valor da variação dos desvios relativos de uma classe de problemas em torno do desvio relativo médio. Quanto menor for o valor do desvio-padrão, melhor é o método de solução quando comparado com um outro, no caso em que ambos apresentarem desvios relativos médios com diferença não significativa. O desvio-padrão (S_h) do desvio relativo de um método (h) será calculado da seguinte forma:

$$S_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L (DR_{hi} - DRM_h)^2}{L-1}} \quad (5.2)$$

onde L é o número de problemas da classe, DR_{hi} é o desvio relativo da solução do problema i e DRM_h é o desvio relativo médio da classe de problemas.

O tempo médio de computação de um método é calculado pela soma dos tempos de computação de cada problema dividida pelo número total de problemas resolvidos (média aritmética dos tempos de computação). Na experimentação computacional, o tempo médio de computação foi medido em milissegundos (ms).

5.1.5 Resultados Obtidos

Para resolver os problemas gerados foi desenvolvido um software “*MM-FlowTime*”, cuja interface é apresentada na figura 5.9. Este *software* resolve os problemas de uma classe utilizando cada um dos quatro métodos separadamente – pelos botões MM-FT₁, MM-FT₂, MM-FT₃ e MM-FT₄.

FIGURA 5.9 – INTERFACE DO SOFTWARE “*MM-FlowTime*”

O *software* gera um arquivo de saída em formato.txt, com o tempo médio de fluxo para cada problema e o tempo total de computação para a classe de problemas testados. A figura 5.10 ilustra um arquivo de saída com as informações fornecidas pelo *software* *MM-FlowTime*, onde cada linha apresenta o tempo médio de fluxo para os problemas rodados de

classe. A última linha do arquivo contém o tempo de computação (ms) para todos os problemas da classe.

```

TF classe 1 - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
algoritmo 1
360,8
316,3
307,7
412,6
376,9
430,3
404,1
391,1
347,1
361,9
379
413
383,2
403
306
389,8
401
385,1
441,1
351,7
390,3
476,1
369,3
364,4
419,1
403,2
422,1
348,9
300,6
450,3
433
478,4
Tempo final algoritmo 1 :31
  
```

FIGURA 5.10 – ARQUIVO DE SAÍDA O TEMPO MÉDIO DE FLUXO

Os dados gerados pelo *software* e armazenados no arquivo txt, foram transferidos para uma planilha eletrônica (*Microsoft Excel*), onde foram realizadas as comparações e análises. O Apêndice C apresenta um modelo da planilha estruturada das comparações e análises que foram realizadas para todas as 144 classes de problemas.

As tabelas 5.1 a 5.7 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₂, quanto às porcentagens de sucesso das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. As porcentagens de sucesso são apresentadas em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.1 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	64	36	60	40
20	64	36	69	31
30	65	35	65	35
40	63	37	74	26
50	69	31	72	28
60	68	32	75	25
70	62	38	70	30
80	79	21	67	33
90	79	21	71	29
100	76	24	86	14
110	72	28	65	35
120	67	33	81	19
% média	69,00	31,00	71,25	28,75

TABELA 5.2 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	69	31	59	41
20	79	21	71	29
30	69	31	62	38
40	78	22	78	22
50	72	28	79	21
60	77	23	72	28
70	78	22	80	20
80	77	23	80	20
90	86	14	82	18
100	84	16	77	23
110	86	14	79	21
120	86	14	78	22
% média	78,42	21,58	74,75	25,25

TABELA 5.3 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	65	35	64	36
20	69	31	74	26
30	67	33	63	37
40	60	40	73	27
50	67	33	75	25
60	70	30	75	25
70	82	18	67	33
80	68	32	70	30
90	75	25	73	27
100	78	22	68	32
110	76	24	68	32
120	74	26	65	35
% média	70,92	29,08	69,58	30,42

TABELA 5.4 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	65	35	53	47
20	63	37	67	33
30	64	36	72	28
40	69	31	66	34
50	62	38	69	31
60	70	30	77	23
70	75	25	73	27
80	80	20	73	27
90	74	26	68	32
100	80	20	78	22
110	69	31	80	20
120	77	23	76	24
% média	70,66	29,33	71	29

TABELA 5.5 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	63	37	64	36
20	61	39	52	48
30	71	29	69	31
40	63	37	71	29
50	70	30	64	36
60	63	37	68	32
70	79	21	65	35
80	72	28	70	30
90	71	29	76	24
100	76	24	66	34
110	84	16	72	28
120	82	18	72	28
% média	71,25	28,75	67,42	32,58

TABELA 5.6 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	70	30	59	41
20	67	33	65	35
30	73	27	73	27
40	77	23	69	31
50	73	27	67	33
60	75	25	79	21
70	74	26	76	24
80	77	23	79	21
90	80	20	80	20
100	80	20	82	18
110	87	13	71	29
120	78	22	86	14
% média	75,92	24,08	73,84	26,16

TABELA 5.7 – PORCENTAGEM DE SUCESSO AGREGANDO AS RELAÇÕES – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	66	34	59,83	40,16
20	67,16	32,83	66,33	33,66
30	68,16	31,83	67,33	32,66
40	68,33	31,66	71,83	28,16
50	68,83	31,166	71	29
60	70,5	29,5	74,33	25,66
70	75	25	71,83	28,16
80	75,5	24,5	73,16	26,83
90	77,5	22,5	75	25
100	79	21	76,16	23,83
110	79	21	72,5	27,5
120	77,33	22,66	76,33	23,66
% média	72,69	27,31	71,31	28,69

A tabela 5.8 contém o total geral das porcentagens de sucesso, agregando as relações ($O(pi)/O(sij)$) e o número de tarefas, para os algoritmos MM-FT₁ e MM-FT₂.

TABELA 5.8 – TOTAL GERAL DE PORCENTAGENS DE SUCESSO - MM-FT₁ E MM-FT₂

	1	2
Total de Problemas	10368	4032
% Total Média	72,00	28,00

As tabelas 5.9 a 5.15 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ para as porcentagens de sucesso das seis relações de ordens de grandeza

dos tempos de processamento e de *setup*. As porcentagens de sucesso são apresentadas em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.9 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO I – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	42	58	64	36
20	39	61	75	25
30	94	6	97	3
40	89	11	61	39
50	81	19	43	57
60	44	56	31	69
70	98	2	59	41
80	72	28	41	59
90	87	13	47	53
100	80	20	87	13
110	99	1	49	51
120	62	38	82	18
% média	73,92	26,08	61,34	38,66

TABELA 5.10 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO II – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	81	19	53	47
20	81	19	64	36
30	45	55	90	10
40	95	5	89	11
50	54	46	71	29
60	82	18	53	47
70	95	5	15	85
80	98	2	77	23
90	91	9	86	14
100	90	10	46	54
110	84	16	71	29
120	87	13	100	0
% média	81	19	53	47

TABELA 5.11 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO III – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	71	29	26	74
20	50	50	56	44
30	85	15	59	41
40	27	73	99	1
50	80	20	86	14
60	80	20	6	94
70	76	24	55	45
80	64	36	51	49
90	80	20	98	2
100	92	8	70	30
110	1	99	31	69
120	58	42	32	68
% média	63,67	36,33	55,75	44,25

TABELA 5.12 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	56	44	33	67
20	52	48	21	79
30	61	39	93	7
40	95	5	28	72
50	99	1	67	33
60	22	78	46	54
70	71	29	73	27
80	56	44	22	78
90	97	3	57	43
100	55	45	57	43
110	85	15	63	37
120	7	93	83	17
% média	63	37	53,58	46,42

TABELA 5.13 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO V – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	99	1	59	41
20	72	28	84	16
30	63	37	42	58
40	77	23	60	40
50	67	33	57	43
60	38	62	57	43
70	80	20	60	40
80	35	65	91	9
90	56	44	59	41
100	66	34	84	16
110	83	17	66	34
120	92	8	86	14
% média	69	31	67,08	32,92

TABELA 5.14 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	82	18	40	60
20	90	10	68	32
30	69	31	8	92
40	96	4	76	24
50	40	60	11	89
60	80	20	93	7
70	62	38	77	23
80	89	11	22	78
90	81	19	94	6
100	58	42	64	36
110	88	12	85	15
120	29	71	88	12
% média	72	28	60,5	39,5

TABELA 5.15 – PORCENTAGEM DE SUCESSO AGREGANDO AS RELAÇÕES – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	71,83	28,16	45,83	54,16
20	64	36	61,33	38,66
30	69,5	30,5	64,83	35,16
40	79,83	20,16	68,83	31,16
50	70,16	29,83	55,83	44,16
60	57,66	42,33	47,66	52,33
70	80,33	19,66	56,5	43,5
80	69	31	50,66	49,33
90	82	18	73,5	26,5
100	73,5	26,5	68	32
110	73,33	26,66	60,83	39,16
120	55,83	44,16	78,5	21,5
% média	70,58	29,42	61,02	38,98

A tabela 5.16 contém o total geral das porcentagens de sucesso, agregando as relações ($O(pi)/O(sij)$) e o número de tarefas, para os algoritmos MM-FT₃ e MM-FT₄.

TABELA 5.16 – TOTAL GERAL DE PORCENTAGENS DE SUCESSO - MM-FT₃ E MM-FT₄

	3	4
Total de Problemas	9476	4924
% Total Média	65,80	34,20

As tabelas 5.17 a 5.23 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₃ para as porcentagens de sucesso das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. As porcentagens de sucesso são apresentadas em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.17 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	99	1	99	1
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	99	1
80	100	0	99	1
90	99	1	99	1
100	100	0	99	1
110	98	2	99	1
120	98	2	100	0
% média	99,50	0,50	99,50	0,50

TABELA 5.18 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	98	2	99	1
20	97	3	100	0
30	100	0	99	1
40	98	2	100	0
50	100	0	100	0
60	99	1	100	0
70	100	0	99	1
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	99	1	100	0
% média	99,25	0,75	99,75	0,25

TABELA 5.19 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	100	0	100	0
20	99	1	100	0
30	100	0	99	1
40	100	0	100	0
50	98	2	100	0
60	99	1	99	1
70	100	0	100	0
80	99	1	100	0
90	100	0	99	1
100	100	0	99	1
110	100	0	99	1
120	97	3	100	0
% média	99,34	0,66	99,58	0,42

TABELA 5.20 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	96	4	99	1
20	100	0	100	0
30	99	1	99	1
40	99	1	100	0
50	100	0	100	0
60	99	1	99	1
70	100	0	99	1
80	99	1	99	1
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	99	1	99	1
120	100	0	100	0
% média	99,25	0,75	99,5	0,5

TABELA 5.21 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	100	0	99	1
20	99	1	99	1
30	99	1	99	1
40	98	2	99	1
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	99	1	98	2
80	100	0	99	1
90	98	2	100	0
100	99	1	99	1
110	100	0	99	1
120	100	0	100	0
% média	99,34	0,66	99,25	0,75

TABELA 5.22 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	99	1	99	1
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	99	1	100	0
120	100	0	100	0
% média	99,84	0,16	99,92	0,08

TABELA 5.23 – PORCENTAGEM DE SUCESSO AGREGANDO AS RELAÇÕES – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	98,66	1,33	99,16	0,83
20	99,16	0,83	99,83	0,16
30	99,66	0,33	99,33	0,66
40	99,16	0,83	99,83	0,16
50	99,66	0,33	100	0
60	99,5	0,5	99,66	0,33
70	99,83	0,16	99,16	0,83
80	99,66	0,33	99,5	0,5
90	99,5	0,5	99,66	0,33
100	99,83	0,16	99,5	0,5
110	99,33	0,66	99,33	0,66
120	99	1	100	0
% média	99,42	0,58	99,58	0,42

A tabela 5.24 contém o total geral das porcentagens de sucesso, agregando as relações ($O(pi)/O(sij)$) e o número de tarefas, para os algoritmos MM-FT₁ e MM-FT₃.

TABELA 4.24 – TOTAL GERAL DE PORCENTAGENS DE SUCESSO - MM-FT₁ E MM-FT₃

	1	3
Total de Problemas	14328	72
% Total Média	99,5	0,5

As tabelas 5.25 a 5.31 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₂ e MM-FT₄ para as porcentagens de sucesso das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. As porcentagens de sucesso são apresentadas em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.25 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO I – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	100	0	100	0
20	99	1	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	99	1
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	99	1	100	0
80	99	1	100	0
90	99	1	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	99	1
120	100	0	100	0
% média	99,67	0,33	99,84	0,16

TABELA 5.26 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO II – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	100	0	99	1
20	98	2	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	99	1
80	100	0	100	0
90	99	1	99	1
100	100	0	99	1
110	100	0	100	0
120	98	2	100	0
% média	99,58	0,42	99,67	0,33

TABELA 5.27 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO III – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	99	1	100	0
20	100	0	99	1
30	100	0	99	1
40	99	1	100	0
50	100	0	99	1
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	99	1	99	1
90	100	0	98	2
100	100	0	100	0
110	99	1	99	1
120	98	2	100	0
% média	99,5	0,5	99,42	0,58

TABELA 5.28 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	83	17	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	99	1
50	99	1	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	99	1	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	98,42	1,58	99,92	0,08

TABELA 5.29 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO V – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	100	0	100	0
20	99	1	100	0
30	99	1	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	99	1
70	99	1	100	0
80	100	0	99	1
90	99	1	100	0
100	100	0	99	1
110	100	0	100	0
120	100	0	99	1
% média	99,67	0,33	99,67	0,33

TABELA 5.30 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	100	0	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	99	1	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	99	1
90	99	1	99	1
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	99,84	0,16	99,84	0,16

TABELA 5.31 – PORCENTAGEM DE SUCESSO AGREGANDO AS RELAÇÕES – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	97	3	99,83	0,16
20	99,33	0,66	99,83	0,16
30	99,83	0,16	99,83	0,16
40	99,83	0,16	99,66	0,33
50	99,83	0,16	99,83	0,16
60	99,83	0,16	99,83	0,16
70	99,66	0,33	99,83	0,16
80	99,66	0,33	99,5	0,50
90	99,16	0,83	99,33	0,66
100	100	0	99,66	0,33
110	99,83	0,16	99,66	0,33
120	99,33	0,66	99,83	0,16
% média	99,45	0,55	99,72	0,28

A tabela 5.32 contém o total geral das porcentagens de sucesso, agregando as relações $(O(pi)/O(sij))$ e o número de tarefas, para os algoritmos MM-FT₂ e MM-FT₄.

TABELA 5.32 – TOTAL GERAL DE PORCENTAGENS DE SUCESSO - MM-FT₂ E MM-FT₄

	2	4
Total de Problemas	14340	60
% Total Média	99,58	0,42

As tabelas 5.33 a 5.39 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₄ para as porcentagens de sucesso das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. As porcentagens de sucesso são apresentadas em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.33 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	100	0	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	100	0	100	0

TABELA 5.34 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₁

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	100	0	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	100	0	100	0

TABELA 5.35 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	100	0	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	100	0	100	0

TABELA 5.36 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	96	4	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	99,67	0,33	100	0

TABELA 5.37 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	100	0	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	100	0	100	0

TABELA 5.38 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	100	0	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	100	0	100	0

TABELA 5.39 – PORCENTAGEM DE SUCESSO AGREGANDO AS RELAÇÕES – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	99,33	0,67	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
40	100	0	100	0
50	100	0	100	0
60	100	0	100	0
70	100	0	100	0
80	100	0	100	0
90	100	0	100	0
100	100	0	100	0
110	100	0	100	0
120	100	0	100	0
% média	99,95	0,05	100	0

A tabela 5.40 contém o total geral das porcentagens de sucesso, agregando as relações $(O(pi)/O(sij))$ e o número de tarefas, para os algoritmos MM-FT₁ e MM-FT₄.

TABELA 5.40 – TOTAL GERAL DE PORCENTAGENS DE SUCESSO - MM-FT ₁ E MM-FT ₄		
	1	4
Total de Problemas	14396	4
% Total Média	99,97	0,03

As tabelas 5.41 a 5.47 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₂ e MM-FT₃ para as porcentagens de sucesso das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. As porcentagens de sucesso são apresentadas em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.41 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO I – MM-FT ₂ E MM-FT ₃				
n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	97	3	99	1
20	99	1	97	3
30	95	5	99	1
40	99	1	99	1
50	95	5	99	1
60	98	2	98	2
70	98	2	98	2
80	98	2	99	1
90	99	1	96	4
100	98	2	97	3
110	91	9	99	1
120	98	2	98	2
% média	97,08	2,92	98,16	1,84

TABELA 5.42 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO II – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	92	8	99	1
20	95	5	99	1
30	99	1	99	1
40	93	7	96	4
50	99	1	97	3
60	99	1	99	1
70	93	7	99	1
80	98	2	98	2
90	95	5	98	2
100	94	6	99	1
110	86	14	95	5
120	92	8	99	1
% média	94,58	5,42	98,08	1,92

TABELA 5.43 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO III – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	97	3	99	1
20	97	3	96	4
30	93	7	99	1
40	99	1	99	1
50	95	5	98	2
60	95	5	99	1
70	97	3	98	2
80	99	1	98	2
90	98	2	96	4
100	96	4	99	1
110	99	1	97	3
120	94	6	98	2
% média	96,58	3,42	98	2

TABELA 5.44 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	94	6	99	1
20	97	3	99	1
30	99	1	99	1
40	98	2	98	2
50	99	1	95	5
60	98	2	98	2
70	96	4	99	1
80	99	1	99	1
90	99	1	97	3
100	94	6	98	2
110	99	1	98	2
120	99	1	99	1
% média	97,58	2,42	98,16	1,84

TABELA 5.45 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO V – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	97	3	96	4
20	98	2	99	1
30	98	2	98	2
40	91	9	98	2
50	99	1	99	1
60	98	2	94	6
70	96	4	97	3
80	98	2	96	4
90	99	1	98	2
100	96	4	97	3
110	95	5	97	3
120	91	9	97	3
% média	96,33	3,67	97,16	2,84

TABELA 5.46 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	98	2	99	1
20	97	3	98	2
30	97	3	99	1
40	94	6	97	3
50	98	2	99	1
60	96	4	96	4
70	99	1	96	4
80	96	4	99	1
90	97	3	99	1
100	97	3	99	1
110	96	4	98	2
120	99	1	97	3
% média	97	3	98	2

TABELA 5.47 – PORCENTAGEM DE SUCESSO AGREGANDO AS RELAÇÕES – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	95,83	4,16	98,5	1,5
20	97,5	2,5	98	2
30	96,83	3,16	98,83	1,16
40	95,66	4,33	97,83	2,16
50	97,5	2,5	97,83	2,16
60	97,33	2,66	97,33	2,66
70	96,5	3,5	97,83	2,16
80	98	2	98,16	1,83
90	97,83	2,16	97,33	2,6
100	95,83	4,16	98,16	1,83
110	94,33	5,66	97,33	2,66
120	95,5	5,83	98	2
% média	96,55	3,55	97,93	2,07

A tabela 5.48 contém o total geral das porcentagens de sucesso, agregando as relações $(O(pi)/O(sij))$ e o número de tarefas, para os algoritmos MM-FT₂ e MM-FT₃.

TABELA 5.48 – TOTAL GERAL DE PORCENTAGENS DE SUCESSO - MM-FT₂ E MM-FT₃

	2	3
Total de Problemas	14002	398
% Total Média	97,23	2,77

As tabelas 5.49 a 5.54 referem-se aos resultados obtidos na comparação geral entre os quatro métodos, quanto às porcentagens de sucesso das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. As porcentagens de sucesso são apresentadas em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.49 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO I

n	k = 4				k = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	63	36	1	0	59	40	1	0
20	64	36	0	0	69	31	0	0
30	65	35	0	0	65	35	0	0
40	63	37	0	0	74	26	0	0
50	69	31	0	0	72	28	0	0
60	68	32	0	0	75	25	0	0
70	68	32	0	0	67	33	0	0
80	79	21	0	0	67	33	0	0
90	78	21	1	0	70	29	1	0
100	76	24	0	0	85	14	1	0
110	70	28	2	0	64	35	1	0
120	67	33	0	0	81	19	0	0
% média	69,17	30,50	0,33	0	70,67	29	0,33	0

TABELA 5.50 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO II

n	k = 4				k = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	68	31	1	0	59	41	0	0
20	76	21	3	0	71	29	0	0
30	69	31	0	0	61	38	1	0
40	76	22	2	0	78	22	0	0
50	72	28	0	0	79	21	0	0
60	76	23	1	0	72	28	0	0
70	78	22	0	0	79	20	1	0
80	77	23	0	0	80	20	0	0
90	86	14	0	0	82	18	0	0
100	84	16	0	0	77	23	0	0
110	86	14	0	0	79	21	0	0
120	85	14	1	0	78	22	0	0
% média	77,75	21,58	0,67	0	74,58	25,25	0,17	0

TABELA 5.51 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO III

n	k = 4				k = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	65	35	0	0	64	36	0	0
20	68	31	1	0	74	26	0	0
30	67	33	0	0	62	37	1	0
40	60	40	0	0	73	27	0	0
50	65	33	2	0	75	25	0	0
60	69	30	1	0	74	25	1	0
70	82	18	0	0	67	33	0	0
80	67	33	0	0	70	30	0	0
90	75	25	0	0	72	27	1	0
100	78	22	0	0	67	32	1	0
110	76	24	0	0	67	32	1	0
120	71	26	3	0	65	35	0	0
% média	70,25	29,17	0,58	0	69,17	30,41	0,41	0

TABELA 5.52 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO IV

n	k = 4				k = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	64	35	1	0	52	47	1	0
20	63	37	0	0	67	33	0	0
30	64	36	0	0	71	28	1	0
40	68	31	1	0	66	34	0	0
50	62	38	0	0	69	31	0	0
60	69	30	1	0	76	23	1	0
70	75	25	0	0	73	27	0	0
80	80	20	0	0	72	27	1	0
90	73	26	1	0	67	32	1	0
100	80	20	0	0	78	22	0	0
110	68	31	1	0	79	20	1	0
120	77	23	0	0	76	24	0	0
% média	70,25	29,34	0,41	0	70,5	29	0,5	0

TABELA 5.53 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO V

n	k = 4				k = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	63	37	0	0	63	36	1	0
20	60	39	1	0	51	48	1	0
30	70	29	1	0	68	31	1	0
40	61	37	2	0	70	29	1	0
50	70	30	0	0	64	36	0	0
60	63	37	0	0	68	32	0	0
70	77	21	1	1	63	35	2	0
80	72	28	0	0	69	30	1	0
90	70	29	1	0	76	24	0	0
100	75	24	1	0	65	34	1	0
110	84	16	0	0	71	28	1	0
120	82	18	0	0	72	28	0	0
% média	70,58	28,75	0,58	0,084	66,67	32,58	0,75	0

TABELA 5.54 – PORCENTAGEM DE SUCESSO DA RELAÇÃO VI

n	k = 4				k = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	69	30	1	0	58	41	1	0
20	67	33	0	0	65	35	0	0
30	73	27	0	0	73	27	0	0
40	77	23	0	0	69	31	0	0
50	73	27	0	0	67	33	0	0
60	75	25	0	0	79	21	0	0
70	74	26	0	0	76	24	0	0
80	77	23	0	0	79	21	0	0
90	80	20	0	0	80	20	0	0
100	80	20	0	0	82	18	0	0
110	86	13	1	0	71	29	0	0
120	78	22	0	0	86	14	0	0
% média	75,75	24,08	0,17	0	73,75	26,17	0,08	0

A tabela 5.55 apresenta o resultado da porcentagem de sucesso para 4 e 7 estágios com relações ($O(pi)/O(sij)$) agregadas. A tabela 4.56 contém o total geral das porcentagens de sucesso, agregando as relações ($O(pi)/O(sij)$) e o número de tarefas.

TABELA 5.55 – PORCENTAGEM DE SUCESSO AGREGANDO AS RELAÇÕES

n	k = 4				k = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	65,33	34	0,66	0	59,16	40,16	0,66	0
20	66,33	32,83	0,83	0	66,16	33,66	0,16	0
30	68	31,83	0,16	0	66,66	32,66	0,66	0
40	67,5	31,66	0,83	0	71,66	28,16	0,16	0
50	68,5	31,16	0,33	0	71	29	0	0
60	70	29,5	0,5	0	74	25,66	0,33	0
70	75,66	24	0,16	0,16	70,83	28,66	0,5	0
80	75,33	24,66	0	0	72,83	26,83	0,33	0
90	77	22,5	0,5	0	74,5	25	0,5	0
100	78,83	21	0,16	0	75,66	23,83	0,5	0
110	78,33	21	0,66	0	71,83	27,5	0,66	0
120	76,66	22,66	0,66	0	76,33	23,66	0	0
% média	72,29	27,23	0,45	0,01	70,88	28,73	0,37	0

TABELA 5.56 – TOTAL GERAL DE PORCENTAGENS DE SUCESSO

n	1	2	3	4
Total de Problemas	10309	4030	60	1
% Total Média	71,59	27,98	0,41	0,0069

As tabelas 5.57 a 5.62 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₂ para o desvio relativo médio das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O valor do desvio relativo médio em porcentagem é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.57 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,333481405	0,3841047	0,2046334	0,2325975
20	0,21574446	0,2690009	0,2008412	0,2484312
30	0,216339257	0,2605368	0,1946786	0,2299581
40	0,26362762	0,2962643	0,1428904	0,1865396
50	0,23154724	0,2925713	0,1425299	0,179548
60	0,147643928	0,1889804	0,1376506	0,1723371
70	0,155047529	0,1924506	0,0841234	0,1141889
80	0,10320646	0,1500208	0,1157604	0,1548654
90	0,079713967	0,1213638	0,1093942	0,1378941
100	0,151975487	0,2037893	0,0696659	0,1106119
110	0,109427988	0,1467706	0,1123288	0,1412215
120	0,093401978	0,1305295	0,1216075	0,1591822
%média	0,175	0,220	0,136	0,172

TABELA 5.58 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,1806018	0,2194276	0,1564896	0,1773861
20	0,1496566	0,2017757	0,1369431	0,1714701
30	0,0827178	0,1074332	0,1135801	0,13036
40	0,0856587	0,111796	0,1131974	0,1524402
50	0,0792746	0,0962463	0,0626652	0,08398
60	0,0698686	0,0968866	0,0669257	0,086735
70	0,0816725	0,1057829	0,0647874	0,0884097
80	0,0991623	0,1237498	0,0666306	0,0923667
90	0,0595607	0,0841256	0,0558293	0,0753335
100	0,0791478	0,1031436	0,0470661	0,0639747
110	0,076645	0,1055299	0,0632194	0,0815503
120	0,0587406	0,0809482	0,049292	0,0645094
% média	0,0918922	0,1197371	0,0830522	0,1057096

TABELA 5.59 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,3083448	0,3668516	0,2591569	0,2923133
20	0,2350045	0,2856902	0,1628638	0,2017038
30	0,166047	0,2128525	0,0943839	0,1158665
40	0,1635751	0,194536	0,0767467	0,1066416
50	0,152928	0,1970407	0,133037	0,1691355
60	0,1915483	0,2318484	0,11438	0,1397959
70	0,1332342	0,1742855	0,1108125	0,1356747
80	0,1180683	0,1457762	0,0824238	0,1115668
90	0,1259689	0,1639519	0,0820252	0,1105991
100	0,2122843	0,2589349	0,1116424	0,141379
110	0,0979903	0,1307871	0,0981941	0,1234309
120	0,092176	0,1322041	0,1021833	0,1208411
% média	0,1664308	0,2078966	0,1189875	0,1474123

TABELA 5.60 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,104283239	0,1211455	0,0678386	0,0746067
20	0,106805902	0,1236827	0,0529284	0,0648253
30	0,098846665	0,108765	0,0998058	0,1183706
40	0,058050763	0,0766092	0,069246	0,0866935
50	0,073804693	0,0819333	0,0621831	0,0772394
60	0,061915937	0,0747094	0,0588059	0,0766297
70	0,047674108	0,0652887	0,032767	0,0481814
80	0,076302227	0,1029179	0,042915	0,0567867
90	0,051472701	0,0675052	0,0544666	0,0674793
100	0,044151812	0,0649439	0,0374537	0,0495925
110	0,063148525	0,0740925	0,0446544	0,063219
120	0,071397448	0,0886494	0,0579852	0,0735699
% média	0,071487835	0,0875202	0,0567541	0,0714328

TABELA 5.61 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,352215	0,3958986	0,224927	0,2733289
20	0,2577121	0,3133717	0,2393446	0,2596039
30	0,1749388	0,2172367	0,1802999	0,227314
40	0,2206364	0,2734041	0,1264516	0,1646388
50	0,2552618	0,3146192	0,1945173	0,2252082
60	0,1529823	0,1846421	0,2075547	0,2498768
70	0,1400138	0,1995643	0,1329396	0,157978
80	0,1310198	0,1744494	0,1122822	0,1511372
90	0,1712907	0,2145782	0,0941672	0,1250261
100	0,1709964	0,2202597	0,1149763	0,1411845
110	0,147648	0,2061927	0,082093	0,105187
120	0,1322154	0,1801123	0,1149403	0,1428369
% média	0,1922442	0,2411941	0,1520411	0,1852767

TABELA 5.62 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,3907343	0,4835688	0,2068695	0,227182
20	0,3548139	0,4379418	0,1862405	0,2371162
30	0,1770683	0,2399021	0,1866065	0,2326787
40	0,2219737	0,2990481	0,1396192	0,1769669
50	0,285811	0,3534095	0,1398241	0,1799835
60	0,2417813	0,3081949	0,1257642	0,1732851
70	0,1778792	0,2358974	0,1176881	0,1677538
80	0,1423682	0,2075744	0,1140134	0,1643919
90	0,2172424	0,2869513	0,0864373	0,1273365
100	0,2022586	0,2603614	0,1575367	0,2191364
110	0,1800388	0,2395355	0,1385377	0,1726487
120	0,1826989	0,2353755	0,1338842	0,1843489
% média	0,2312224	0,2989801	0,1444185	0,1885691

As tabelas 5.63 a 5.68 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ para o desvio relativo médio das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio relativo médio em porcentagem é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.63 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO I – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,804501577	0,753795	0,4018589	0,4576436
20	0,806945642	0,7569205	0,4386442	0,5037312
30	0,328839976	0,4935253	0,6931655	0,8534652
40	0,692319513	0,8407287	0,4790958	0,4985983
50	0,3710129	0,4665497	0,5601522	0,529011
60	0,560328207	0,5515022	0,4672521	0,4351839
70	0,445683831	0,6613962	0,2148219	0,224061
80	0,496443789	0,5368179	0,5110296	0,4993935
90	0,385506132	0,4567151	0,2709683	0,275283
100	0,418682491	0,4748227	0,241096	0,2941671
110	0,281130286	0,4056901	0,3949455	0,3993132
120	0,327890196	0,3446682	0,2634443	0,3048719
% média	0,493	0,562	0,411	0,440

TABELA 5.64 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO II – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,4919935	0,5793606	0,3989864	0,4006228
20	0,2933168	0,357523	0,3217472	0,3546238
30	0,4926459	0,4951587	0,4332752	0,4947856
40	0,1705704	0,2528935	0,3406012	0,4090345
50	0,3310187	0,3353787	0,1761368	0,19643
60	0,3734462	0,4142705	0,3533688	0,3614324
70	0,1608686	0,2116471	0,4323291	0,3787509
80	0,3085388	0,4080691	0,289536	0,3187542
90	0,1234231	0,15527	0,3561814	0,3925573
100	0,1599783	0,1924697	0,3380418	0,3368308
110	0,1524888	0,186165	0,1329517	0,1495372
120	0,1235405	0,1517667	0,2714787	0,3233025
% média	0,2651525	0,3116644	0,3203862	0,3430552

TABELA 5.65 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO III – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,4494205	0,6076257	0,8284956	0,7241803
20	0,5753689	0,575453	0,4306059	0,452588
30	0,3271961	0,4301076	0,5525237	0,5666665
40	0,4908491	0,4263915	0,4718677	0,6300516
50	0,2940389	0,3512252	0,1748821	0,2408558
60	0,4856144	0,5726159	0,5946948	0,5000863
70	0,3836877	0,4359874	0,4760205	0,4876381
80	0,4904267	0,5134459	0,22885	0,231713
90	0,4291011	0,4733546	0,2941866	0,3848807
100	0,5215233	0,6406502	0,3680187	0,3965165
110	0,398103	0,2618875	0,2888354	0,2639499
120	0,2771223	0,3041343	0,338431	0,3187929
% média	0,426871	0,4660732	0,4206177	0,43316

TABELA 5.66 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO IV – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,334416822	0,3265672	0,4895533	0,4268105
20	0,328358413	0,324083	0,3921403	0,3107665
30	0,414307905	0,4310763	0,3057088	0,4117521
40	0,386832449	0,4382984	0,2129631	0,1736959
50	0,251324622	0,3447189	0,095646	0,1094064
60	0,261690591	0,2356435	0,1452266	0,1545616
70	0,138135742	0,1525896	0,2282752	0,2483577
80	0,364702705	0,3837983	0,3591027	0,3246977
90	0,246577403	0,2908509	0,134405	0,141477
100	0,124383838	0,1326523	0,1023133	0,1092134
110	0,313621746	0,3570937	0,2901375	0,3159757
120	0,212736057	0,1721884	0,2167919	0,250757
% média	0,281424024	0,29913	0,2476887	0,2481226

TABELA 5.67 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO V – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,8054761	1,1895739	0,6726574	0,7130809
20	0,5973991	0,6809631	0,6541209	0,7623974
30	0,7643758	0,7817773	0,4964895	0,4766326
40	0,4642166	0,5768912	0,2827053	0,3047691
50	0,8081864	0,8545692	0,5235057	0,543864
60	0,4985498	0,4685986	0,3608473	0,3933388
70	0,476069	0,5594356	0,3372591	0,3613923
80	0,3927456	0,3719955	0,3982872	0,4899913
90	0,270558	0,2878316	0,4469008	0,4596632
100	0,4482183	0,4873032	0,2693257	0,3308478
110	0,4335128	0,5203464	0,1830665	0,2145141
120	0,2709713	0,3517357	0,2298832	0,2787719
% média	0,5191899	0,5942518	0,4045874	0,4441053

TABELA 5.68 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO VI – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,8683254	1,0501029	1,1733316	1,155867
20	0,7214429	0,9734007	0,4083293	0,4605864
30	0,6480806	0,6998899	0,6734098	0,5557498
40	0,4067046	0,5630533	0,3364675	0,3952058
50	0,8997832	0,8940328	0,3870341	0,2875559
60	0,7406727	0,8568996	0,3434932	0,430385
70	0,5777904	0,5992782	0,3921261	0,4400048
80	0,4712756	0,5705263	0,4770531	0,4289464
90	0,5556132	0,6263562	0,4404966	0,5216189
100	0,4124376	0,4315834	0,5289714	0,5622374
110	0,4066601	0,4637348	0,4275702	0,4814412
120	0,5801747	0,5478672	0,3229483	0,3773887
% média	0,6074134	0,6897271	0,4926026	0,5080823

As tabelas 5.69 a 5.74 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₃ para o desvio relativo médio das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio relativo médio em porcentagem é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.69 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,288233533	0,9029508	0,2046334	0,6617875
20	0,21574446	0,9556317	0,2008412	0,6548438
30	0,216339257	0,5152489	0,1946786	0,8454436
40	0,26362762	0,7051691	0,1428904	0,7335023
50	0,23154724	0,5197714	0,1368387	0,7105803
60	0,147643928	0,7016656	0,1376506	0,6790998
70	0,155047529	0,5858799	0,0841234	0,3079314
80	0,10320646	0,5014438	0,1107883	0,5521703
90	0,083297986	0,3855061	0,1093942	0,296076
100	0,151975487	0,5038358	0,0696659	0,252917
110	0,1309211	0,2811303	0,1123288	0,4777913
120	0,093401978	0,3525591	0,1216075	0,3710089
% média	0,173	0,576	0,135	0,545

TABELA 5.70 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,1806018	0,5679434	0,1564896	0,503916
20	0,1496566	0,3732361	0,1369431	0,37875
30	0,0827178	0,5113144	0,1135801	0,5563555
40	0,0856587	0,1933008	0,0945548	0,4232311
50	0,0669953	0,3609885	0,0626652	0,1917367
60	0,0698686	0,4366777	0,0669257	0,3549521
70	0,0816725	0,1741286	0,0691546	0,4323291
80	0,0991623	0,3209805	0,0666306	0,2917467
90	0,0595607	0,1431923	0,0558293	0,3597853
100	0,0791478	0,1658597	0,0470661	0,3501204
110	0,076645	0,1567393	0,0632194	0,1442911
120	0,0591865	0,1235405	0,049292	0,2922375
% média	0,0909061	0,2939918	0,0818625	0,356621

TABELA 5.71 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,3083448	0,7697569	0,1867286	1,0084898
20	0,2350045	0,8196908	0,1628638	0,5381411
30	0,166047	0,4868883	0,0943839	0,5586509
40	0,1635751	0,8206393	0,0767467	0,5348745
50	0,152928	0,3929394	0,133037	0,3348957
60	0,1915483	0,5392859	0,11438	0,6544772
70	0,1332342	0,4524859	0,1108125	0,4945269
80	0,1180683	0,5747075	0,0824238	0,2870184
90	0,1259689	0,4649373	0,0820252	0,3088846
100	0,2122843	0,5667792	0,1116424	0,4590312
110	0,0979903	0,5366377	0,0981941	0,3753275
120	0,0943263	0,2771223	0,1021833	0,4273224
% média	0,16661	0,5584892	0,1129518	0,49847

TABELA 5.72 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,104283239	0,3948094	0,0678386	0,5797508
20	0,106805902	0,3954254	0,0509816	0,4181019
30	0,098846665	0,5570017	0,0998058	0,383935
40	0,061398598	0,3868324	0,069246	0,2305974
50	0,073804693	0,3166358	0,0621831	0,1585722
60	0,051262476	0,3213344	0,0588059	0,1905178
70	0,047674108	0,1458589	0,032767	0,2603058
80	0,076302227	0,441123	0,042915	0,3658136
90	0,051472701	0,2754221	0,0544666	0,158174
100	0,044151812	0,1510432	0,0374537	0,137894
110	0,063148525	0,340438	0,0446544	0,3155209
120	0,071397448	0,292846	0,0579852	0,2614079
% média	0,070879033	0,3348975	0,0565919	0,2883826

TABELA 5.73 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,352215	0,9768682	0,224927	0,7400376
20	0,2577121	0,6944678	0,2393446	0,9130199
30	0,1749388	0,8751589	0,1802999	0,5329032
40	0,2206364	0,4938556	0,1264516	0,4053934
50	0,2552618	0,9264828	0,1945173	0,7466558
60	0,1188352	0,6243058	0,2075547	0,4883792
70	0,226888	0,476069	0,1329396	0,3667337
80	0,1310198	0,542555	0,1169787	0,3982872
90	0,1712907	0,4754091	0,0941672	0,539138
100	0,1709964	0,510594	0,1149763	0,389094
110	0,147648	0,4732245	0,082093	0,251353
120	0,1322154	0,2939621	0,1149403	0,3452996
% média	0,1966381	0,6135794	0,1524325	0,5096912

TABELA 5.74 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,3907343	1,2073854	0,2068695	1,3121436
20	0,3548139	1,1177463	0,1862405	0,6786506
30	0,1770683	0,7309166	0,1866065	0,8842026
40	0,2219737	0,5238297	0,1396192	0,4338052
50	0,285811	0,9450416	0,1398241	0,7259526
60	0,2417813	0,8360052	0,1257642	0,3790512
70	0,1778792	0,6672179	0,1176881	0,4406263
80	0,1423682	0,4851729	0,1140134	0,6661454
90	0,2172424	0,612361	0,0864373	0,4818867
100	0,2022586	0,5903848	0,1575367	0,6121377
110	0,1800388	0,425695	0,1385377	0,4352278
120	0,1826989	0,70548	0,1338842	0,3736175
% média	0,2312224	0,7372697	0,1444185	0,6186206

As tabelas 5.75 a 5.80 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₂ e MM-FT₄ para o desvio relativo médio das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio relativo médio em porcentagem é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.75 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO I – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,384104683	0,9144387	0,1958828	0,6764472
20	0,194690741	0,7901427	0,1576265	0,6039015
30	0,172369196	0,5839182	0,1954921	0,9635511
40	0,166717766	0,669349	0,1823886	0,7502147
50	0,166842829	0,4675447	0,179548	0,6823317
60	0,125655327	0,601922	0,1483515	0,6087986
70	0,142237403	0,7457666	0,1050671	0,3070894
80	0,115350829	0,4954672	0,1548654	0,5471118
90	0,084710303	0,4044383	0,0760344	0,2297777
100	0,12256414	0,4578596	0,0756449	0,2653593
110	0,090560825	0,3113835	0,1061801	0,4369005
120	0,10783407	0,342153	0,1038139	0,3483301
% média	0,156	0,565	0,140	0,535

TABELA 5.76 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO II – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,1676495	0,5892829	0,1572694	0,4799494
20	0,1912928	0,4288367	0,1179511	0,3484891
30	0,1002435	0,5040303	0,0744211	0,5428221
40	0,086628	0,2483098	0,1524402	0,5213604
50	0,0962463	0,3811606	0,0423155	0,1657025
60	0,0791734	0,4554913	0,0508242	0,3179845
70	0,0476327	0,161042	0,0502805	0,3250159
80	0,0639412	0,3458039	0,0437009	0,2621626
90	0,065391	0,1552843	0,0387516	0,3487584
100	0,0412305	0,1312501	0,0377737	0,3156811
110	0,0484693	0,1290914	0,0393041	0,1156913
120	0,0337176	0,1009781	0,0346957	0,3072406
% média	0,0851347	0,3025468	0,0699773	0,3375715

TABELA 5.77 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO III – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,2492479	0,794037	0,2923133	1,0094945
20	0,2030694	0,702845	0,1903381	0,5470043
30	0,190851	0,5731183	0,1138269	0,5699745
40	0,1768276	0,7161	0,0791299	0,6575712
50	0,1376563	0,3823398	0,0901952	0,3146609
60	0,127342	0,4911944	0,0795493	0,4740589
70	0,1219936	0,4402609	0,0889361	0,4442989
80	0,141394	0,5929126	0,0591579	0,2291943
90	0,1115668	0,4423276	0,076194	0,3572195
100	0,1223561	0,5061651	0,1250203	0,4680779
110	0,0740862	0,3173806	0,0976001	0,31776
120	0,0811634	0,2428958	0,0892859	0,366786
% média	0,1447962	0,5167981	0,1151289	0,4796751

TABELA 5.78 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO IV – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,117998273	0,3827122	0,0678005	0,5036246
20	0,064530768	0,3177137	0,0648253	0,3376839
30	0,098992429	0,561576	0,0806451	0,4458563
40	0,064218544	0,4172607	0,0701094	0,1725871
50	0,071539309	0,4013118	0,056593	0,1506387
60	0,07470942	0,3071699	0,0582632	0,179747
70	0,044841083	0,1381373	0,0473848	0,2799385
80	0,098535728	0,4554819	0,0476611	0,3197431
90	0,053373438	0,3032362	0,0461691	0,1421294
100	0,043373696	0,1360222	0,0363322	0,130551
110	0,053385351	0,3581003	0,0510188	0,3264698
120	0,059912363	0,2166338	0,0330673	0,2477008
% média	0,070450867	0,3329463	0,0549891	0,2697225

TABELA 5.79 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO V – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,2521434	1,1505313	0,2377151	0,7322461
20	0,2082872	0,6404409	0,2067824	0,9527699
30	0,1389808	0,7719105	0,1459086	0,4122377
40	0,194132	0,5086591	0,0874121	0,3347736
50	0,1705253	0,759324	0,1087783	0,6017957
60	0,1846421	0,6404245	0,1907494	0,4518244
70	0,1420964	0,3795959	0,1132049	0,3376006
80	0,1307648	0,4630513	0,1255899	0,4507979
90	0,1202045	0,3792686	0,1074399	0,5284422
100	0,1299748	0,4365797	0,1205586	0,4300975
110	0,0959664	0,41968	0,0871512	0,2636518
120	0,0988372	0,2814087	0,0845215	0,327401
% média	0,1555463	0,5692395	0,134651	0,4853032

TABELA 5.80 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO VI – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,3887347	1,2673205	0,1979556	1,2389403
20	0,274494	1,1517563	0,2329682	0,7351011
30	0,1532236	0,660522	0,1507521	0,635298
40	0,137822	0,4830522	0,1268907	0,4331365
50	0,2432192	0,7812744	0,1382083	0,5454454
60	0,1803653	0,7672142	0,1030456	0,3803453
70	0,1575793	0,5828341	0,1310352	0,4433164
80	0,1829336	0,5530116	0,123616	0,5554336
90	0,1667555	0,5282489	0,0829491	0,5037066
100	0,1576719	0,4806078	0,097879	0,4833785
110	0,1074258	0,3254261	0,0755554	0,366069
120	0,1254355	0,5219377	0,1026905	0,3315375
% média	0,1896384	0,6752671	0,1302955	0,554309

As tabelas 5.81 a 5.86 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₄ para o desvio relativo médio das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio relativo médio em porcentagem é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.81 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,288233533	0,8494777	0,2046334	0,7279156
20	0,21574446	0,9014902	0,2008412	0,7297122
30	0,216339257	0,7030362	0,1946786	1,0201602
40	0,26362762	0,8547052	0,1428904	0,7563593
50	0,23154724	0,6256741	0,1368387	0,6811642
60	0,147643928	0,6920401	0,1376506	0,6424015
70	0,155047529	0,8225111	0,0841234	0,3178788
80	0,10320646	0,5419528	0,1107883	0,5402175
90	0,079713967	0,4518957	0,1093942	0,3004759
100	0,151975487	0,5633457	0,0696659	0,3064936
110	0,109427988	0,378975	0,1123288	0,4824184
120	0,093401978	0,3696488	0,1216075	0,4159635
% média	0,171	0,646	0,135	0,577

TABELA 5.82 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,1806018	0,6597579	0,1564896	0,5056752
20	0,1496566	0,4414099	0,1369431	0,4130444
30	0,0827178	0,5138587	0,1135801	0,623148
40	0,0856587	0,2772225	0,0945548	0,4958824
50	0,0669953	0,3654467	0,0626652	0,2122991
60	0,0698686	0,4793814	0,0669257	0,3630252
70	0,0816725	0,2254871	0,0647874	0,3731191
80	0,0991623	0,4214572	0,0666306	0,3210149
90	0,0595607	0,1755997	0,0558293	0,3962579
100	0,0791478	0,1985158	0,0470661	0,3488985
110	0,076645	0,1905397	0,0632194	0,1610426
120	0,0587406	0,1512818	0,049292	0,3449074
% média	0,090869	0,3416632	0,0814986	0,3798596

TABELA 5.83 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,3083448	0,9629271	0,1867286	0,8939059
20	0,2350045	0,8197879	0,1628638	0,5617756
30	0,166047	0,6021824	0,0943839	0,5728494
40	0,1635751	0,7419231	0,0767467	0,6998299
50	0,152928	0,4544964	0,133037	0,4098546
60	0,1915483	0,6294305	0,11438	0,556322
70	0,1332342	0,5073861	0,1108125	0,5062902
80	0,1180683	0,5990283	0,0824238	0,2900169
90	0,1259689	0,5103005	0,0820252	0,4006088
100	0,2122843	0,6894494	0,1116424	0,4894249
110	0,0979903	0,386925	0,0981941	0,348772
120	0,092176	0,3015717	0,1021833	0,40638
% média	0,1664308	0,6004507	0,1129518	0,5113358

TABELA 5.84 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,104283239	0,3866046	0,0678386	0,5132087
20	0,106805902	0,3909341	0,0509816	0,3352105
30	0,098846665	0,5754619	0,0998058	0,4963314
40	0,058050763	0,4337617	0,069246	0,1907594
50	0,073804693	0,4149046	0,0621831	0,1731229
60	0,051262476	0,294056	0,0588059	0,200222
70	0,047674108	0,1604108	0,032767	0,280912
80	0,076302227	0,4612879	0,042915	0,3312388
90	0,051472701	0,32072	0,0544666	0,1653942
100	0,044151812	0,1595077	0,0374537	0,1450168
110	0,063148525	0,3847974	0,0446544	0,3418674
120	0,071397448	0,24962	0,0579852	0,2966183
% média	0,070600047	0,3526722	0,0565919	0,2891585

TABELA 5.85 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,352215	1,397428	0,224927	0,7820894
20	0,2577121	0,7831097	0,2393446	1,0382436
30	0,1749388	0,893653	0,1802999	0,5125631
40	0,2206364	0,608811	0,1264516	0,4295675
50	0,2552618	0,9759001	0,1945173	0,769996
60	0,1188352	0,5918412	0,2075547	0,5239157
70	0,1400138	0,4490142	0,1329396	0,3913988
80	0,1310198	0,519573	0,1122822	0,4837264
90	0,1712907	0,4954677	0,0941672	0,5527139
100	0,1709964	0,5513623	0,1149763	0,456421
110	0,147648	0,5624637	0,082093	0,2846158
120	0,1322154	0,3761876	0,1149403	0,3987762
% média	0,1893986	0,6837343	0,1520411	0,5520023

TABELA 5.86 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,3907343	1,4221515	0,2068695	1,2935636
20	0,3548139	1,4277088	0,1862405	0,7409382
30	0,1770683	0,7853299	0,1866065	0,7517214
40	0,2219737	0,6931964	0,1396192	0,4968215
50	0,285811	0,9391542	0,1398241	0,6021672
60	0,2417813	0,9585977	0,1257642	0,4682427
70	0,1778792	0,6899236	0,1176881	0,4901731
80	0,1423682	0,5853611	0,1140134	0,61188
90	0,2172424	0,6856846	0,0864373	0,5653398
100	0,2022586	0,6119428	0,1575367	0,6472131
110	0,1800388	0,483542	0,1385377	0,4893878
120	0,1826989	0,6706106	0,1338842	0,4301429
% média	0,2312224	0,8294336	0,1444185	0,6322993

As tabelas 5.87 a 5.92 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₂ e MM-FT₃ para o desvio relativo médio das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio relativo médio em porcentagem é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.87 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO I – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,384104683	0,9697899	0,1958828	0,6122888
20	0,194690741	0,8411138	0,1576265	0,5344787
30	0,172369196	0,4092656	0,1954921	0,7937304
40	0,286496055	0,6923195	0,1823886	0,7274377
50	0,166842829	0,3719431	0,179548	0,7191437
60	0,125655327	0,6110349	0,1483515	0,644746
70	0,142237403	0,5190997	0,1050671	0,2972235
80	0,146191088	0,4964438	0,1548654	0,5591182
90	0,125086058	0,3855061	0,1158508	0,2709683
100	0,13562588	0,4186825	0,1001335	0,241096
110	0,168987174	0,2811303	0,106298	0,4324155
120	0,109910173	0,3278902	0,1038139	0,3055227
% média	0,180	0,527	0,145	0,512

TABELA 5.88 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO II – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,1676495	0,501367	0,1572694	0,4782202
20	0,1912928	0,3612576	0,123037	0,3217472
30	0,1002435	0,5015025	0,0744211	0,479335
40	0,0906181	0,1705704	0,1524402	0,4474717
50	0,0962463	0,3766512	0,0697906	0,1761368
60	0,0791734	0,4134772	0,0854651	0,3533688
70	0,0932947	0,1608686	0,0928738	0,4323291
80	0,1131657	0,3085388	0,0904973	0,289536
90	0,065391	0,123437	0,0724835	0,3561814
100	0,0975786	0,1599783	0,054456	0,3380418
110	0,1014676	0,1524888	0,0708326	0,1329517
120	0,0814035	0,1235405	0,0474088	0,2714787
% média	0,1064604	0,2794732	0,0909146	0,3397332

TABELA 5.89 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO III – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,2492479	0,6174872	0,2923133	1,1310717
20	0,2030694	0,7027541	0,1903381	0,5235934
30	0,190851	0,4599157	0,1138269	0,5558019
40	0,1768276	0,7936492	0,0791299	0,4967167
50	0,1376563	0,3238366	0,0901952	0,2447632
60	0,1888966	0,4856144	0,0986108	0,5946948
70	0,1219936	0,3878055	0,1216119	0,4760205
80	0,141394	0,5686848	0,0613282	0,22885
90	0,1354786	0,4291011	0,0981277	0,2941866
100	0,2225709	0,5215233	0,1250203	0,4381198
110	0,0740862	0,4595863	0,0976001	0,3437049
120	0,1344333	0,2771223	0,0892859	0,3871388
% média	0,1647088	0,5022567	0,121449	0,4762219

TABELA 5.90 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO IV – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,117998273	0,390894	0,0678005	0,5697452
20	0,069676243	0,3283584	0,0648253	0,4207288
30	0,098992429	0,5432785	0,0806451	0,3372513
40	0,080015715	0,3868324	0,0711213	0,2129631
50	0,071539309	0,303987	0,056593	0,1363669
60	0,07470942	0,3347248	0,0582632	0,1702083
70	0,058108666	0,1381357	0,0473848	0,259348
80	0,098535728	0,4353971	0,0515942	0,3591027
90	0,053373438	0,258538	0,0461691	0,1350533
100	0,043373696	0,1277291	0,0363322	0,1235181
110	0,053385351	0,3145961	0,0510188	0,3004255
120	0,059912363	0,2587188	0,0355978	0,2167919
% média	0,073301719	0,3184325	0,0556121	0,2701253

TABELA 5.91 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO V – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,2748759	0,8054761	0,2377151	0,6913705
20	0,2381344	0,5973991	0,2067824	0,8327975
30	0,1453232	0,7643758	0,1981595	0,4964895
40	0,248139	0,4642166	0,0874121	0,3122025
50	0,2338946	0,8081864	0,1087783	0,5806735
60	0,1846421	0,6738799	0,1907494	0,4179691
70	0,2909765	0,476069	0,1330054	0,3372591
80	0,1307648	0,4851784	0,1559978	0,3982872
90	0,1202045	0,3607686	0,1074399	0,5150785
100	0,1698725	0,4482183	0,1205586	0,3639873
110	0,173679	0,4335128	0,0871512	0,2309318
120	0,1591443	0,2709713	0,0845215	0,2766531
% média	0,1974709	0,549021	0,1431893	0,454475

TABELA 5.92 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO VI – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,3887347	1,0662828	0,1979556	1,2570779
20	0,274494	0,8770266	0,2329682	0,6730223
30	0,1805644	0,6480806	0,1507521	0,7589742
40	0,1992002	0,4067046	0,1268907	0,3728013
50	0,3219176	0,8997832	0,1382083	0,6648484
60	0,2402683	0,7406727	0,1430327	0,3434932
70	0,1696054	0,5777904	0,1310352	0,3953276
80	0,1962747	0,4712756	0,123616	0,6077987
90	0,2416564	0,5556132	0,0958493	0,4404966
100	0,1576719	0,4608063	0,1562441	0,5289714
110	0,2229861	0,4066601	0,1663921	0,4275702
120	0,1446097	0,5801747	0,1406614	0,3229483
% média	0,2281653	0,6409059	0,1503005	0,5661108

As tabelas 5.93 a 5.98 referem-se aos resultados obtidos na comparação geral dos quatro métodos para o desvio relativo médio das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O valor do desvio relativo médio em porcentagem é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.93 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO I

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,33348	0,38410	0,96979	0,91444	0,20463	0,23260	0,66179	0,72792
20	0,21574	0,26900	0,95563	0,90149	0,20084	0,24843	0,65484	0,72971
30	0,21634	0,26054	0,51525	0,70304	0,19468	0,22996	0,84544	1,02016
40	0,26363	0,29626	0,70517	0,85471	0,14289	0,18654	0,73350	0,75636
50	0,23155	0,29257	0,51977	0,62567	0,14253	0,17955	0,71914	0,68483
60	0,14764	0,18898	0,70167	0,69204	0,13765	0,17234	0,67910	0,64240
70	0,15505	0,19245	0,58588	0,82251	0,08412	0,11419	0,30793	0,31788
80	0,10321	0,15002	0,50144	0,54195	0,11576	0,15487	0,55912	0,54711
90	0,08330	0,12509	0,38551	0,45672	0,10939	0,13789	0,29608	0,30048
100	0,15198	0,20379	0,50384	0,56335	0,06967	0,11061	0,25292	0,30649
110	0,13092	0,16899	0,28113	0,40569	0,11233	0,14122	0,47779	0,48242
120	0,09340	0,13053	0,35256	0,36965	0,12161	0,15918	0,37101	0,41596
% média	0,17719	0,22186	0,58147	0,65427	0,13634	0,17228	0,54656	0,57764

TABELA 5.94 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO II

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,18060	0,21943	0,56794	0,65976	0,15649	0,17739	0,50392	0,50568
20	0,14966	0,20178	0,37324	0,44141	0,13694	0,17147	0,37875	0,41304
30	0,08272	0,10743	0,51131	0,51386	0,11358	0,13036	0,55636	0,62315
40	0,08566	0,11180	0,19330	0,27722	0,11320	0,15244	0,44747	0,52136
50	0,07927	0,09625	0,37665	0,38116	0,06267	0,08398	0,19174	0,21230
60	0,06987	0,09689	0,43668	0,47938	0,06693	0,08673	0,35495	0,36303
70	0,08167	0,10578	0,17413	0,22549	0,06915	0,09287	0,43233	0,37875
80	0,09916	0,12375	0,32098	0,42146	0,06663	0,09237	0,29175	0,32101
90	0,05956	0,08413	0,14319	0,17560	0,05583	0,07533	0,35979	0,39626
100	0,07915	0,10314	0,16586	0,19852	0,04707	0,06397	0,35012	0,34890
110	0,07664	0,10553	0,15674	0,19054	0,06322	0,08155	0,14429	0,16104
120	0,05919	0,08140	0,12354	0,15177	0,04929	0,06451	0,29224	0,34491
% média	0,09193	0,11978	0,29530	0,34301	0,08342	0,10608	0,35864	0,38245

TABELA 5.95 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO III

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,30834	0,36685	0,76976	0,96293	0,25916	0,29231	1,13107	1,00949
20	0,23500	0,28569	0,81969	0,81979	0,16286	0,20170	0,53814	0,56178
30	0,16605	0,21285	0,48689	0,60218	0,09438	0,11587	0,55865	0,57285
40	0,16358	0,19454	0,82064	0,74192	0,07675	0,10664	0,53487	0,69983
50	0,15293	0,19704	0,39294	0,45450	0,13304	0,16914	0,33490	0,40985
60	0,19155	0,23185	0,53929	0,62943	0,11438	0,13980	0,65448	0,55632
70	0,13323	0,17429	0,45249	0,50739	0,11081	0,13567	0,49453	0,50629
80	0,11807	0,14578	0,57471	0,59903	0,08242	0,11157	0,28702	0,29002
90	0,12597	0,16395	0,46494	0,51030	0,08203	0,11060	0,30888	0,40061
100	0,21228	0,25893	0,56678	0,68945	0,11164	0,14138	0,45903	0,48942
110	0,09799	0,13079	0,53664	0,38692	0,09819	0,12343	0,37533	0,34877
120	0,09433	0,13443	0,27712	0,30413	0,10218	0,12084	0,42732	0,40638
% média	0,16661	0,20808	0,55849	0,60066	0,11899	0,14741	0,50869	0,52097

TABELA 5.96 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO IV

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,10428	0,12115	0,39481	0,38660	0,06784	0,07461	0,57975	0,51321
20	0,10681	0,12368	0,39543	0,39093	0,05293	0,06483	0,42073	0,33768
30	0,09885	0,10876	0,55700	0,57546	0,09981	0,11837	0,38393	0,49633
40	0,06140	0,08002	0,38683	0,43830	0,06925	0,08669	0,23060	0,19076
50	0,07380	0,08193	0,31664	0,41490	0,06218	0,07724	0,15857	0,17312
60	0,06192	0,07471	0,33472	0,30717	0,05881	0,07663	0,19052	0,20022
70	0,04767	0,06529	0,14586	0,16041	0,03277	0,04818	0,26031	0,28091
80	0,07630	0,10292	0,44112	0,46129	0,04292	0,05679	0,36581	0,33124
90	0,05147	0,06751	0,27542	0,32072	0,05447	0,06748	0,15817	0,16539
100	0,04415	0,06494	0,15104	0,15951	0,03745	0,04959	0,13789	0,14502
110	0,06315	0,07409	0,34044	0,38480	0,04465	0,06322	0,31552	0,34187
120	0,07140	0,08865	0,29285	0,24962	0,05799	0,07357	0,26141	0,29662
% média	0,07177	0,08780	0,33601	0,35414	0,05675	0,07143	0,28860	0,28936

TABELA 5.97 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO V

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,35222	0,39590	0,97687	1,39743	0,22493	0,27333	0,74004	0,78209
20	0,25771	0,31337	0,69447	0,78311	0,23934	0,25960	0,91302	1,03824
30	0,17494	0,21724	0,87516	0,89365	0,18030	0,22731	0,53290	0,51256
40	0,22064	0,27340	0,49386	0,60881	0,12645	0,16464	0,40539	0,42957
50	0,25526	0,31462	0,92648	0,97590	0,19452	0,22521	0,74666	0,77000
60	0,15298	0,18464	0,67388	0,64042	0,20755	0,24988	0,48838	0,52392
70	0,22689	0,29098	0,47607	0,55944	0,13294	0,15798	0,36673	0,39140
80	0,13102	0,17445	0,54255	0,51957	0,11698	0,15600	0,39829	0,48999
90	0,17129	0,21458	0,47541	0,49547	0,09417	0,12503	0,53914	0,55271
100	0,17100	0,22026	0,51059	0,55136	0,11498	0,14118	0,38909	0,45642
110	0,14765	0,20619	0,47322	0,56246	0,08209	0,10519	0,25135	0,28462
120	0,13222	0,18011	0,29396	0,37619	0,11494	0,14284	0,34530	0,39878
% média	0,19948	0,24881	0,61771	0,69698	0,15243	0,18568	0,50969	0,55252

TABELA 5.98 – DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) DA RELAÇÃO VI

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,39073	0,48357	1,20739	1,42215	0,20687	0,22718	1,31214	1,29356
20	0,35481	0,43794	1,11775	1,42771	0,18624	0,23712	0,67865	0,74094
30	0,17707	0,23990	0,73092	0,78533	0,18661	0,23268	0,88420	0,75172
40	0,22197	0,29905	0,52383	0,69320	0,13962	0,17697	0,43381	0,49682
50	0,28581	0,35341	0,94504	0,93915	0,13982	0,17998	0,72595	0,60217
60	0,24178	0,30819	0,83601	0,95860	0,12576	0,17329	0,37905	0,46824
70	0,17788	0,23590	0,66722	0,68992	0,11769	0,16775	0,44063	0,49017
80	0,14237	0,20757	0,48517	0,58536	0,11401	0,16439	0,66615	0,61188
90	0,21724	0,28695	0,61236	0,68568	0,08644	0,12734	0,48189	0,56534
100	0,20226	0,26036	0,59038	0,61194	0,15754	0,21914	0,61214	0,64721
110	0,18004	0,23954	0,42569	0,48354	0,13854	0,17265	0,43523	0,48939
120	0,18270	0,23538	0,70548	0,67061	0,13388	0,18435	0,37362	0,43014
% média	0,23122	0,29898	0,73727	0,82943	0,14442	0,18857	0,61862	0,63230

As tabelas 5.99 a 5.104 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₂ para o desvio-padrão do desvio relativo das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O valor do desvio-padrão é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.99 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,140776625	0,1431384	0,0964477	0,0911686
20	0,09110433	0,0948274	0,080655	0,0766913
30	0,08369196	0,0729492	0,0705062	0,0789369
40	0,086235695	0,0816788	0,0696621	0,0697106
50	0,090313699	0,0800231	0,0582785	0,0668509
60	0,066867649	0,0621309	0,0511258	0,0530917
70	0,067642114	0,0709127	0,0408247	0,0387335
80	0,049228449	0,051044	0,0585051	0,0629924
90	0,041293656	0,0468358	0,03726	0,0354994
100	0,045715315	0,0493798	0,0290248	0,0361869
110	0,043069859	0,0490892	0,0474845	0,0468228
120	0,043508285	0,0436947	0,0400461	0,0358357
média	0,071	0,070	0,057	0,058

TABELA 5.100 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,0732416	0,0714107	0,0659322	0,0686789
20	0,0640354	0,068414	0,0507439	0,0500242
30	0,0368906	0,0351511	0,0292072	0,0307025
40	0,0326434	0,0338415	0,0384378	0,0441646
50	0,0297539	0,0300024	0,0239782	0,0204109
60	0,0313643	0,031399	0,026578	0,024544
70	0,0251653	0,0223843	0,0223129	0,0242392
80	0,0282556	0,0261749	0,0255138	0,0224051
90	0,0216731	0,0216343	0,0209929	0,0185605
100	0,0207897	0,0218551	0,0184984	0,0170871
110	0,0269551	0,0216602	0,0199584	0,0177721
120	0,0173928	0,0162655	0,0164094	0,0165491
média	0,0340134	0,0333494	0,0298803	0,0295949

TABELA 5.101 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,1209934	0,119256	0,0813764	0,0901671
20	0,1055668	0,0985991	0,0640494	0,0718389
30	0,0734795	0,0739704	0,0447782	0,0477519
40	0,0757822	0,0647116	0,0333027	0,0375851
50	0,0565716	0,0618489	0,04424	0,0435957
60	0,0678115	0,0588682	0,0400222	0,038321
70	0,0567876	0,0510852	0,0390034	0,0371257
80	0,0454173	0,0469935	0,0328919	0,0334683
90	0,0554425	0,0521574	0,032903	0,0340577
100	0,0611311	0,0533731	0,0481495	0,0499538
110	0,0347258	0,0377588	0,0357105	0,0361477
120	0,0401279	0,0491465	0,0387587	0,0356334
média	0,0661531	0,0639807	0,0445988	0,0463038

TABELA 5.102 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,04617412	0,0487338	0,0296744	0,029676
20	0,039528479	0,0352004	0,0248178	0,0242338
30	0,038986522	0,0330509	0,0296661	0,027882
40	0,026607112	0,026685	0,0277652	0,0270874
50	0,028120175	0,0288274	0,0236096	0,0228057
60	0,024793437	0,0269073	0,020796	0,0236965
70	0,017804969	0,0181145	0,016767	0,0196522
80	0,024254385	0,0326197	0,0192838	0,0201559
90	0,017127555	0,0194025	0,0207887	0,0199212
100	0,019147231	0,0222645	0,013927	0,0137529
110	0,018923457	0,0188854	0,0199323	0,0199323
120	0,022149298	0,0221478	0,016721	0,0167925
média	0,026968062	0,0277366	0,0219791	0,0221324

TABELA 5.103 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,1320734	0,1320734	0,0995721	0,1062059
20	0,1163889	0,118648	0,0966923	0,1085519
30	0,0865261	0,0694386	0,0725564	0,0639171
40	0,0881165	0,093748	0,0538601	0,0526084
50	0,0999368	0,1012612	0,0590931	0,0529003
60	0,064115	0,0707037	0,0884462	0,0810596
70	0,0683381	0,0746986	0,0495179	0,0506116
80	0,0517199	0,0494315	0,0436058	0,0503608
90	0,0581317	0,0618796	0,045732	0,0462803
100	0,0511938	0,0518445	0,0470963	0,0551795
110	0,0531438	0,052271	0,0337238	0,0336229
120	0,0363095	0,0370759	0,0450486	0,0402081
média	0,0754995	0,0760895	0,0612454	0,0617922

TABELA 5.104 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₂

n	K = 4		K = 7	
	1	2	1	2
10	0,1703166	0,171904	0,0992186	0,0968113
20	0,1354476	0,1455919	0,0820927	0,0813429
30	0,0757707	0,0769054	0,0713179	0,0618048
40	0,0796558	0,0764007	0,0549235	0,0546262
50	0,0897875	0,0905451	0,0625838	0,0668707
60	0,0822872	0,0837149	0,0477944	0,0479295
70	0,0589636	0,0584157	0,0491585	0,0532851
80	0,0689864	0,0719672	0,0493331	0,0516691
90	0,0758373	0,0769304	0,0386558	0,038116
100	0,0650972	0,0589373	0,0559329	0,0582687
110	0,0522192	0,0460523	0,049204	0,0399973
120	0,0652262	0,0510978	0,0428261	0,0417242
média	0,0849663	0,0840386	0,0585868	0,0577038

As tabelas 5.105 a 5.110 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ para o desvio-padrão do desvio relativo das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio-padrão é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.105 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO I – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,204991067	0,1423166	0,1218933	0,1110082
20	0,23895079	0,1042693	0,1218469	0,1012547
30	0,109652614	0,136679	0,1275968	0,1219007
40	0,121290823	0,1492993	0,1424812	0,1073513
50	0,103183335	0,0866949	0,1208261	0,1693623
60	0,131421968	0,0761479	0,137027	0,105019
70	0,127499665	0,1599547	0,061458	0,0459326
80	0,106040717	0,0991935	0,1004448	0,0805028
90	0,078701197	0,0920019	0,0659849	0,0376016
100	0,098679219	0,063733	0,0528729	0,0471218
110	0,067868331	0,05621	0,0830116	0,077551
120	0,072526806	0,0538617	0,0593194	0,045
média	0,122	0,102	0,100	0,087

TABELA 5.106 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO II – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,1622898	0,1076167	0,1129571	0,1196567
20	0,080696	0,0730695	0,061124	0,0724762
30	0,1345542	0,0969843	0,1135375	0,0884519
40	0,0517512	0,0455487	0,090993	0,0791612
50	0,0689741	0,0713813	0,0484987	0,0360845
60	0,0864774	0,0896985	0,0746814	0,0584757
70	0,0374976	0,0318607	0,0856455	0,0491849
80	0,0572161	0,0702605	0,0581817	0,0668203
90	0,0350444	0,0289192	0,079997	0,077952
100	0,0321075	0,0235811	0,0636152	0,0696923
110	0,0435728	0,0234046	0,029718	0,0192583
120	0,0278789	0,0187649	0,0560607	0,0480904
média	0,0681717	0,0567575	0,0729175	0,065442

TABELA 5.107 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO III – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,1266597	0,2306936	0,1779063	0,2070493
20	0,1578362	0,1524074	0,1440047	0,0817037
30	0,1090549	0,0904031	0,1138589	0,0975577
40	0,1404164	0,0935061	0,1155079	0,1153872
50	0,0741213	0,0787834	0,0508799	0,074332
60	0,1314727	0,0914302	0,1109633	0,0815824
70	0,0942686	0,0665002	0,086394	0,0626551
80	0,1171318	0,0812924	0,0456769	0,0518763
90	0,1059237	0,092452	0,0746733	0,0727092
100	0,1222716	0,1235089	0,0989697	0,0943153
110	0,0775624	0,0498563	0,0664962	0,0633103
120	0,0827821	0,0529151	0,0866638	0,0654681
média	0,1116251	0,1003124	0,0976662	0,0889956

TABELA 5.108 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,108890946	0,1388453	0,122027	0,1071706
20	0,094196258	0,1047827	0,0923255	0,078755
30	0,079999562	0,1053825	0,0818749	0,1010218
40	0,077495705	0,0768254	0,0574719	0,0264869
50	0,066110825	0,0695816	0,032542	0,0265529
60	0,055515836	0,0412652	0,0289379	0,0376481
70	0,033590444	0,0262847	0,0566602	0,0497744
80	0,098286777	0,07263	0,0937563	0,0576201
90	0,055811278	0,0479773	0,0373344	0,0242176
100	0,032360518	0,020619	0,0298985	0,0179966
110	0,058912539	0,0671948	0,0879976	0,0449539
120	0,036219755	0,0422025	0,037974	0,0480191
média	0,066449204	0,0677992	0,0632333	0,0516847

TABELA 5.109 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO V – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,1814955	0,192201	0,2076613	0,1310525
20	0,1588077	0,138463	0,1439363	0,1388946
30	0,1676581	0,1426707	0,1112324	0,0996218
40	0,1422189	0,0892664	0,0695277	0,0572533
50	0,1557315	0,1315784	0,1127764	0,0820654
60	0,1240545	0,1237572	0,1109006	0,0664385
70	0,0941987	0,0785341	0,0828955	0,067323
80	0,097233	0,079896	0,08454	0,1038583
90	0,0719929	0,0642811	0,1070942	0,0729048
100	0,1089379	0,0652084	0,0741932	0,0744623
110	0,1170403	0,0812819	0,0507145	0,0452448
120	0,0655091	0,0375638	0,0607338	0,0419377
média	0,1237399	0,1020585	0,1013505	0,0817547

TABELA 5.110 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₃ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	3	4	3	4
10	0,2550796	0,1916712	0,3480304	0,2683938
20	0,2423839	0,176903	0,1398342	0,0973753
30	0,170207	0,1144724	0,1286879	0,0851523
40	0,0988658	0,1068353	0,0828771	0,0546323
50	0,1685554	0,1609648	0,0998969	0,1036967
60	0,194697	0,1121633	0,0763718	0,047091
70	0,1023952	0,1169574	0,1139542	0,070422
80	0,0900221	0,0767802	0,1083958	0,0869015
90	0,1231246	0,0986831	0,0858208	0,100107
100	0,1145472	0,0636829	0,1064543	0,061378
110	0,090077	0,0571748	0,0826659	0,0518794
120	0,1085293	0,0596438	0,0683245	0,04169
média	0,1465403	0,1113277	0,1201095	0,0890599

As tabelas 5.111 a 5.116 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₃ para o desvio-padrão do desvio relativo das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio-padrão é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.111 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,135999773	0,2161749	0,0964477	0,1444944
20	0,09110433	0,2586131	0,080655	0,140158
30	0,08369196	0,1250346	0,0705062	0,1390724
40	0,086235695	0,1222118	0,0696621	0,1669881
50	0,090313699	0,114379	0,0579882	0,132476
60	0,066867649	0,1433264	0,0511258	0,1568115
70	0,067642114	0,139864	0,0408247	0,0661685
80	0,049228449	0,106395	0,0582443	0,1031797
90	0,041430727	0,0787012	0,03726	0,0672884
100	0,045715315	0,1046022	0,0290248	0,0533765
110	0,043904258	0,0678683	0,0474845	0,0879417
120	0,043508285	0,0738742	0,0400461	0,0643696
média	0,070	0,129	0,057	0,110

TABELA 5.112 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,0732416	0,1705511	0,0659322	0,1214294
20	0,0640354	0,0856825	0,0507439	0,0637601
30	0,0368906	0,1362371	0,0292072	0,1232874
40	0,0326434	0,0527561	0,037794	0,0966015
50	0,0294154	0,0705271	0,0239782	0,049142
60	0,0313643	0,0904587	0,026578	0,0747688
70	0,0251653	0,0379259	0,0224045	0,0856455
80	0,0282556	0,0577601	0,0255138	0,0582815
90	0,0216731	0,0356611	0,0209929	0,0802096
100	0,0207897	0,0322703	0,0184984	0,0641895
110	0,0269551	0,0437335	0,0199584	0,0300155
120	0,0174001	0,0278789	0,0164094	0,056976
média	0,0339858	0,0701202	0,0298343	0,0753589

TABELA 5.113 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,1209934	0,1546527	0,0766955	0,1954191
20	0,1055668	0,1823148	0,0640494	0,1548292
30	0,0734795	0,1221767	0,0447782	0,1143082
40	0,0757822	0,1714779	0,0333027	0,1204525
50	0,0565716	0,0797863	0,04424	0,0578096
60	0,0678115	0,1362224	0,0400222	0,1151231
70	0,0567876	0,0989557	0,0481495	0,105554
80	0,0454173	0,1237554	0,0390034	0,0874772
90	0,0554425	0,1085798	0,0328919	0,0478391
100	0,0611311	0,1259085	0,032903	0,0755214
110	0,0347258	0,0852478	0,0357105	0,0709587
120	0,0402069	0,0827821	0,0387587	0,0924195
média	0,0661597	0,122655	0,0442088	0,1031426

TABELA 5.114 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,04617412	0,1138191	0,0296744	0,1294162
20	0,039528479	0,0989521	0,0247719	0,0940473
30	0,038986522	0,088071	0,0296661	0,0867801
40	0,026691301	0,0774957	0,0277652	0,0583074
50	0,028120175	0,0695614	0,0236096	0,034411
60	0,024544701	0,0581402	0,020796	0,0300823
70	0,017804969	0,0338184	0,016767	0,0581378
80	0,024254385	0,1037906	0,0192838	0,0942193
90	0,017127555	0,0571027	0,0207887	0,0381167
100	0,019147231	0,0331278	0,013927	0,0308636
110	0,018923457	0,0601152	0,0199323	0,089729
120	0,022149298	0,0386123	0,016721	0,0393664
média	0,026954349	0,0693839	0,0219752	0,0652897

TABELA 5.115 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,1320734	0,1987246	0,0995721	0,2160266
20	0,1163889	0,168458	0,0966923	0,1664649
30	0,0865261	0,1781852	0,0725564	0,113939
40	0,0881165	0,1450978	0,0538601	0,0761778
50	0,0999368	0,1659199	0,0590931	0,129295
60	0,0622162	0,134465	0,0884462	0,1212936
70	0,0735457	0,0941987	0,0495179	0,0847226
80	0,0517199	0,1076918	0,0437899	0,08454
90	0,0581317	0,0836002	0,045732	0,1139212
100	0,0511938	0,1136299	0,0470963	0,0811938
110	0,0531438	0,1202826	0,0337238	0,0536418
120	0,0363095	0,0666941	0,0450486	0,0664333
média	0,0757752	0,1314123	0,0612607	0,1089708

TABELA 5.116 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	1	3	1	3
10	0,1703166	0,3013709	0,0992186	0,3702593
20	0,1354476	0,2981845	0,0820927	0,1666747
30	0,0757707	0,1787619	0,0713179	0,1448982
40	0,0796558	0,1070976	0,0549235	0,0889132
50	0,0897875	0,1725709	0,0625838	0,1243065
60	0,0822872	0,2053601	0,0477944	0,0783931
70	0,0589636	0,1081989	0,0491585	0,1179242
80	0,0689864	0,0908725	0,0493331	0,1222726
90	0,0758373	0,1276161	0,0386558	0,0882867
100	0,0650972	0,1289785	0,0559329	0,1122447
110	0,0522192	0,0912959	0,049204	0,0831093
120	0,0652262	0,1171355	0,0428261	0,0709414
média	0,0849663	0,1606203	0,0585868	0,1306853

As tabelas 5.117 a 5.122 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₂ e MM-FT₄ para o desvio-padrão do desvio relativo das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio-padrão é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.117 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO I – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,143138447	0,1553525	0,0884531	0,1276714
20	0,089274515	0,106241	0,0711131	0,1079998
30	0,067846809	0,1449513	0,0767249	0,129141
40	0,073515967	0,1353989	0,0694668	0,1253757
50	0,07223923	0,0867537	0,0668509	0,1926972
60	0,058821778	0,0786226	0,0520055	0,1177232
70	0,067926618	0,1680777	0,0384164	0,0490482
80	0,049505176	0,0965245	0,0629924	0,0830648
90	0,045304858	0,0887002	0,0335696	0,0362599
100	0,046047883	0,0629999	0,0350476	0,0460729
110	0,046683028	0,0524389	0,0453851	0,0796342
120	0,042817502	0,053761	0,034124	0,0464987
média	0,067	0,102	0,056	0,095

TABELA 5.118 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO II – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,0683786	0,1082928	0,0675055	0,1264336
20	0,0678172	0,076908	0,0477388	0,072148
30	0,0349229	0,0975598	0,0291831	0,0912944
40	0,0330754	0,0453821	0,0441646	0,0854718
50	0,0300024	0,0738285	0,0196264	0,0351578
60	0,030892	0,0923129	0,0237329	0,0566096
70	0,0212072	0,03053	0,02339	0,047268
80	0,0247818	0,0671535	0,021407	0,0639529
90	0,0212604	0,0289196	0,0179291	0,0755003
100	0,0206285	0,0223705	0,0166663	0,0685897
110	0,0205423	0,0222785	0,0170779	0,0186912
120	0,0155548	0,0179375	0,0160857	0,0475067
média	0,032422	0,0569561	0,0287089	0,0657187

TABELA 5.119 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO III – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,1089952	0,2574436	0,0901671	0,2413114
20	0,0922629	0,1647311	0,0711595	0,0870143
30	0,0726285	0,0994434	0,0476646	0,0977637
40	0,0637523	0,1124977	0,0366507	0,1173352
50	0,0587806	0,0805975	0,0406521	0,0787532
60	0,053874	0,0866965	0,0362954	0,0801669
70	0,0488103	0,0666981	0,0355978	0,0608298
80	0,0468137	0,0855608	0,0318903	0,0517702
90	0,04981	0,0905051	0,0330026	0,071257
100	0,0475828	0,1133848	0,0492379	0,0991483
110	0,0358655	0,0520488	0,0353166	0,0660057
120	0,0469309	0,0504304	0,0346302	0,0678506
média	0,0605089	0,1050031	0,0451887	0,0932672

TABELA 5.120 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,048596958	0,1447218	0,029488	0,1129403
20	0,033347449	0,1042786	0,0242338	0,0803723
30	0,032759596	0,1149923	0,0269415	0,1034622
40	0,026377895	0,0757017	0,026674	0,0264619
50	0,028550476	0,0725099	0,0223686	0,0275397
60	0,026907281	0,0436539	0,0232923	0,0384693
70	0,017766819	0,0259551	0,0196373	0,0510336
80	0,032490111	0,0763924	0,0199818	0,0574046
90	0,019145652	0,0484376	0,0195235	0,0242315
100	0,021813516	0,0206803	0,0135792	0,0183428
110	0,018521267	0,0672447	0,0195094	0,0453124
120	0,021563175	0,0438027	0,0161589	0,0479017
média	0,027320016	0,0698643	0,0217824	0,0527894

TABELA 5.121 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO V – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,1198774	0,1887738	0,1032354	0,1325187
20	0,1091548	0,1351251	0,1039998	0,1538979
30	0,0649744	0,1418806	0,0596776	0,0952774
40	0,087912	0,0854038	0,04912	0,0585699
50	0,090162	0,124821	0,0478733	0,0851448
60	0,0707037	0,1382368	0,077225	0,0692273
70	0,07112	0,0694772	0,0486547	0,0661464
80	0,0475928	0,0851985	0,0492432	0,1011263
90	0,0570715	0,0688451	0,0455569	0,07634
100	0,0480086	0,0629845	0,0541822	0,0800154
110	0,0474942	0,0759	0,0330742	0,0470753
120	0,0345225	0,0356095	0,0381564	0,0435325
média	0,0707162	0,1010213	0,0591666	0,0840727

TABELA 5.122 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₂ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	2	4	2	4
10	0,1609154	0,2119796	0,0945056	0,2787359
20	0,1290428	0,1928915	0,0810702	0,1156768
30	0,0715291	0,1118213	0,0576971	0,0895063
40	0,0669185	0,1013672	0,052302	0,0561175
50	0,0831732	0,151382	0,0645032	0,1244665
60	0,0755348	0,106746	0,0450602	0,0454436
70	0,054714	0,1157548	0,0516097	0,0705839
80	0,0704987	0,0759239	0,0498597	0,0945938
90	0,0697454	0,0927302	0,0366152	0,0989285
100	0,0541353	0,0658637	0,0524732	0,0582798
110	0,0411441	0,0517723	0,0366856	0,0478391
120	0,0465504	0,0586446	0,0388474	0,0403022
média	0,0769918	0,1114064	0,0551024	0,0933728

As tabelas 5.123 a 5.128 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₄ para o desvio-padrão do desvio relativo das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio-padrão é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.123 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO I – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,043508285	0,0548623	0,0964477	0,131591
20	0,09110433	0,1128492	0,080655	0,1164713
30	0,08369196	0,1558523	0,0705062	0,1328641
40	0,086235695	0,1504329	0,0696621	0,1258159
50	0,090313699	0,0961015	0,0579882	0,1831671
60	0,066867649	0,0830456	0,0511258	0,1201821
70	0,067642114	0,1754665	0,0408247	0,049453
80	0,049228449	0,0995249	0,0582443	0,0826946
90	0,041293656	0,0916975	0,03726	0,0383444
100	0,045715315	0,0675584	0,0290248	0,0475707
110	0,043069859	0,0551417	0,0474845	0,0821568
120	0,043508285	0,0548623	0,0400461	0,0488311
média	0,063	0,100	0,057	0,097

TABELA 5.124 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO II – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,0732416	0,1130949	0,0659322	0,1286314
20	0,0640354	0,0775848	0,0507439	0,0756019
30	0,0368906	0,0981973	0,0292072	0,0960476
40	0,0326434	0,0464332	0,037794	0,0840404
50	0,0294154	0,0729886	0,0239782	0,0365632
60	0,0313643	0,0938281	0,026578	0,0585441
70	0,0251653	0,0322246	0,0223129	0,048984
80	0,0282556	0,0709285	0,0255138	0,0669349
90	0,0216731	0,0294281	0,0209929	0,0781592
100	0,0207897	0,0237007	0,0184984	0,0703214
110	0,0269551	0,0234909	0,0199584	0,019451
120	0,0173928	0,018757	0,0164094	0,0488755
média	0,0732416	0,1130949	0,0659322	0,1286314

TABELA 5.125 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO III – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,1209934	0,2816792	0,0766955	0,2274309
20	0,1055668	0,176044	0,0640494	0,0878452
30	0,0734795	0,1012806	0,0447782	0,0979427
40	0,0757822	0,1141906	0,0333027	0,1203266
50	0,0565716	0,0848046	0,04424	0,0844557
60	0,0678115	0,0947334	0,0400222	0,0846408
70	0,0567876	0,0698066	0,0390034	0,0634407
80	0,0454173	0,0858893	0,0328919	0,0543319
90	0,0554425	0,0947703	0,032903	0,073535
100	0,0611311	0,1271825	0,0481495	0,10059
110	0,0347258	0,0547964	0,0357105	0,067559
120	0,0401279	0,0528111	0,0387587	0,0698161
média	0,0661531	0,1114991	0,0442088	0,0943262

TABELA 5.126 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,04617412	0,1451292	0,0296744	0,1136602
20	0,039528479	0,110073	0,0247719	0,0802236
30	0,038986522	0,1160149	0,0296661	0,1070741
40	0,026607112	0,076583	0,0277652	0,026872
50	0,028120175	0,0732133	0,0236096	0,0280779
60	0,024544701	0,043216	0,020796	0,039137
70	0,017804969	0,026463	0,016767	0,0510724
80	0,024254385	0,0766971	0,0192838	0,0579046
90	0,017127555	0,0490874	0,0207887	0,0247251
100	0,019147231	0,0211079	0,013927	0,0185775
110	0,018923457	0,0685666	0,0199323	0,0458384
120	0,022149298	0,0449903	0,016721	0,0497798
média	0,026947334	0,0709285	0,0219752	0,0535785

TABELA 5.127 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO V – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,1320734	0,2104464	0,0995721	0,1363317
20	0,1163889	0,1468769	0,0966923	0,1606341
30	0,0865261	0,1516288	0,0725564	0,1020459
40	0,0881165	0,0910733	0,0538601	0,0627295
50	0,0999368	0,1401867	0,0590931	0,0940856
60	0,0622162	0,1341428	0,0884462	0,0726648
70	0,0683381	0,0729732	0,0495179	0,0688069
80	0,0517199	0,08849	0,0436058	0,1034216
90	0,0581317	0,0746451	0,045732	0,0775523
100	0,0511938	0,068017	0,0470963	0,0814882
110	0,0531438	0,0835336	0,0337238	0,0478563
120	0,0363095	0,0382433	0,0450486	0,0458733
média	0,0753412	0,1083548	0,0612454	0,0877908

TABELA 5.128 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₁ E MM-FT₄

n	K = 4		K = 7	
	1	4	1	4
10	0,1703166	0,2264553	0,0992186	0,2855362
20	0,1354476	0,2176289	0,0820927	0,116066
30	0,0757707	0,120226	0,0713179	0,0958786
40	0,0796558	0,1157306	0,0549235	0,0586113
50	0,0897875	0,1647994	0,0625838	0,1290348
60	0,0822872	0,1183063	0,0477944	0,0483373
70	0,0589636	0,1235864	0,0491585	0,0728754
80	0,0689864	0,0775054	0,0493331	0,0980266
90	0,0758373	0,102283	0,0386558	0,1029834
100	0,0650972	0,071706	0,0559329	0,0647166
110	0,0522192	0,0579485	0,049204	0,0521577
120	0,0652262	0,0643734	0,0428261	0,0432868
média	0,0849663	0,1217124	0,0585868	0,0972926

As tabelas 5.129 a 5.134 referem-se aos resultados obtidos na comparação dos métodos MM-FT₂ e MM-FT₃ para o desvio-padrão do desvio relativo das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O desvio-padrão é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.129 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO I – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,143138447	0,2237678	0,0884531	0,1401904
20	0,089274515	0,2434692	0,0711131	0,1299636
30	0,067846809	0,1162891	0,0767249	0,1351753
40	0,081063308	0,1212908	0,0694668	0,1664039
50	0,07223923	0,1032533	0,0668509	0,1331392
60	0,058821778	0,1356928	0,0520055	0,1536032
70	0,067926618	0,1339745	0,0384164	0,0656267
80	0,05087403	0,1060407	0,0629924	0,1036415
90	0,046991223	0,0787012	0,0348118	0,0659849
100	0,046583679	0,0986792	0,0358455	0,0528729
110	0,050040181	0,0678683	0,0453546	0,0852414
120	0,042897743	0,0725268	0,034124	0,061295
média	0,068	0,125	0,056	0,108

TABELA 5.130 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO II – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,0683786	0,1633094	0,0675055	0,1193546
20	0,0678172	0,0849351	0,047956	0,061124
30	0,0349229	0,1353526	0,0291831	0,1171862
40	0,0331969	0,0517512	0,0441646	0,0982468
50	0,0300024	0,0713388	0,0201438	0,0484987
60	0,030892	0,0889979	0,0245153	0,0746814
70	0,0221316	0,0374976	0,0243386	0,0856455
80	0,0259284	0,0572161	0,0223668	0,0581817
90	0,0212604	0,0350449	0,0185113	0,079997
100	0,0217448	0,0321075	0,0169342	0,0636152
110	0,0215806	0,0435728	0,017596	0,029718
120	0,0162723	0,0278789	0,0162833	0,0560607
média	0,032844	0,0690836	0,0291249	0,0743592

TABELA 5.131 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO III – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,1089952	0,1413464	0,0901671	0,2073459
20	0,0922629	0,1705989	0,0711595	0,1533649
30	0,0726285	0,1199604	0,0476646	0,1140993
40	0,0637523	0,1689358	0,0366507	0,117458
50	0,0587806	0,0758281	0,0406521	0,0539062
60	0,0568156	0,1314727	0,0369363	0,1109633
70	0,0488103	0,0945492	0,036666	0,086394
80	0,0468137	0,1232821	0,0319556	0,0456769
90	0,0508815	0,1059237	0,0336752	0,0746733
100	0,0518314	0,1222716	0,0492379	0,1040412
110	0,0358655	0,0809733	0,0353166	0,0693272
120	0,0492433	0,0827821	0,0346302	0,0898176
média	0,0613901	0,1181604	0,0453926	0,1022556

TABELA 5.132 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO IV – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,048596958	0,1134996	0,029488	0,1285965
20	0,033508636	0,0941963	0,0242338	0,0942215
30	0,032759596	0,0872947	0,0269415	0,0838528
40	0,026769446	0,0774957	0,0266992	0,0574719
50	0,028550476	0,0688931	0,0223686	0,0337515
60	0,026907281	0,0587294	0,0232923	0,0295691
70	0,017992425	0,0335904	0,0196373	0,0580936
80	0,032490111	0,1033782	0,0200568	0,0937563
90	0,019145652	0,0563468	0,0195235	0,0373557
100	0,021813516	0,0324568	0,0135792	0,0304736
110	0,018521267	0,0589562	0,0195094	0,0886993
120	0,021563175	0,0375931	0,0161985	0,037974
média	0,027384878	0,0685359	0,021794	0,0644846

TABELA 5.133 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO V – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,1220538	0,1814955	0,1032354	0,2099845
20	0,1118512	0,1588077	0,1039998	0,1594842
30	0,0653363	0,1676581	0,0623988	0,1112324
40	0,091888	0,1422189	0,04912	0,0711265
50	0,0950432	0,1557315	0,0478733	0,1170082
60	0,0707037	0,1385689	0,077225	0,1155556
70	0,0803909	0,0941987	0,0495201	0,0828955
80	0,0475928	0,1036861	0,0505735	0,08454
90	0,0570715	0,0771044	0,0455569	0,1121404
100	0,0497037	0,1089379	0,0541822	0,0797263
110	0,050862	0,1170403	0,0330742	0,0527664
120	0,0364171	0,0655091	0,0381564	0,0630434
média	0,0732429	0,1259131	0,0595763	0,1049586

TABELA 5.134 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO VI – MM-FT₂ E MM-FT₃

n	K = 4		K = 7	
	2	3	2	3
10	0,1609154	0,2821064	0,0945056	0,3614412
20	0,1290428	0,2642905	0,0810702	0,1661158
30	0,073225	0,170207	0,0576971	0,1352679
40	0,0705283	0,0988658	0,052302	0,0851302
50	0,0884382	0,1685554	0,0645032	0,1199056
60	0,0793681	0,194697	0,0466937	0,0763718
70	0,0552824	0,1023952	0,0516097	0,1142163
80	0,0712938	0,0900221	0,0498597	0,1179908
90	0,0742228	0,1231246	0,0370514	0,0858208
100	0,0541353	0,1184698	0,0552628	0,1064543
110	0,0454375	0,090077	0,0397839	0,0826659
120	0,0473435	0,1085293	0,0401851	0,0683245
média	0,0791028	0,150945	0,055877	0,1266421

As tabelas 5.135 a 5.140 referem-se aos resultados obtidos na comparação geral entre os quatro métodos para o desvio-padrão do desvio relativo das seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O valor do desvio relativo médio em porcentagem é apresentado em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.135 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO I

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,14078	0,14314	0,22377	0,15535	0,09645	0,09117	0,14449	0,13159
20	0,09110	0,09483	0,25861	0,11285	0,08066	0,07669	0,14016	0,11647
30	0,08369	0,07295	0,12503	0,15585	0,07051	0,07894	0,13907	0,13286
40	0,08624	0,08168	0,12221	0,15043	0,06966	0,06971	0,16699	0,12582
50	0,09031	0,08002	0,11438	0,09610	0,05828	0,06685	0,13314	0,18662
60	0,06687	0,06213	0,14333	0,08305	0,05113	0,05309	0,15681	0,12018
70	0,06764	0,07091	0,13986	0,17547	0,04082	0,03873	0,06617	0,04945
80	0,04923	0,05104	0,10640	0,09952	0,05851	0,06299	0,10364	0,08306
90	0,04143	0,04699	0,07870	0,09200	0,03726	0,03550	0,06729	0,03834
100	0,04572	0,04938	0,10460	0,06756	0,02902	0,03619	0,05338	0,04757
110	0,04390	0,05004	0,06787	0,05621	0,04748	0,04682	0,08794	0,08216
120	0,04351	0,04369	0,07387	0,05486	0,04005	0,03584	0,06437	0,04883
média	0,07087	0,07057	0,12989	0,10827	0,05665	0,05771	0,11029	0,09691

TABELA 5.136 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO II

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,07324	0,07141	0,17055	0,11309	0,06593	0,06868	0,12143	0,12863
20	0,06404	0,06841	0,08568	0,07758	0,05074	0,05002	0,06376	0,07560
30	0,03689	0,03515	0,13624	0,09820	0,02921	0,03070	0,12329	0,09605
40	0,03264	0,03384	0,05276	0,04643	0,03844	0,04416	0,09825	0,08547
50	0,02975	0,03000	0,07134	0,07383	0,02398	0,02041	0,04914	0,03656
60	0,03136	0,03140	0,09046	0,09383	0,02658	0,02454	0,07477	0,05854
70	0,02517	0,02238	0,03793	0,03222	0,02240	0,02434	0,08565	0,04918
80	0,02826	0,02617	0,05776	0,07093	0,02551	0,02241	0,05828	0,06693
90	0,02167	0,02163	0,03566	0,02943	0,02099	0,01856	0,08021	0,07816
100	0,02079	0,02186	0,03227	0,02370	0,01850	0,01709	0,06419	0,07032
110	0,02696	0,02166	0,04373	0,02349	0,01996	0,01777	0,03002	0,01945
120	0,01740	0,01627	0,02788	0,01876	0,01641	0,01655	0,05698	0,04888
média	0,03401	0,03335	0,07019	0,05846	0,02989	0,02960	0,07550	0,06782

TABELA 5.137 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO III

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,12099	0,11926	0,15465	0,28168	0,08138	0,09017	0,20735	0,24131
20	0,10557	0,09860	0,18231	0,17604	0,06405	0,07184	0,15483	0,08785
30	0,07348	0,07397	0,12218	0,10128	0,04478	0,04775	0,11431	0,09794
40	0,07578	0,06471	0,17148	0,11419	0,03330	0,03759	0,12045	0,12033
50	0,05657	0,06185	0,07979	0,08480	0,04424	0,04360	0,05781	0,08446
60	0,06781	0,05887	0,13622	0,09473	0,04002	0,03832	0,11512	0,08464
70	0,05679	0,05109	0,09896	0,06981	0,03900	0,03713	0,08748	0,06344
80	0,04542	0,04699	0,12376	0,08589	0,03289	0,03347	0,04784	0,05433
90	0,05544	0,05216	0,10858	0,09477	0,03290	0,03406	0,07552	0,07354
100	0,06113	0,05337	0,12591	0,12718	0,04815	0,04995	0,10555	0,10059
110	0,03473	0,03776	0,08525	0,05480	0,03571	0,03615	0,07096	0,06756
120	0,04021	0,04924	0,08278	0,05292	0,03876	0,03563	0,09242	0,06982
média	0,06616	0,06399	0,12266	0,11151	0,04460	0,04630	0,10414	0,09548

TABELA 5.138 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO IV

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,04617	0,04873	0,11382	0,14513	0,02967	0,02968	0,12942	0,11366
20	0,03953	0,03520	0,09895	0,11007	0,02482	0,02423	0,09422	0,08037
30	0,03899	0,03305	0,08807	0,11601	0,02967	0,02788	0,08678	0,10707
40	0,02669	0,02677	0,07750	0,07683	0,02777	0,02709	0,05831	0,02687
50	0,02812	0,02883	0,06956	0,07321	0,02361	0,02281	0,03441	0,02808
60	0,02479	0,02691	0,05873	0,04365	0,02080	0,02370	0,03008	0,03914
70	0,01780	0,01811	0,03382	0,02646	0,01677	0,01965	0,05814	0,05107
80	0,02425	0,03262	0,10379	0,07670	0,01928	0,02016	0,09422	0,05790
90	0,01713	0,01940	0,05710	0,04909	0,02079	0,01992	0,03812	0,02473
100	0,01915	0,02226	0,03313	0,02111	0,01393	0,01375	0,03086	0,01858
110	0,01892	0,01889	0,06012	0,06857	0,01993	0,01974	0,08973	0,04584
120	0,02215	0,02215	0,03861	0,04499	0,01672	0,01679	0,03937	0,04978
média	0,02698	0,02774	0,06943	0,07099	0,02198	0,02212	0,06530	0,05359

TABELA 5.139 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO V

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,13207	0,13364	0,19872	0,21045	0,09957	0,10621	0,21603	0,13633
20	0,11639	0,11865	0,16846	0,14688	0,09669	0,10855	0,16646	0,16063
30	0,08653	0,06944	0,17819	0,15163	0,07256	0,06392	0,11394	0,10205
40	0,02956	0,09375	0,14510	0,09107	0,05386	0,05261	0,07618	0,06273
50	0,09994	0,16592	0,16592	0,14019	0,12929	0,05290	0,12929	0,09409
60	0,06412	0,07070	0,13857	0,13824	0,08845	0,08106	0,12129	0,07266
70	0,07355	0,08039	0,09420	0,07853	0,04952	0,05061	0,08472	0,06881
80	0,05172	0,04943	0,10769	0,08849	0,04379	0,05057	0,08454	0,10386
90	0,05813	0,06188	0,08360	0,07465	0,04573	0,04628	0,11392	0,07755
100	0,05119	0,05184	0,11363	0,06802	0,04710	0,05518	0,08119	0,08149
110	0,05314	0,05227	0,12028	0,08353	0,03372	0,03362	0,05364	0,04786
120	0,03631	0,03708	0,06669	0,03824	0,04505	0,04021	0,06643	0,04587
média	0,07105	0,08208	0,13175	0,10916	0,06711	0,06181	0,10897	0,08783

TABELA 5.140 – DESVIO-PADRÃO DO DESVIO RELATIVO DA RELAÇÃO VI

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,17032	0,17190	0,30137	0,22646	0,09922	0,09681	0,37026	14,91429
20	0,13545	0,14559	0,29818	0,21763	0,08209	0,08134	0,16667	0,11607
30	0,07577	0,07691	0,17876	0,12023	0,07132	0,06180	0,14490	0,09588
40	0,07966	0,07640	0,10710	0,11573	0,05492	0,05463	0,08891	0,05861
50	0,08979	0,09055	0,17257	0,16480	0,06258	0,06687	0,12431	0,12903
60	0,08229	0,08371	0,20536	0,11831	0,04779	0,04793	0,07839	0,04834
70	0,05896	0,05842	0,10820	0,12359	0,04916	0,05329	0,11792	0,07288
80	0,06899	0,07197	0,09087	0,07751	0,04933	0,05167	0,12227	0,09803
90	0,07584	0,07693	0,12762	0,10228	0,03866	0,03812	0,08829	0,10298
100	0,06510	0,05894	0,12898	0,07171	0,05593	0,05827	0,11224	0,06472
110	0,05222	0,04605	0,09130	0,05795	0,04920	0,04000	0,08311	0,05216
120	0,06523	0,05110	0,11714	0,06437	0,04283	0,04172	0,07094	0,04329
média	0,08497	0,08404	0,16062	0,12171	0,05859	0,05770	0,13069	1,31636

As tabelas 5.141 a 5.146 referem-se aos resultados obtidos para os tempos médios de computação dos quatro métodos, medidos em milisegundos (ms), para as seis relações de ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. Os tempos médios são apresentados em função do número de tarefas e separadamente para 4 e 7 estágios.

TABELA 5.141 – TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) DOS PROBLEMAS DA RELAÇÃO I

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,31	0,31	0,16	0,32	0,47	0,47	0,47	0,46
20	0,78	0,93	0,78	0,78	1,87	1,72	1,56	1,56
30	1,72	1,88	1,71	1,57	3,9	3,59	3,59	3,43
40	3,44	3,13	3,44	3,44	6,57	6,25	6,1	6,1
50	5,16	5,31	5,31	5,32	8,9	7,97	9,22	9,22
60	7,65	7,5	7,5	7,5	14,38	13,9	13,72	13,9
70	10,31	10,31	8,75	8,6	19,37	18,91	18,75	18,59
80	11,41	11,25	12,97	13,13	21,1	22,82	21,56	21,09
90	17,03	17,04	17,03	16,87	31,25	30,79	30,94	30,78
100	17,37	17,34	17,35	17,34	37,19	36,41	36,88	36,72
110	25,36	25,31	25,16	25,15	46,25	45,94	45,63	45,31
120	29,85	29,84	29,69	29,85	54,22	53,91	54,07	53,6
média	10,8658	10,8458	10,8208	10,8225	20,4558	20,2233	20,2075	20,0633

TABELA 5.142 – TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) DOS PROBLEMAS DA RELAÇÃO II

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,47	0,63	0,32	0,31	0,62	0,63	0,78	0,78
20	1,41	1,88	1,25	1,25	3,12	2,81	2,81	2,82
30	2,66	2,66	2,5	2,66	6,4	5,94	5,78	5,93
40	5	4,84	4,69	4,69	10,79	10,47	10,31	10,47
50	7,34	7,5	7,19	7,03	13,75	13,44	13,43	13,29
60	10,62	10,46	10,16	10,31	23,44	23,44	23,12	23,12
70	14,22	14,21	13,9	14,07	32,03	31,72	31,56	31,72
80	18,91	19,07	17,97	17,97	41,41	41,41	41,1	41,25
90	23,44	23,28	22,81	22,66	52,03	52,35	51,72	51,72
100	33,6	33,9	27,97	28,12	68,44	64,38	64,06	63,6
110	34,22	34,22	33,59	33,6	81,09	77,5	77,03	76,88
120	40,63	41,25	45,78	42,82	94,68	92,5	91,71	91,57
média	16,0433	16,1583	15,6775	15,4575	35,65	34,7158	34,4508	34,4291

TABELA 5.143 – TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) DOS PROBLEMAS DA RELAÇÃO III

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,32	0,16	0,15	0,3	0,46	0,47	0,46	0,46
20	1,1	0,94	0,78	0,78	2,03	1,72	1,72	1,72
30	1,88	1,72	1,72	1,56	3,75	3,6	3,43	3,44
40	3,6	3,44	3,59	3,43	6,56	6,1	6,1	6,09
50	5,63	5,47	5,31	5,31	9,69	9,06	8,43	8,43
60	8,12	7,65	7,66	7,5	15,16	13,9	13,6	13,75
70	9,69	9,37	8,59	8,75	19,53	19,06	18,75	23,75
80	13,28	12,65	13,44	13,44	24,37	23,75	23,75	24,07
90	14,69	14,06	14,06	14,22	31,4	31,09	30,47	30,63
100	17,97	17,34	17,34	17,19	36,88	36,56	36,57	36,09
110	25,62	25,31	24,85	24,37	46,25	45,62	45,31	45,47
120	30,78	30	29,85	30	54,38	54,33	54,22	54,22
média	11,0566	10,6758	10,6116	10,5708	20,8716	20,4383	20,2341	20,6766

TABELA 5.144 – TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) DOS PROBLEMAS DA RELAÇÃO IV

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,47	0,31	0,15	0,31	0,62	0,47	0,46	0,47
20	1,1	0,78	0,94	0,94	1,71	1,72	1,72	1,56
30	1,57	1,57	1,56	1,72	3,91	3,59	3,44	3,44
40	2,97	2,81	2,81	2,82	6,41	6,1	5,63	5,78
50	4,37	4,22	4,22	4,38	9,69	9,22	9,06	9,06
60	6,56	6,1	6,09	6,09	13,91	13,12	13,12	12,97
70	8,75	9,22	8,6	9,38	18,28	17,19	17,19	17,5
80	11,4	10,94	10,93	10,94	22,19	21,87	22,03	22,19
90	17,18	16,41	16,25	16,41	30,15	29,85	28,91	28,75
100	20	20,15	20,15	20,15	36,57	35,62	35,47	35,16
110	24,37	24,22	24,22	24,22	44,69	44,22	43,91	43,75
120	29,22	28,59	28,43	28,6	52,81	52,03	52,03	51,72
média	10,6633	10,4433	10,3625	10,4966	20,0783	19,5833	19,4141	19,3625

TABELA 5.145 – TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) DOS PROBLEMAS DA RELAÇÃO V

n	K = 4				K = 7			
	1	2	3	4	1	2	3	4
10	0,31	0,32	0,31	0,32	0,94	0,63	0,63	0,63
20	1,09	0,93	0,94	0,93	2,03	2,04	1,87	1,88
30	2,18	1,88	2,03	1,87	4,37	4,22	4,38	4,06
40	3,28	3,28	3,13	3,13	8,29	7,35	7,34	7,35
50	5,62	5,47	5	4,84	12,34	11,25	11,25	11
60	7,97	7,5	8,13	8,28	16,41	16,09	15,63	15,94
70	9,85	9,69	9,69	10,16	21,87	21,57	21,25	21,41
80	14,38	12,66	14,06	13,91	28,6	28,12	27,82	27,82
90	19,22	19,22	19,07	18,91	35,94	35,63	35,32	35,15
100	24,07	23,28	23,44	23,43	43,59	43,44	43,12	42,96
110	29,06	28,28	28,13	28,28	55,78	52,34	52,18	51,88
120	32,35	32,19	32,5	32,5	66,1	62,65	62,03	61,87
média	12,4483	12,0583	12,2025	12,2133	24,6883	23,7775	23,5683	23,4958

TABELA 5.146 – TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) DOS PROBLEMAS DA RELAÇÃO VI

n	K = 4				K = 7			
	1	2	1	2	1	2	1	2
10	0,31	0,16	0,16	0,16	0,63	0,31	0,31	0,31
20	1,09	0,79	0,78	0,78	1,56	1,41	1,4	1,4
30	1,57	1,41	1,41	1,4	2,97	3,12	2,96	2,97
40	2,5	2,5	2,5	2,34	5,31	5,16	5,15	5,16
50	3,9	3,75	3,75	3,75	8,12	7,96	7,97	7,81
60	6,41	5,47	5,31	5,16	12,18	11,41	11,41	11,25
70	8,91	7,03	7,19	7,18	16,25	15,78	15,94	15,63
80	11,4	10,78	9,53	9,06	21,1	20,16	20,15	20,16
90	12,19	11,87	11,87	12,5	25,79	25	25,15	24,84
100	17,35	16,88	16,88	16,72	31,72	30,79	30,63	30,63
110	21,25	20,78	20,78	20,79	38,59	37,97	37,82	37,66
120	25,16	24,06	24,53	24,53	45,16	45,16	44,53	44,84
média	9,33666	8,79	8,72416	8,6975	17,4483	17,0191	16,9516	16,8883

5.1.6 Análise dos Resultados

Inicialmente, foi efetuada a análise dos resultados referentes à porcentagem de sucesso dos métodos de solução.

As figuras 5.11 a 5.16 ilustram os gráficos de comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂ para as seis relações. Nesta análise, o objetivo da pesquisa é investigar a influência da ordenação inicial no desempenho dos métodos para todas as relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* em cada método. O método MM-FT₁ utiliza a ordenação inicial TSPT e o método MM-FT₂ utiliza a ordenação inicial TLPT.

FIGURA 5.11 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ -RELAÇÃO I FIGURA 5.12 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ -RELAÇÃO II

FIGURA 5.13 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ -RELAÇÃO III FIGURA 5.14 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ -RELAÇÃO IV

FIGURA 5.15 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ -RELAÇÃO V FIGURA 5.16 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ -RELAÇÃO VI

Os gráficos ilustrados nas figuras 5.11 a 5.16, mostram a superioridade do método MM-FT₁, que usa a ordenação inicial TSPT. O método MM-FT₁ apresentou desempenho superior em todas as relações para problemas com 4 e 7 estágios. O método MM-FT₁ melhora o desempenho à medida que o número de tarefas aumenta, enquanto o método MM-FT₂ piora o desempenho com o aumento do número de tarefas. Em geral, as curvas de desempenho dos

problemas com 4 e 7 estágios apresentam o mesmo comportamento, indicando que o número de estágios não afeta o desempenho do método.

FIGURA 5.17 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ - AGREGANDO AS RELAÇÕES

Com as relações ($O(pi)/O(sij)$) agregadas, conforme podemos visualizar na figura 5.17, predomina a superioridade do método MM-FT₁ para 4 e 7 estágios. O algoritmo MM-FT₁, que usa a ordenação inicial TSPT, apresentou melhor desempenho para 4 e 7 estágios em todas as relações, ou seja, o algoritmo MM-FT₁ obteve maior porcentagem de sucesso.

As figuras 5.18 a 5.23 ilustram os gráficos de comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ para as seis relações. Nesta análise, o objetivo da pesquisa também é investigar a influência da ordenação inicial no desempenho dos métodos para todas as relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* em cada método. O método MM-FT₃ utiliza a ordenação inicial TSPT e o método MM-FT₄ utiliza a ordenação inicial TLPT. Os gráficos são apresentados separadamente para as seis relações.

FIGURA 5.18 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ -RELAÇÃO I FIGURA 5.19 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ -RELAÇÃO II

FIGURA 5.20 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ -RELAÇÃO III FIGURA 5.21 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ -RELAÇÃO IV

FIGURA 5.22 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ -RELAÇÃO V FIGURA 5.23 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ -RELAÇÃO VI

As figuras 5.18 a 5.23 mostram que em geral o método MM-FT₃, que usa a ordenação inicial TSPT, apresenta desempenho superior em todas as relações. O método MM-FT₃ com o aumento do número de tarefas para problemas com 4 estágios, melhora o desempenho nas relações I, II e III e reduz o desempenho para nas relações IV, V e VI. Para problemas com 7 estágios, o método MM-FT₃ melhora levemente seu desempenho com o aumento do número

de tarefas. O método MM-FT₄ reduz o desempenho com o aumento do número de tarefas, para problemas com 4 estágios nas relações I, II, III e V.

FIGURA 5.24 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ - AGREGANDO AS RELAÇÕES

Com as relações $(O(pi)/O(sij))$ agregadas, conforme podemos visualizar na figura 5.24, o método MM-FT₃, que usa a ordenação inicial TSPT, apresenta desempenho superior em relação ao método MM-FT₄, para problemas com 4 e 7 estágios.

Os gráficos das figuras 5.18 a 5.23 mostram que a superioridade dos métodos se alterna para as duas opções de número de estágios. Em geral, as curvas de desempenho dos problemas com 4 e 7 estágios apresentam o mesmo comportamento, indicando que o número de estágios não afeta o desempenho do método.

As figuras 5.25 a 5.30 ilustram os gráficos de comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₃ para as seis relações. Nesta análise, o objetivo da pesquisa é investigar a influência do foco da programação no desempenho dos métodos para todas as relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* em cada método. O método MM-FT₁ utiliza a programação estágio a estágio enquanto que o

método MM-FT₃ utiliza a programação tarefa a tarefa. Os gráficos são apresentados separadamente para as seis relações.

FIGURA 5.25 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ -RELAÇÃO I

FIGURA 5.26 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ -RELAÇÃO II

FIGURA 5.27 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ -RELAÇÃO III

FIGURA 5.28 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ -RELAÇÃO IV

FIGURA 5.29 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ -RELAÇÃO V

FIGURA 5.30 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ -RELAÇÃO VI

As curvas de porcentagem de sucesso para os métodos MM-FT₁ e MM-FT₃ possuem comportamento similar, apresentando o método MM-FT₁ superioridade em relação ao método MM-FT₃. A figura 5.31 a seguir ilustra a comparação da porcentagem de sucesso dos problemas com as relações dos tempos de processamento e de *setup* agregadas.

FIGURA 5.31 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ - AGREGANDO AS RELAÇÕES

Com as relações $(O(pi)/O(sij))$ agregadas, conforme podemos visualizar na figura 5.31, o método MM-FT₁, que usa a programação estágio a estágio, apresenta desempenho superior em relação ao método MM-FT₃, que obteve menos que um 1% de vitórias, sendo seu melhor desempenho verificado na relação IV, para problemas com 10 tarefas.

As figuras 5.32 a 5.37 ilustram os gráficos de comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos MM-FT₂ e MM-FT₄ para as seis relações. Nesta análise, o objetivo da pesquisa é investigar a influência do foco da programação no desempenho dos métodos para todas as relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* em cada método. O método MM-FT₂ utiliza a programação estágio a estágio enquanto o método MM-FT₄ utiliza a programação tarefa a tarefa. Os gráficos são apresentados separadamente para as seis relações.

FIGURA 5.32 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ -RELAÇÃO I

FIGURA 5.33 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ -RELAÇÃO II

FIGURA 5.34 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ -RELAÇÃO III

FIGURA 5.35 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ -RELAÇÃO IV

FIGURA 5.36 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ -RELAÇÃO V

FIGURA 5.37 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ -RELAÇÃO VI

As figuras 5.32 a 5.33 mostram que o método MM-FT₂ apresentou desempenho superior em relação ao MM-FT₄. As curvas de porcentagem de sucesso para os métodos MM-FT₂ e MM-FT₄, possuem comportamento similar. A figura 5.38 a seguir ilustra a comparação da porcentagem de sucesso dos problemas com as relações dos tempos de processamento e de *setup* agregadas.

FIGURA 5.38 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ - AGREGANDO AS RELAÇÕES

Com as relações ($O(pi)/O(sij)$) agregadas, conforme podemos visualizar na figura 5.38, o método MM-FT₂, que usa a programação estágio a estágio, apresenta desempenho superior em relação ao método MM-FT₄, que obteve menos que um 1% de vitórias, sendo seu melhor desempenho verificado para problemas com 10 tarefas.

Os resultados obtidos pelos métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ foram surpreendentes, mostrando que a programação tarefa a tarefa apresenta um desempenho bastante inferior. De modo a circunstanciar tal desempenho, utilizaremos um exemplo, de pequeno porte, para comparar os quatro métodos de solução propostos.

O problema consiste em programar um conjunto de 5 tarefas a serem processadas em um *flow shop* híbrido com 7 estágios de produção, com três máquinas no primeiro estágio, duas máquinas no segundo estágio, três máquinas no terceiro estágio, duas máquinas no quarto estágio, três máquinas no quinto estágio, duas máquinas no sexto estágio e três máquinas do sétimo estágio.

TABELA 5.147 - TEMPOS DE PROCESSAMENTO DE J_1 - 7 ESTÁGIOS

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
p_{i1}	2	1	4	1	3
p_{i2}	2	3	5	2	2
p_{i3}	5	5	5	2	1
p_{i4}	3	1	4	2	3
p_{i5}	1	4	1	2	2
p_{i6}	1	4	1	3	2
p_{i7}	3	5	2	2	5

TABELA 5.148 - TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 1- 7 ESTÁGIOS

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
J_1	-	1	2	1	2
J_2	2	-	3	4	1
J_3	1	1	-	2	4
J_4	1	3	1	-	3
J_5	3	1	1	3	-

TABELA 5.149 - TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 2- 7 ESTÁGIOS

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
J_1	-	2	2	1	2
J_2	1	-	2	1	2
J_3	1	2	-	1	2
J_4	1	1	1	-	2
J_5	4	4	2	2	-

TABELA 5.150 - TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 3- 7 ESTÁGIOS

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
J_1	-	1	1	2	3
J_2	3	-	3	1	3
J_3	3	3	-	2	1
J_4	2	1	1	-	2
J_5	1	2	1	2	-

TABELA 5.151 - TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 4- 7 ESTÁGIOS

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
J_1	-	1	2	1	2
J_2	2	-	3	4	1
J_3	3	3	-	2	4
J_4	1	2	2	-	1
J_5	1	3	1	1	-

TABELA 5.152 – TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 5– 7 ESTÁGIOS

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅
J ₁	-	1	2	2	1
J ₂	2	-	1	2	2
J ₃	1	2	-	2	1
J ₄	3	2	2	-	1
J ₅	1	1	1	1	-

TABELA 5.153 – TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 6– 7 ESTÁGIOS

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅
J ₁	-	2	4	3	2
J ₂	1	-	4	1	2
J ₃	2	3	-	2	1
J ₄	1	1	1	-	2
J ₅	1	2	2	3	-

TABELA 5.154 – TEMPOS DE *SETUP* DO ESTÁGIO 7– 7 ESTÁGIOS

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅
J ₁	-	4	1	1	1
J ₂	2	-	4	1	3
J ₃	3	1	-	1	3
J ₄	2	2	1	-	2
J ₅	1	2	1	2	-

TABELA 5.155 - SOMA DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO DE J₁– 7 ESTÁGIOS

	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅
Σp_{ij}	17	23	22	14	18

Algoritmo 1 - MM -FT₁ (TSPT/SRD/SCT)

1º. Estágio

Ordenação inicial – J₄ – J₁ – J₅ – J₃ – J₂ (Regra de prioridade TSPT)

$$\sigma_1 \leftarrow J_4 - J_3 ; \sigma_2 \leftarrow J_3 - J_2 ; \sigma_3 \leftarrow J_5$$

2º. Estágio

$$r_1 = 2 ; r_2 = 4 ; r_3 = 6 ; r_4 = 1 ; r_5 = 3$$

Ordenação SRD - $J_4 - J_1 - J_5 - J_2 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_4 \leftarrow J_4 - J_5 - J_3; \sigma_5 \leftarrow J_1 - J_2$$

3º. Estágio

$$r_1 = 4; r_2 = 9; r_3 = 14; r_4 = 3; r_5 = 7$$

Ordenação SRD - $J_4 - J_1 - J_5 - J_2 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_6 \leftarrow J_4 - J_2; \sigma_7 \leftarrow J_1 - J_3; \sigma_8 \leftarrow J_5$$

4º. Estágio

$$r_1 = 9; r_2 = 14; r_3 = 19; r_4 = 5; r_5 = 8$$

Ordenação SRD - $J_4 - J_5 - J_1 - J_2 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_9 \leftarrow J_4 - J_1 - J_2 - J_3; \sigma_{10} \leftarrow J_5$$

5º. Estágio

$$r_1 = 12; r_2 = 15; r_3 = 23; r_4 = 7; r_5 = 11$$

Ordenação SRD - $J_4 - J_5 - J_1 - J_2 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_{11} \leftarrow J_4 - J_2 - J_3; \sigma_{12} \leftarrow J_5; \sigma_{13} \leftarrow J_1$$

6º. Estágio

$$r_1 = 13; r_2 = 19; r_3 = 24; r_4 = 9; r_5 = 13$$

Ordenação SRD - $J_4 - J_5 - J_1 - J_2 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_{14} \leftarrow J_4 - J_1 - J_2; \sigma_{15} \leftarrow J_5 - J_3$$

7º. Estágio

$$r_1 = 14; r_2 = 23; r_3 = 25; r_4 = 12; r_5 = 15$$

Ordenação SRD - $J_4 - J_1 - J_5 - J_2 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_{16} \leftarrow J_4 - J_2; \sigma_{17} \leftarrow J_1 - J_3; \sigma_{18} \leftarrow J_5$$

Programação concluída.

$$F_1 = 17; F_2 = 28; F_3 = 27; F_4 = 14; F_5 = 20$$

$$\text{Tempo Médio de Fluxo} = 21,2$$

A figura 5.39 a seguir apresenta o gráfico de programação do problema, solucionado pelo método MM-FT₁.

FIGURA 5.39 – GRÁFICO DE PROGRAMAÇÃO 7 ESTÁGIOS - MM-FT₁

Algoritmo 2 - MM –FT 2 (TLPT/SRD/SCT)

1º. Estágio

Ordenação inicial – $J_2 - J_3 - J_5 - J_1 - J_4$ (Regra de prioridade TLPT)

$$\sigma_1 \leftarrow J_2 - J_1 - J_4; \sigma_2 \leftarrow J_3; \sigma_3 \leftarrow J_5$$

2º. Estágio

$$r_1 = 5; r_2 = 1; r_3 = 4; r_4 = 3; r_5 = 7$$

Ordenação SRD - $J_2 - J_5 - J_3 - J_1 - J_4$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_4 \leftarrow J_2 - J_3 - J_4; \sigma_5 \leftarrow J_5 - J_1$$

3º. Estágio

$$r_1 = 11; r_2 = 4; r_3 = 11; r_4 = 14; r_5 = 5$$

Ordenação SRD – $J_2 - J_5 - J_3 - J_1 - J_4$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_6 \leftarrow J_2 - J_4; \sigma_7 \leftarrow J_5 - J_1; \sigma_8 \leftarrow J_3$$

4º. Estágio

$$r_1 = 16; r_2 = 9; r_3 = 16; r_4 = 16; r_5 = 6$$

Ordenação SRD – $J_2 - J_5 - J_4 - J_1 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_9 \leftarrow J_2 - J_4 - J_3; \sigma_{10} \leftarrow J_5 - J_1$$

5º. Estágio

$$r_1 = 19; r_2 = 10; r_3 = 24; r_4 = 18; r_5 = 9$$

Ordenação SRD - $J_5 - J_2 - J_4 - J_1 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_{11} \leftarrow J_5 - J_1 - J_3; \sigma_{12} \leftarrow J_2; \sigma_{13} \leftarrow J_4$$

6º. Estágio

$$r_1 = 20; r_2 = 14; r_3 = 25; r_4 = 20; r_5 = 11$$

Ordenação SRD - $J_5 - J_2 - J_1 - J_4 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_{14} \leftarrow J_5 - J_1 - J_3; \sigma_{15} \leftarrow J_2 - J_4$$

7º. Estágio

$$r_1 = 21; r_2 = 18; r_3 = 26; r_4 = 23; r_5 = 13$$

Ordenação SRD – $J_5 - J_2 - J_1 - J_4 - J_3$ (Regra de prioridade SRD)

$$\sigma_{16} \leftarrow J_5 - J_4 - J_3; \sigma_{17} \leftarrow J_2; \sigma_{18} \leftarrow J_1$$

Programação concluída.

$$F_1 = 24; F_2 = 23; F_3 = 28; F_4 = 25; F_5 = 18$$

$$\text{Tempo Médio de Fluxo} = 23,6$$

A figura 5.40 a seguir apresenta o gráfico de programação do problema, solucionado pelo método MM-FT₂.

FIGURA 5.40 – GRÁFICO DE PROGRAMAÇÃO 7 ESTÁGIOS - MM-FT₂

Algoritmo 3 - MM -FT₃ (TSPT/SCT)

Ordenação inicial – J₄ – J₁ – J₅ – J₃ – J₂ (Regra de prioridade TSPT)

Programação - J ₄						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_1	σ_4	σ_6	σ_9	σ_{11}	σ_{14}	σ_{16}
Programação – J ₁						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_2	σ_5	σ_7	σ_{10}	σ_{12}	σ_{15}	σ_{17}
Programação – J ₅						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_3	σ_4	σ_8	σ_9	σ_{13}	σ_{14}	σ_{18}
Programação – J ₃						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_1	σ_5	σ_6	σ_9	σ_{11}	σ_{14}	σ_{16}
Programação – J ₂						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_2	σ_4	σ_7	σ_{10}	σ_{12}	σ_{15}	σ_{16}

FIGURA 5.41 – PROGRAMAÇÃO DE TAREFAS 7 ESTÁGIOS - MM-FT₃

Programação completa:

$$\sigma_1 \leftarrow J_4 - J_3$$

$$\sigma_2 \leftarrow J_1 - J_2$$

$$\sigma_3 \leftarrow J_5$$

$$\sigma_4 \leftarrow J_4 - J_5 - J_2$$

$$\sigma_5 \leftarrow J_1 - J_3$$

$$\sigma_6 \leftarrow J_4 - J_3$$

$$\sigma_7 \leftarrow J_1 - J_2$$

$$\sigma_8 \leftarrow J_5$$

$$\sigma_9 \leftarrow J_4 - J_5 - J_3$$

$$\sigma_{10} \leftarrow J_1 - J_2$$

$$\sigma_{11} \leftarrow J_4 - J_3$$

$$\sigma_{12} \leftarrow J_1 - J_2$$

$$\sigma_{13} \leftarrow J_5$$

$$\sigma_{14} \leftarrow J_4 - J_5 - J_3$$

$$\sigma_{15} \leftarrow J_1 - J_2$$

$$\sigma_{16} \leftarrow J_4 - J_3 - J_2$$

$$\sigma_{17} \leftarrow J_1$$

$$\sigma_{18} \leftarrow J_5$$

$$F_1 = 17; F_2 = 33; F_3 = 24; F_4 = 14; F_5 = 21$$

$$\text{Tempo Médio de Fluxo} = 21,8$$

A figura 5.42 a seguir apresenta o gráfico de programação do problema, solucionado pelo método MM-FT₃

FIGURA 5.42 – GRÁFICO DE PROGRAMAÇÃO 7 ESTÁGIOS - MM-FT₃

Algoritmo 4 - MM –FT4 (TLPT/SCT)

Ordenação inicial – $J_2 - J_3 - J_5 - J_1 - J_4$ (Regra de prioridade TLPT)

Programação – J_2						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_1	σ_4	σ_6	σ_9	σ_{11}	σ_{14}	σ_{16}
Programação – J_3						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_2	σ_5	σ_7	σ_{10}	σ_{12}	σ_{15}	σ_{17}
Programação – J_5						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_3	σ_4	σ_8	σ_9	σ_{13}	σ_{14}	σ_{18}
Programação – J_1						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_1	σ_5	σ_6	σ_9	σ_{11}	σ_{15}	σ_{16}
Programação – J_4						
Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Estágio 5	Estágio 6	Estágio 7
σ_1	σ_4	σ_8	σ_{11}	σ_{12}	σ_{14}	σ_{17}

FIGURA 5.43 – PROGRAMAÇÃO DE TAREFAS 7 ESTÁGIOS - MM-FT₄

Programação completa:

$$\sigma_1 \leftarrow J_2 - J_1 - J_4$$

$$\sigma_2 \leftarrow J_3$$

$$\sigma_3 \leftarrow J_5$$

$$\sigma_4 \leftarrow J_2 - J_5 - J_4$$

$$\sigma_5 \leftarrow J_3 - J_1$$

$$\sigma_6 \leftarrow J_2 - J_1$$

$$\sigma_7 \leftarrow J_3$$

$$\sigma_8 \leftarrow J_5 - J_4$$

$$\sigma_9 \leftarrow J_2 - J_5 - J_1$$

$$\sigma_{10} \leftarrow J_3 - J_4$$

$$\sigma_{11} \leftarrow J_2 - J_1$$

$$\sigma_{12} \leftarrow J_3 - J_4$$

$$\sigma_{13} \leftarrow J_5$$

$$\sigma_{14} \leftarrow J_2 - J_5 - J_4$$

$$\sigma_{15} \leftarrow J_3 - J_1$$

$$\sigma_{16} \leftarrow J_2 - J_1$$

$$\sigma_{17} \leftarrow J_3 - J_4$$

$$\sigma_{18} \leftarrow J_5$$

$$F_1 = 28; F_2 = 23; F_3 = 22; F_4 = 30; F_5 = 27$$

$$\text{Tempo Médio de Fluxo} = 26$$

A figura 5.44 a seguir apresenta o gráfico de programação do problema, solucionado pelo método MM-FT₄.

FIGURA 5.44 – GRÁFICO DE PROGRAMAÇÃO 7 ESTÁGIOS - MM-FT₄

Através de uma análise efetuada nos gráficos de programação dos quatro métodos, pode-se constatar que os métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ obtiveram desempenho muito inferior aos métodos MM-FT₁ e MM-FT₂, pois utilizando a programação tarefa a tarefa, as tarefas necessitam aguardar mais tempo para terem suas operações iniciadas nos estágios. Em outras palavras, o tempo de espera entre operações sucessivas aumenta nos métodos MM-FT₃ e MM-FT₄. Este mesmo fato, pode ser constatado no exemplo desenvolvido no capítulo 4.

As figuras 5.45 a 5.51 apresentam os gráficos de comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₄. Conforme já mencionado, esta comparação foi efetuada com o objetivo de consubstanciar as conclusões advindas das comparações MM-FT₁ com MM-FT₂, e MM-FT₃ com MM-FT₄ (ordenação inicial TSPT superior à TLPT), e das comparações MM-FT₁ com MM-FT₃, e MM-FT₂ com MM-FT₄ (programação estágio a estágio superior à programação tarefa a tarefa).

FIGURA 5.45 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ -RELAÇÃO I

FIGURA 5.46 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ -RELAÇÃO II

FIGURA 5.47 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ -RELAÇÃO III

FIGURA 5.48 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ -RELAÇÃO IV

FIGURA 5.49 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ -RELAÇÃO V

FIGURA 5.50 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ -RELAÇÃO VI

Como já esperado, as figuras 5.45 a 5.50 mostram que o método MM-FT₁ é superior ao MM-FT₄. O método MM-FT₄ obteve vitórias apenas na relação IV, para problemas com 10 tarefas e 4 estágios. As curvas de porcentagem de sucesso para os métodos MM-FT₁ e MM-FT₄, possuem comportamento similar. A figura 5.51 a seguir ilustra a comparação da porcentagem de sucesso dos problemas com as relações dos tempos de processamento e de *setup* agregadas.

FIGURA 5.51 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – AGREGANDO AS RELAÇÕES

As figuras 5.52 a 5.57 apresentam os gráficos de comparação da porcentagem de sucesso entre os métodos MM-FT₂ e MM-FT₃. Nesta análise, o objetivo da pesquisa é investigar a influência do foco da programação, no método MM-FT₂ e da ordenação inicial no método MM-FT₃, no desempenho dos métodos para todas as relações entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup*. O método MM-FT₂ utiliza a programação estágio a estágio, com a ordenação inicial TLPT, enquanto que o método MM-FT₃ utiliza a programação tarefa a tarefa, com a ordenação inicial TSPT. Portanto, busca-se avaliar a força da programação estágio a estágio, mesmo com uma ordenação inicial de menor desempenho (TLPT comparada com a TSPT). Os gráficos são apresentados separadamente para as seis relações.

FIGURA 5.52 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ -RELAÇÃO I

FIGURA 5.53 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ -RELAÇÃO II

FIGURA 5.54 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ -RELAÇÃO III

FIGURA 5.55 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ -RELAÇÃO IV

FIGURA 5.56 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ -RELAÇÃO V

FIGURA 5.57 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ -RELAÇÃO V

As figuras 5.52 a 5.57 mostram que o método MM-FT₂ apresentou desempenho superior em relação ao MM-FT₃. As curvas de porcentagem de sucesso para os métodos MM-FT₂ e MM-FT₃, possuem comportamento similar. A figura 5.58 a seguir ilustra a comparação da porcentagem de sucesso dos problemas com as relações dos tempos de processamento e de *setup* agregadas.

FIGURA 5.58 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO - MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – AGREGANDO AS RELAÇÕES

Com as relações ($O(pi)/O(sij)$) agregadas, conforme podemos visualizar na figura 5.58, o método MM-FT₂, que usa a programação estágio a estágio e ordenação inicial TLPT, apresenta desempenho superior em relação ao método MM-FT₃, que usa a programação tarefa a tarefa e ordenação inicial TSPT, que obteve menos de 3% de vitórias. Como poderia ser esperado, as figuras 5.52 a 5.58 mostram que a programação estágio a estágio tem um excelente desempenho quando comparada com a programação tarefa a tarefa, mesmo com uma ordenação inicial TLPT, inferior à TSPT.

Na sequência, são analisados os gráficos relativos à comparação geral dos quatro métodos. As figuras 5.59 a 5.64 mostram as porcentagens de sucesso para as seis relações. Como o objetivo é analisar a influência da relação entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* em cada método, os gráficos são apresentados separadamente para as seis relações.

FIGURA 5.59 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO ENTRE OS MÉTODOS - RELAÇÃO I

FIGURA 5.60 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO ENTRE OS MÉTODOS - RELAÇÃO II

FIGURA 5.61 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO ENTRE OS MÉTODOS - RELAÇÃO III

FIGURA 5.62 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO ENTRE OS MÉTODOS - RELAÇÃO IV

FIGURA 5.63 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO ENTRE OS MÉTODOS - RELAÇÃO V

FIGURA 5.64 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO ENTRE OS MÉTODOS - RELAÇÃO VI

Os gráficos das figuras 5.59 a 5.64 mostram que em geral, com o aumento do número de tarefas, o método MM-FT₁ melhora levemente seu desempenho, enquanto o método MM-FT₂ piora levemente seu desempenho. Para todas as relações ($O(pi)/O(sij)$) e portes de problemas, os métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ mostraram desempenho inferior, obtendo menos de 1% de vitórias. Para as relações I, IV e VI, os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂ apresentam instabilidade considerável à medida que o número de tarefas aumenta.

FIGURA 5.65 – COMPARAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO ENTRE OS MÉTODOS AGREGANDO AS RELAÇÕES

Na comparação geral, o gráfico da figura 5.65 mostra que para todas as relações ($O(pi)/O(sij)$) e portes de problemas, o método MM-FT₁ possui desempenho superior, tanto para problemas com 4 estágios como para problemas com 7 estágios. Em geral, as curvas de desempenho dos problemas com 4 e 7 estágios mantêm o mesmo comportamento, podendo indicar que o número de estágios não afeta significativamente o desempenho do método.

Com as relações ($O(pi)/O(sij)$) agregadas, conforme podemos visualizar na figura 5.65, predomina a superioridade do método MM-FT₁ para 4 e 7 estágios. Entretanto, os gráficos das figuras 5.59 a 5.64, sem agregação, mostram que a superioridade de desempenho dos métodos se alterna em todas as relações.

Em seguida, serão apresentadas as comparações e análises do desvio relativo médio, que mede a variação correspondente à melhor solução obtida pelos métodos. Os gráficos das figuras 5.66 a 5.71 mostram a comparação dos desvios relativos médios em porcentagem entre os métodos de solução MM-FT₁ e MM-FT₂ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.66 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.67 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO II

FIGURA 5.68 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.69 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.70 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.71 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO VI

Os valores dos desvios relativos ilustrados nas figuras 5.66 a 5.71 confirmam a análise realizada para a porcentagem de sucesso dos métodos. O método MM-FT₁ com bom desempenho na porcentagem de sucesso, teve os menores valores de desvio relativo.

Os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂ apresentam relativa estabilidade dos valores dos desvios relativos à medida que o número de tarefas aumenta. Com todas as seis relações, a tendência é a diminuição dos desvios relativos com o aumento do número de tarefas. Isto significa que, à medida que o porte do problema aumenta, as diferenças no desempenho dos métodos tendem a diminuir. Embora constatando a diminuição dos desvios à medida que o número de tarefas aumenta, ambos os métodos apresentam oscilações maiores nos valores dos desvios relativos médios para a relação IV.

Quando comparados os desvios relativos médios para 4 e 7 estágios, em todas as relações, o menor desvio relativo médio foi obtido para os problemas com 7 estágios. O método MM-FT₁ apresentou em todas as relações o menor desvio relativo médio.

As figuras 5.72 a 5.77 mostram a comparação dos desvios relativos médios em porcentagem entre os métodos de solução MM-FT₃ e MM-FT₄ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.72 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.73 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO II

FIGURA 5.74 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.75 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.76 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.77 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO VI

As figuras 5.72 a 5.77 mostram que de um modo geral, o método MM-FT₃ apresentou os menores valores dos desvios relativos. Podemos verificar que os valores dos desvios relativos diminuem à medida que o número de tarefas aumenta, tanto para os problemas com 4 estágios como para os problemas com 7 estágios. Contudo, ambos os métodos apresentam

oscilações significativas nos valores dos desvios relativos médios para as relações I, II, III e IV. Nas relações V e VI os valores tornam-se mais estáveis à medida que o número de tarefas aumenta.

Quando comparados os desvios relativos médios para 4 e 7 estágios, em todas as relações, o menor desvio relativo médio foi obtido para os problemas com 7 estágios. Isto significa que, à medida que o porte do problema aumenta, as diferenças no desempenho dos métodos tendem a diminuir, assim com foi observado na comparação entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂.

As figuras 5.78 a 5.83 mostram a comparação dos desvios relativos médios em porcentagem entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₃ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.78 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.79 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO II

FIGURA 5.80 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.81 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.82 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.83 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO VI

Os valores dos desvios relativos são menores para o método MM-FT₁, para problemas com 4 e com 7 estágios. Podemos verificar nas figuras 5.73 a 5.82 que os valores dos desvios relativos para o método MM-FT₁ são mais estáveis e diminuem levemente à medida que o número de tarefas aumenta. No método MM-FT₃, tanto para problemas com 4 quanto com 7 estágios, para todas as relações os desvios relativos médios oscilam bastante.

Quando comparados os desvios relativos médios para 4 e 7 estágios, em todas as relações, o menor desvio relativo médio foi obtido pelo método MM-FT₁ para os problemas com 7 estágios.

As figuras 5.84 a 5.89 mostram a comparação dos desvios relativos médios em porcentagem entre os métodos MM-FT₂ e MM-FT₄ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.84 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.85 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO II

FIGURA 5.86 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.87 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.88 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.89 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO VI

Assim como nas análises efetuadas para porcentagem de sucesso, onde o método MM-FT₂ apresentou maior porcentagem de sucesso quando comparado com o método MM-FT₃, as figuras 5.84 a 5.89 indicam que os valores dos desvios relativos são menores para o método MM-FT₂, para problemas com 4 e com 7 estágios. Podemos verificar que os valores dos desvios relativos para o método MM-FT₂ são mais estáveis e diminuem levemente à medida

que o número de tarefas aumenta. Do mesmo modo que na comparação realizada entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₃, quando comparados com o método MM-FT₂ no método MM-FT₄ os desvios relativos médios oscilam bastante, para problemas com 4 e 7 estágios nas relações I, II e IV. Quando comparados os desvios relativos médios para 4 e 7 estágios, em todas as relações, o menor desvio relativo médio foi obtido pelo método MM-FT₂ para os problemas com 7 estágios.

As figuras 5.90 a 5.95 mostram a comparação dos desvios relativos médios em porcentagem entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₄ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.90 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.91 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO II

FIGURA 5.92 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.93 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.94 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.95 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO VI

Assim como nas comparações efetuadas entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂, MM-FT₁ e MM-FT₃, os desvios relativos também são menores para o método MM-FT₁ quando comparados com o método MM-FT₄, tanto para problemas com 4 como com 7 estágios, como indicam as figuras 5.90 a 5.95.

Podemos verificar que os valores dos desvios relativos para o método MM-FT₁ são mais estáveis e diminuem levemente à medida que o número de tarefas aumenta. Os desvios relativos do método MM-FT₄ apresenta bastante oscilação para as relações II e IV em problemas com 4 e 7 estágios. Quando comparados os desvios relativos médios para 4 e 7 estágios, em todas as relações, o menor desvio relativo médio foi obtido pelo método MM-FT₁ para os problemas com 7 estágios.

As figuras 5.96 a 5.101 mostram a comparação dos desvios relativos médios em porcentagem entre os métodos MM-FT₂ e MM-FT₃ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.96 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.97 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO II

FIGURA 5.98 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.99 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.100 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.101 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO VI

As figuras 5.96 a 5.101 indicam que os valores dos desvios relativos são menores para o método MM-FT₂, para problemas com 4 e com 7 estágios. Podemos verificar que os valores dos desvios relativos para o método MM-FT₂ são mais estáveis e diminuem levemente à medida que o número de tarefas aumenta, enquanto os valores dos desvios relativos para o

método MM-FT₃ também diminuem à medida que o número de tarefas aumenta, porém a amplitude de variação oscila bastante. Quando comparados os desvios relativos médios para 4 e 7 estágios, em todas as relações, o menor desvio relativo médio foi obtido pelo método MM-FT₃ para os problemas com 7 estágios.

Na comparação geral dos quatro métodos, as figuras 5.102 a 5.107 mostram os desvios relativos médios em porcentagem para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.102 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO I

FIGURA 5.103 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO II

FIGURA 5.104 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO III

FIGURA 5.105 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO IV

FIGURA 5.106 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO V

FIGURA 5.107 – COMPARAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÉDIO (%) ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO VI

As figuras 5.102 a 5.107 indicam que os valores dos desvios relativos são menores para o método MM-FT₁, para problemas com 7 estágios. Podemos verificar que os valores dos desvios relativos para os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂ são mais estáveis e diminuem levemente à medida que o número de tarefas aumenta. Em todas as relações, os métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ apresentam instabilidade nos valores dos desvios relativos médios para problemas com 4 e 7 estágios.

Na sequência, serão apresentadas as comparações e análises do desvio-padrão do desvio relativo, que mede o grau de dispersão em torno do desvio relativo médio, ou seja, mede a variação dos desvios relativos de uma classe de problemas em torno do seu valor médio. Como já salientado anteriormente, quanto menor for o valor do desvio-padrão, melhor é o método de solução quando comparado com um outro, no caso em que ambos apresentarem desvios relativos médios com diferença não significativa.

As figuras 5.108 a 5.113 mostram a comparação do desvio-padrão dos desvios relativos entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.108 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO I FIGURA 5.109 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO II FIGURA 5.110 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.111 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.112 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.113 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₂ – RELAÇÃO VI

Confirmando o desempenho do método $MM-FT_1$ verificado através das análises realizadas para porcentagem de sucesso e desvio relativo médio, as figuras 5.108 a 5.113 indicam que o método $MM-FT_1$ também apresenta os menores valores para o desvio-padrão, sendo estes valores menores para problemas com 7 estágios. Para problemas com 4 estágios, os menores valores se alternam entre os métodos $MM-FT_1$ e $MM-FT_2$, com bastante frequência.

As figuras 5.114 a 5.119 mostram a comparação do desvio-padrão dos desvios relativos entre os métodos $MM-FT_3$ e $MM-FT_4$ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.114 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS $MM-FT_3$ E $MM-FT_4$ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.115 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS $MM-FT_3$ E $MM-FT_4$ – RELAÇÃO II

FIGURA 5.116 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.117 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.118 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.119 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₃ E MM-FT₄ – RELAÇÃO VI

As figuras 5.114 a 5.119 indicam que o método MM-FT₄ apresenta os menores valores para o desvio-padrão, sendo estes valores menores para problemas com 7 estágios. Os valores dos desvios-padrão tendem a diminuir à medida que o número de tarefas aumenta.

As figuras 5.120 a 5.125 ilustram a comparação do desvio-padrão dos desvios relativos entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₃ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.120 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.121 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO II FIGURA 5.122 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO III FIGURA 5.123 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.124 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.125 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₃ – RELAÇÃO VI

Assim como na comparação e análise do desvio relativo médio entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₃, o método MM-FT₁ apresenta os menores valores para o desvio-padrão, sendo estes valores menores para problemas com 7 estágios, como podemos visualizar nas figuras 5.120 a 5.125 indicam que. Os desvios-padrão apresentados pelo método MM-FT₁ são relativamente estáveis, quando comparados com os desvios do método MM-FT₃. Em ambos os métodos, os valores dos desvios-padrão tendem a diminuir com o aumento do número de tarefas.

As figuras 5.126 a 5.131 mostram a comparação do desvio-padrão dos desvios relativos entre os métodos MM-FT₂ e MM-FT₄ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.126 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.127 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO II

FIGURA 5.128 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.129 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.130 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.131—COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₄ – RELAÇÃO VI

Como na análise do desvio relativo médio, onde o método MM-FT₂ apresentou melhor desempenho em relação ao método MM-FT₄, as figuras 5.126 a 5.131 indicam que o método MM-FT₂ também apresenta os menores valores para o desvio-padrão, sendo estes valores menores para problemas com 7 estágios. Os desvios-padrão apresentados pelo método MM-FT₂ são relativamente estáveis, com exceção da relação V, enquanto os desvios-padrão do método MM-FT₄ oscilam consideravelmente nas relações I, II, IV e V. Em ambos os métodos, os valores dos desvios-padrão tendem a diminuir com o aumento do número de tarefas.

As figuras 5.132 a 5.137 mostram a comparação do desvio-padrão dos desvios relativos entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₄ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.132 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO I FIGURA 5.133 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO II FIGURA 5.134 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO III

FIGURA 5.135 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.136 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.137 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₁ E MM-FT₄ – RELAÇÃO VI

Do mesmo modo que na análise do desvio relativo médio, as figuras 5.132 a 5.137 indicam que o método MM-FT₁ apresenta os menores valores para o desvio-padrão, sendo estes valores menores para problemas com 7 estágios. Os desvios-padrão apresentados pelo método MM-FT₁ são relativamente estáveis para todas as relações, quando comparados com os desvios do método MM-FT₄. Os valores dos desvios-padrão do método MM-FT₄ apresentam grande amplitude de oscilação para as relações I, II e IV. Em ambos os métodos, os valores dos desvios-padrão tendem a diminuir com o aumento do número de tarefas.

As figuras 5.138 a 5.143 mostram a comparação do desvio-padrão dos desvios relativos entre os métodos MM-FT₂ e MM-FT₃ para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.138 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO I

FIGURA 5.139 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO II FIGURA 5.140 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO III FIGURA 5.141 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO IV

FIGURA 5.142 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO V

FIGURA 5.143 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS MÉTODOS MM-FT₂ E MM-FT₃ – RELAÇÃO VI

As figuras 5.138 a 5.143 indicam que o método MM-FT₂ apresenta os menores valores para o desvio-padrão, sendo estes valores menores para problemas com 7 estágios. Os desvios padrão do desvio relativo tendem a diminuir à medida que o número de tarefas aumenta. Os gráficos mostram uma estabilidade considerável nos valores dos desvios-padrão para o método MM-FT₂, para todas as relações, não sendo o mesmo verificado para o método MM-FT₃, que apresenta maior amplitude de variação para a relação IV.

As figuras 5.144 a 5.149 mostram a comparação do desvio-padrão dos desvios relativos entre os quatro métodos de solução para as seis relações de tempos de processamento e de *setup*.

FIGURA 5.144 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO I

FIGURA 5.145 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO II

FIGURA 5.146 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO III

FIGURA 5.147 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO IV

FIGURA 5.148 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO V

FIGURA 5.149 – COMPARAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DO DR ENTRE OS QUATRO MÉTODOS– RELAÇÃO VI

As figuras 5.144 a 5.149 indicam que o método MM-FT₁ apresenta os menores valores para o desvio-padrão, sendo estes valores menores para problemas com 7 estágios, o que significa uma melhoria no seu desempenho com o aumento do porte dos problemas.

Os valores dos desvios relativos e dos desvios-padrão reiteram os resultados da porcentagem de sucesso. O método MM-FT₁ apresentou o melhor desempenho, bem como os menores valores dos desvios relativos médios para problemas com 4 e 7 estágios, apresentando também estabilidade de desempenho.

As figuras 5.150 a 5.155 apresentam gráficos com o tempo de computação dos quatro métodos de solução para problemas com 4 e 7 estágios.

FIGURA 5.150 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) PARA 4 E 7 ESTÁGIOS ENTRE OS MÉTODOS PARA A RELAÇÃO I

FIGURA 5.151 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) PARA 4 E 7 ESTÁGIOS ENTRE OS MÉTODOS PARA A RELAÇÃO II

FIGURA 5.152 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) PARA 4 E 7 ESTÁGIOS ENTRE OS MÉTODOS PARA A RELAÇÃO III

FIGURA 5.153 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) PARA 4 E 7 ESTÁGIOS ENTRE OS MÉTODOS PARA A RELAÇÃO IV

FIGURA 5.154 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) PARA 4 E 7 ESTÁGIOS ENTRE OS MÉTODOS PARA A RELAÇÃO V

FIGURA 5.155 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) PARA 4 E 7 ESTÁGIOS ENTRE OS MÉTODOS PARA A RELAÇÃO VI

Como as curvas de cada método possuem comportamento similar, a figura 4.156 a seguir ilustra a comparação do tempo médio de computação dos problemas com as relações dos tempos de processamento e de *setup* agregadas.

FIGURA 5.156 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO (MS) PARA 4 E 7 AGREGANDO AS RELAÇÕES

Em todos os casos, obviamente, o tempo médio de computação torna-se maior com o aumento do número de tarefas. O tempo de computação dos quatro métodos apresenta crescimento semelhante. As figuras 5.157 a 5.160 mostram a comparação dos tempos médios de computação das seis relações de tempo de processamento e de *setup*, para 4 e 7 estágios agregados.

FIGURA 5.157 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO ENTRE AS RELAÇÕES AGREGANDO O NÚMERO DE ESTÁGIOS – MÉTODO MM-FT₁

FIGURA 5.158 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO ENTRE AS RELAÇÕES AGREGANDO O NÚMERO DE ESTÁGIOS – MÉTODO MM-FT₂

FIGURA 5.159 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO ENTRE AS RELAÇÕES AGREGANDO O NÚMERO DE ESTÁGIOS – MÉTODO MM-FT₃

FIGURA 5.160 - COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO ENTRE AS RELAÇÕES AGREGANDO O NÚMERO DE ESTÁGIOS – MÉTODO MM-FT₄

As figuras 5.157 a 5.160 indicam que os tempos médios de computação variam em função dos valores médios das distribuições dos tempos de processamento das tarefas e dos tempos de *setup* das máquinas. Pode-se observar que tais tempos têm uma tendência de serem maiores à medida que os valores médios das distribuições aumentam. Os maiores tempos computacionais referem-se à relação II, que tem a maior soma dos tempos médios de processamento e de *setup* dentre as seis relações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experimentação computacional teve como foco a análise da influência das ordenações iniciais no resultado da programação, assim como a influência do procedimento de programação, e também da relação entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* em cada método de solução.

A análise da porcentagem de sucesso para os métodos MM-FT₁ e MM-FT₂, que investiga a influência da ordenação inicial, mostrou que o método MM-FT₁, que usa a ordenação inicial TSPT, foi superior. De modo análogo, na comparação dos métodos MM-FT₃ e MM-FT₄, o método MM-FT₃ que também usa a ordenação inicial TSPT forneceu os melhores resultados. Logo, pode-se concluir que para o problema em questão, a regra de ordenação inicial TSPT apresenta melhor desempenho que a TLPT.

Na análise de porcentagem de sucesso para os métodos MM-FT₁ e MM-FT₃, juntamente com MM-FT₂ e MM-FT₄, que investiga a influência do foco da programação no desempenho dos métodos, pode-se observar que o método MM-FT₁, que utiliza a programação das tarefas estágio a estágio, obteve desempenho superior ao método MM-FT₃, e que o método MM-FT₂ que também realiza a programação das tarefas estágio a estágio, obteve desempenho superior ao do método MM-FT₄. Com base nesses resultados pode-se afirmar que a programação das tarefas realizada estágio a estágio apresenta-se como melhor procedimento de programação.

Como os métodos MM-FT₃ e MM-FT₄ apresentaram um desempenho muito inferior aos métodos MM-FT₁ e MM-FT₂, foi realizada uma avaliação numérica a partir de um problema-exemplo com o objetivo de eventualmente detectar a causa de tal desempenho. Pode-se então verificar nos métodos MM-FT₃ e MM-FT₄, onde a programação é realizada

tarefa a tarefa, que as tarefas necessitam aguardar mais tempo para terem suas operações iniciadas nos estágios subseqüentes, ou seja, o tempo de espera entre operações sucessivas aumenta, fato este que ocasiona um aumento no tempo médio de fluxo.

A superioridade da programação estágio a estágio combinada com a ordenação inicial TSPT foi confirmada na comparação entre os métodos MM-FT₁ e MM-FT₄.

A comparação entre os métodos MM-FT₂ e MM-FT₃ mostrou a força da programação estágio a estágio quando comparada com a programação tarefa a tarefa, mesmo utilizando uma ordenação inicial de menor qualidade, ou seja, a TLPT relativamente à TSPT.

Na comparação geral dos quatro métodos MM-FT₁, MM-FT₂, MM-FT₃ e MM-FT₄, os resultados obtidos na experimentação computacional mostraram que em geral o método MM-FT₁ forneceu os melhores resultados em termos de porcentagem de sucesso, para todas as relações. A análise dos desvios relativos e dos desvios-padrão dos desvios relativos confirmam as conclusões dos resultados de porcentagem de sucesso. O método MM-FT₁ apresentou em todas as relações o menor desvio relativo médio e uma boa estabilidade de desempenho. Também pode ser observada uma relativa estabilidade e tendência à diminuição dos valores dos desvios relativos dos métodos MM-FT₁ e MM-FT₂ com o aumento do número de tarefas, significando que, à medida que o porte do problema aumenta, a diferença no desempenho dos métodos tende a diminuir. Por outro lado, verificou-se uma grande instabilidade dos valores dos desvios relativos médios dos métodos MM-FT₃ e MM-FT₄.

Em geral, as curvas de desempenho dos problemas com 4 e 7 estágios mantêm o mesmo comportamento, indicando que o número de estágios não deve afetar o desempenho dos métodos.

Para todas as relações, a amplitude de variação no desempenho dos métodos, em função do número de tarefas apresenta certa estabilidade, e a ordem de superioridade se confirma. Em todos os pares de métodos comparados e analisados, a maior amplitude de

variação nos desvios relativos médios e nos desvios-padrão dos desvios relativos médios foi observado na Relação IV, em que os tempos de processamento são de 50 a 99 e os valores dos tempos de *setup* são de 1 a 49.

Quanto aos tempos de computação, pode-se observar que os métodos propostos neste trabalho apresentam uma boa eficiência computacional, uma vez que para os problemas de maior porte (120 tarefas e 7 estágios de produção) o tempo médio de computação foi de 60 ms, com um valor máximo de 92 ms (relação II).

Concluindo, constatou-se neste trabalho que o método heurístico construtivo que utiliza a regra TSPT para ordenação inicial das tarefas em combinação com a programação estágio a estágio apresenta, com pequeno esforço computacional, uma solução de boa qualidade para o problema de programação de operações em ambiente *flow shop* híbrido com tempos de *setup* dependentes da seqüência das tarefas, e com o objetivo de minimização do tempo médio de fluxo.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros, sugere-se a proposição de novos métodos heurísticos, eventualmente com melhores desempenhos do que os propostos neste trabalho. Os algoritmos propostos neste trabalho utilizando duas regras de prioridade para a ordenação inicial no primeiro estágio, portanto, para trabalhos posteriores, outras regras de prioridade podem ser testadas. Além disso, um estudo aprofundado na estrutura do referido problema de programação da produção pode resultar na identificação de propriedades relevantes que possam contribuir para a melhoria dos métodos de solução do problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

AHMADI, R. H.; BAGCHI, U. (1990). Improved lower bounds for minimizing the sum of completion times of n jobs over m machines. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 44, p.331-336.

ALIDAEE, B. (1993). Schedule of n jobs on two identical machines to minimize weighted mean flow time. **Computers & Industrial Engineering**. London, vol. 24, no. 1, p. 53-55.

ALLAHVERDI, A.; AL-ANZI, F. S. (2006). Scheduling multi-stage parallel processor services to minimize average response time. **Journal of the Operational Research Society**. vol. 57, p. 101-110.

ALLAHVERDI, A.; ALDOWAISAN, T. (2002). New Heuristics to Minimize Total Completion Time in m-machine Flowshops. **International Journal of Production Economics**. Amsterdam, vol. 77, p.71-83.

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

AMBÜHL, C.; MASTROLILLI, M. (2005). On-line scheduling to minimize max flow time: an optimal preemptive algorithm. **Operations Research Letters**. Amsterdam, vol. 33, p. 597-602.

AZIZOGLU, M.; ÇAKMAK, E.; KONDAKCI, S. (2001). A flexible flowshop problem with total flowtime minimization. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 132, p. 528-538.

AZIZOGLU, M.; KIRCA, O. (1999). On the minimization of total weighted flow time with identical and uniform parallel machines. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol.113, p.91-100.

BAKER, K.R. (1974). **Introduction to sequencing and scheduling**. New York: John Wiley & Sons, Inc.

* De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BARROS, A. D.; MOCCELLIN, J.V. (2004). Análise da flutuação do gargalo em *flowshop* permutacional com tempos de *setup* assimétricos e dependentes da sequência. **Gestão & Produção**. vol. 11, no. 1, p.101-108, jan.-abr. 2004

BRAH, S.; LOO, L. L. (1999). Heuristics for scheduling in a flow shop with multiple processors. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol.113, p.113-122.

CAO, J.; BEDWORTH, D. D. (1992) Flow shop scheduling in serial multi-product process with transfer and set-up times. **International Journal of Production Research**. London, vol. 30, no. 8, p.1819-1830.

CHENG, T.C.E.; GUPTA, J.N.D.; WANG, G. (2000). A review of flowshop scheduling research with setup times. **Production and Operations Management**. USA, vol. 9, no. 3, p. 262-282.

CONTADOR, J. C. **Gestão de Operações: A engenharia de produção a serviço da modernização tecnológica**. 2^a. edição. São Paulo: Edgard Blüncher, 1998.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de Produção e Operações: manufatura e serviços**. São Paulo: Atlas, 2004.

DAS, S.R.; GUPTA, J.N.D.; KHUMAWALA, B.M. (1995). A saving index heuristi algorithm for flowshop scheduling with sequence dependent set-up times. **Journal of the Operational Research Society**, Birmingham, v.46, p.1365-1373.

DROZDOWSKI, M.; DELL'OLMO, P. (2000). Scheduling multiprocessor tasks for mean flow time criterion. **Computers & Operations Research**. Oxford, vol. 27, p. 571-585.

FRAMINAN, J.M.; LEISTEN, R.; RUIZ-USANO, R. (2005). Comparison of Heuristics for Flowtime Minimisation in Permutation Flowshops. **Computers & Operations Research**. Oxford, vol. 32, p.1237-1254.

FRAMINAN, J.M.; LEISTEN, R. (2003). An Efficient Constructive Heuristic for Flowtime Minimisation in Permutation Flow Shop. **Omega – The International Journal of Management Science**. Oxford, vol. 31, p.311-317.

FRAMINAN, J.M.; LEISTEN, R.; RAJENDRAN, C. (2003). Different initial sequence for the heuristic of Nawaz, Ensore e Ham to minimize maskepan, idletime or flowtime in the static permutation flowshop sequencing problem. **International Journal of Production Research**. London, vol. 41, no. 1, p. 121-148.

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

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 seqüência**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

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

GUPTA, J. N. D.; RUIZ-TORRES, A. J. (2005). Generating efficient schedules for identical parallel machines involving flow-time and tardy jobs. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 167, p. 679-695.

HAX, A. C.; CANDEA, D. (1984). **Production and inventory management**. New Jersey: Prentice-Hall.

HO, J. C. (1995). Flowshop sequencing with mean flow time objective. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 81, p. 571-578.

HUNSUCKER, J. L.; SHAH, J. R. (1994). Comparative performance analysis of priority rules in a constrained flow shop with multiple processor environment. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 72, p.102-114.

JOHNSON S.M.; MONTGOMERY D.C. (1974). **Operations Research in Production, Planning, Scheduling and Inventory Control**. New York: Wiley.

KIS, T.; PESCH, E. (2005). A review of exact solution methods for the non-preemptive multiprocessor flowshop problem. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 164, p.592-608.

KRAVCHENKO, S. A.; WERNER, F. (2001). A heuristic algorithm for minimizing mean flow time with unit setups. **Information Processing Letters**. Oxford, vol. 79, p. 291-296.

LINN, R.; ZANG, W. (1999). Hybrid flow shop scheduling; a survey. **Computers & Industrial Engineering**. London, v. 37, p. 57-61.

LIU, J.; REEVES, C. R. (2001). Constructive and composite heuristic solutions to the P// ΣC_i scheduling problem. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, v. 132, p.439-452.

MACCARTHY, B.L.; LIU, J.Y. (1993). Addressing a gap in scheduling research – a review of optimization and heuristic methods in production scheduling. **International Journal of Production Research**. London, vol. 31, no. 1, p.59-79, jan.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da Produção**. 2^a. edição. São Paulo: Saraiva, 2005

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

MOREIRA, Daniel. **Administração da Produção e Operações**. 5^a. edição. São Paulo: Pioneira, 2000.

NAWAZ, M.; ENSCORE, E.E. and HAM, I. (1983) - A Heuristic Algorithm for the m-machine, n-job Flow-shop Sequencing Problem. **Omega – The International Journal of Management Science**. Oxford, vol. 11, p.91-95.

NAGANO, M.S.; MOCCELLIN, J.V. (2007). Reducing mean flow time in permutation flow shop. **Journal of the Operational Research Society**, Birmingham, advance online publication, April 2007.

PINEDO, M. (1995). **Scheduling: theory, algorithms, and systems**. New Jersey: Prentice-Hall.

RAJENDRAN, C.; ZIEGLER, H. (2003). Scheduling to minimize the sum of weighted flowtime and weighed tardiness of jobs in a flowshop with sequence-dependent setuptimes. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 149, p.513-522.

RAJENDRAN, C.; ZIEGLER, H. (1997). An efficient Heuristic for Scheduling in a Flowshop to inimize Total Weighted Flowtime of Jobs. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 103, p.129-138.

RAJENDRAN, C. (1993). Heuristic Algorithm for Scheduling in a Flowshop to Minimise Total lowtime. **International Journal Production Economics**. Amsterdam, vol. 29, p.65-73.

RAJENDRAN, C.; CHAUDHURI, D. (1992). A multi-stage parallel-processor flowshop problem with minimum flowtime. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 57, p.111-122.

RAJENDRAN, C.; CHAUDHURI, D. (1991). An efficient heuristic approach to the scheduling of job in a flow shop. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 61, p.318-325.

RANDHAWA, S. U.; SMITH, T. A. (1995). An experimental investigation of scheduling non-identical, parallel processors with sequence-dependent set-up times and due dates. **International Journal of Production Research**. London, vol. 33, no.1, p.59-69.

REINFELD, N. V.; VOGEL, W. R. (1958). **Mathematical Programming**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs.

RUSSOMANO, Victor Henrique. **Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Pioneira, 2000.

SHORE, H. H. (1970). The transportation problem and the Vogel approximation method. **Decision Sciences**. Oxford, vol. 01, p. 441-457.

SIMONS JR., J. V. (1992). Heuristics in flow shop scheduling with sequence dependent setup times. . **Omega – The International Journal of Management Science**, Oxford. vol. 02, p.215-225.

SLACK, Nigel et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1999.

SOUZA, A. B. D.; MOCCELLIN, J. V. (2000). Metaheurística híbrida algortimo genético Busca-Tabu para programação de operações flow shop. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XXXII, 2000, Viçosa. **Anais...** Rio de Janeiro: SOBRAPO.

VOLLMANN, T. E. (1988). **Manufacturing planning and control systems**. Homewood: Dow Jones-Irwin

YANG, W.; LIAO, C. (1999). Survey of scheduling research involving setup times. **International Journal of Systems Science**. Oxford, vol. 30, no.2, p.143-155.

WANG, C.; CHU, C.; PROTH, J. M. (1997). Heuristic approaches for n/m/F/ ΣC_i scheduling problems. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 96, p.636-644.

WEBSTER, S. T. (1995). Weighted flowtime bounds for scheduling identical processors. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 80, p.103-111.

WEBSTER, S. T. (1993). A priority rule for minimizing weighted flow time in a class of parallel machine scheduling problem. **European Journal of Operational Research**. Amsterdam, vol. 70, p.327-334.

WEBSTER, S. T. (1993b). Bounds and asynototic results for the uniform parallel processor weighted flow time problem. **Operations Reaseach Letters**. Amsterdam, vol. 14, p. 85-90.

WENG, M.X.; LU, J.; REN, H. (2001). Unrelated parallel machine scheduling with setup consideration and a total weighted completion time objective. **International Journal of Production Economics**. Amsterdam, vol. 70, no. 3, p.215-226, apr.

WOO, D.S. and YIM H.S. (1998) – A heuristic Algorithm for Mean Flowtime Objective in Flowshop Scheduling. **Computers & Operations Research**. Oxford, vol. 25, p.175-182.

ZACCARELLI, Sérgio Baptista. **Programação e Controle da Produção**. 8^a. edição. São Paulo: Pioneira, 1987.

GLOSSÁRIO

Due date – data de entrega ou prazo de término de uma tarefa.

Earliness – antecipação relativa ao prazo de término de uma tarefa, expressa por $E_i = \max\{0, d_i - C_i\}$

Flow shop – vide seção 2.2.

Flow time – tempo de fluxo ou tempo de permanência de uma tarefa ($F_i = C_i - r_i$).

Idle time – tempo ocioso.

Job shop – vide seção 2.2.

Lateness – diferença entre a data de término de uma tarefa e o prazo de término; se for positivo indica um atraso na entrega e se for negativo indica uma antecipação na entrega ($L_i = C_i - d_i$).

Makespan – duração total da programação; tempo máximo de fluxo ($F_{\max}$) ou data de término máxima ($C_{\max}$) das tarefas, quando as datas de liberação das tarefas forem iguais.

Open shop – vide seção 2.2.

Preemption – interrupção da execução de qualquer operação, possibilitando a continuidade posterior de sua execução, a partir do ponto de interrupção.

Release date – data de liberação de uma tarefa a partir da qual ela pode ser executada.

Setup time – tempo de preparação de máquina.

Tardiness – atraso na execução da tarefa, expresso por $T_i = \max(0, L_i)$.

APENDICE

Apêndice A – Classes de Problemas Testados

CLASSES DE PROBLEMAS TESTADOS

RELAÇÃO I		RELAÇÃO II		RELAÇÃO III	
Setup 1 a 99		Setup 100 a 120		Setup 1 a 99	
Processamento 1 a 99		Processamento 1 a 99		Processamento 10 a 99	
Classe 1	n = 10; k = 4	Classe 25	n = 10; k = 4	Classe 49	n = 10; k = 4
Classe 2	n = 20; k = 4	Classe 26	n = 20; k = 4	Classe 50	n = 20; k = 4
Classe 3	n = 30; k = 4	Classe 27	n = 30; k = 4	Classe 51	n = 30; k = 4
Classe 4	n = 40; k = 4	Classe 28	n = 40; k = 4	Classe 52	n = 40; k = 4
Classe 5	n = 50; k = 4	Classe 29	n = 50; k = 4	Classe 53	n = 50; k = 4
Classe 6	n = 60; k = 4	Classe 30	n = 60; k = 4	Classe 54	n = 60; k = 4
Classe 7	n = 70; k = 4	Classe 31	n = 70; k = 4	Classe 55	n = 70; k = 4
Classe 8	n = 80; k = 4	Classe 32	n = 80; k = 4	Classe 56	n = 80; k = 4
Classe 9	n = 90; k = 4	Classe 33	n = 90; k = 4	Classe 57	n = 90; k = 4
Classe 10	n = 100; k = 4	Classe 34	n = 100; k = 4	Classe 58	n = 100; k = 4
Classe 11	n = 110; k = 4	Classe 35	n = 110; k = 4	Classe 59	n = 110; k = 4
Classe 12	n = 120; k = 4	Classe 36	n = 120; k = 4	Classe 60	n = 120; k = 4
Classe 13	n = 10; k = 7	Classe 37	n = 10; k = 7	Classe 61	n = 10; k = 7
Classe 14	n = 20; k = 7	Classe 38	n = 20; k = 7	Classe 62	n = 20; k = 7
Classe 15	n = 30; k = 7	Classe 39	n = 30; k = 7	Classe 63	n = 30; k = 7
Classe 16	n = 40; k = 7	Classe 40	n = 40; k = 7	Classe 64	n = 40; k = 7
Classe 17	n = 50; k = 7	Classe 41	n = 50; k = 7	Classe 65	n = 50; k = 7
Classe 18	n = 60; k = 7	Classe 42	n = 60; k = 7	Classe 66	n = 60; k = 7
Classe 19	n = 70; k = 7	Classe 43	n = 70; k = 7	Classe 67	n = 70; k = 7
Classe 20	n = 80; k = 7	Classe 44	n = 80; k = 7	Classe 68	n = 80; k = 7
Classe 21	n = 90; k = 7	Classe 45	n = 90; k = 7	Classe 69	n = 90; k = 7
Classe 22	n = 100; k = 7	Classe 46	n = 100; k = 7	Classe 70	n = 100; k = 7
Classe 23	n = 110; k = 7	Classe 47	n = 110; k = 7	Classe 71	n = 110; k = 7
Classe 24	n = 120; k = 7	Classe 48	n = 120; k = 7	Classe 72	n = 120; k = 7

RELAÇÃO IV		RELAÇÃO V		RELAÇÃO VI	
Setup 1 a 49		Setup 1 a 120		Setup 1 a 20	
Processamento 50 a 99		Processamento 1 a 99		Processamento 1 a 99	
Classe 73	$n = 10; k = 4$	Classe 97	$n = 10; k = 4$	Classe 121	$n = 10; k = 4$
Classe 74	$n = 20; k = 4$	Classe 98	$n = 20; k = 4$	Classe 122	$n = 20; k = 4$
Classe 75	$n = 30; k = 4$	Classe 99	$n = 30; k = 4$	Classe 123	$n = 30; k = 4$
Classe 76	$n = 40; k = 4$	Classe 100	$n = 40; k = 4$	Classe 124	$n = 40; k = 4$
Classe 77	$n = 50; k = 4$	Classe 101	$n = 50; k = 4$	Classe 125	$n = 50; k = 4$
Classe 78	$n = 60; k = 4$	Classe 102	$n = 60; k = 4$	Classe 126	$n = 60; k = 4$
Classe 79	$n = 70; k = 4$	Classe 103	$n = 70; k = 4$	Classe 127	$n = 70; k = 4$
Classe 80	$n = 80; k = 4$	Classe 104	$n = 80; k = 4$	Classe 128	$n = 80; k = 4$
Classe 81	$n = 90; k = 4$	Classe 105	$n = 90; k = 4$	Classe 129	$n = 90; k = 4$
Classe 82	$n = 100; k = 4$	Classe 106	$n = 100; k = 4$	Classe 130	$n = 100; k = 4$
Classe 83	$n = 110; k = 4$	Classe 107	$n = 110; k = 4$	Classe 131	$n = 110; k = 4$
Classe 84	$n = 120; k = 4$	Classe 108	$n = 120; k = 4$	Classe 132	$n = 120; k = 4$
Classe 85	$n = 10; k = 7$	Classe 109	$n = 10; k = 7$	Classe 133	$n = 10; k = 7$
Classe 86	$n = 20; k = 7$	Classe 110	$n = 20; k = 7$	Classe 134	$n = 20; k = 7$
Classe 87	$n = 30; k = 7$	Classe 111	$n = 30; k = 7$	Classe 135	$n = 30; k = 7$
Classe 88	$n = 40; k = 7$	Classe 112	$n = 40; k = 7$	Classe 136	$n = 40; k = 7$
Classe 89	$n = 50; k = 7$	Classe 113	$n = 50; k = 7$	Classe 137	$n = 50; k = 7$
Classe 90	$n = 60; k = 7$	Classe 114	$n = 60; k = 7$	Classe 138	$n = 60; k = 7$
Classe 91	$n = 70; k = 7$	Classe 115	$n = 70; k = 7$	Classe 139	$n = 70; k = 7$
Classe 92	$n = 80; k = 7$	Classe 116	$n = 80; k = 7$	Classe 140	$n = 80; k = 7$
Classe 93	$n = 90; k = 7$	Classe 117	$n = 90; k = 7$	Classe 141	$n = 90; k = 7$
Classe 94	$n = 100; k = 7$	Classe 118	$n = 100; k = 7$	Classe 142	$n = 100; k = 7$
Classe 95	$n = 110; k = 7$	Classe 119	$n = 110; k = 7$	Classe 143	$n = 110; k = 7$
Classe 96	$n = 120; k = 7$	Classe 120	$n = 120; k = 7$	Classe 144	$n = 120; k = 7$

Apêndice B – Código Fonte: Gerador de Arquivos

```
procedure geramatriz();
var
  i, j, teste : integer;
begin
  for i:=1 to tamanhomatriz do
    for j:=1 to tamanhomatriz do
      begin
        teste:= random(temposetup2);
        while teste < temposetup1 do
          teste := random(temposetup2);
        maq1[i,j]:= teste;
        teste:= random(temposetup2);
        while teste < temposetup1 do
          teste := random(temposetup2);
        maq2[i,j]:= teste;
        teste:= random(temposetup2);
        while teste < temposetup1 do
          teste := random(temposetup2);
        maq3[i,j]:= teste;
        teste:= random(temposetup2);
        while teste < temposetup1 do
          teste := random(temposetup2);
        maq4[i,j]:= teste;
        teste:= random(temposetup2);
        while teste < temposetup1 do
          teste := random(temposetup2);
        maq5[i,j]:= teste;
        teste:= random(temposetup2);
        while teste < temposetup1 do
          teste := random(temposetup2);
        maq6[i,j]:= teste;
        teste:= random(temposetup2);
        while teste < temposetup1 do
          teste := random(temposetup2);
        maq7[i,j]:= teste;
        if i=j then
          maq1[i,j]:= infinito;
        if i=j then
          maq2[i,j]:= infinito;
        if i=j then
          maq3[i,j]:= infinito;
        if i=j then
          maq4[i,j]:= infinito;
        if i=j then
          maq5[i,j]:= infinito;
        if i=j then
          maq6[i,j]:= infinito;
```

```

        if i=j then
            maq7[i,j]:= infinito;
        end;
    for i:=1 to quantmaq do
        for j:=1 to tamanhomatriz do
            begin
                teste:= random(tempoproc2);
                while teste < tempoproc1 do
                    teste:= random(tempoproc2);
                tempo[i,j]:=teste;
            end;
        end;
    end;

procedure CriaArquivo();
var
    str, arq: String;
    arquivo: TextFile;
    i, k, j, w, teste: Integer;
begin
    arq:="";
    if form1.OpenDialog1.Execute then
        arq:= form1.OpenDialog1.FileName;
    if arq <> " then
        begin
            vetnumaqest:="";
            for i:=1 to quantmaq do
                begin
                    teste:= random(5);
                    while teste < 2 do
                        teste:= random(5);
                    vetnumaqest:=vetnumaqest + inttostr(teste);
                end;
            Assignfile(arquivo, form1.OpenDialog1.FileName);
            Reset(arquivo);
            Append(arquivo);
            Writeln(Arquivo,inttostr(quantmaq));
            Writeln(Arquivo,inttostr(tamanhomatriz));
            Writeln(Arquivo,inttostr(numproblemas));
            Writeln(Arquivo,"");
            Writeln(Arquivo,vetnumaqest);
            Writeln(Arquivo,"");
            for w:=1 to numproblemas do
                begin
                    geramatriz();
                    str:= "";
                    for k:=1 to tamanhomatriz do
                        begin
                            str:= "";
                            str:= inttostr(maq1[k,1]);
                            for j:=2 to tamanhomatriz do
                                str:= str + '.'+ inttostr(maq1[k,j]);
                            str:= str + '.,';
                            Writeln(Arquivo,str);
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

str:= "";
Writeln(Arquivo,str);

for k:=1 to tamanhomatriz do
begin
  str:= "";
  str:= inttostr(maq2[k,1]);
  for j:=2 to tamanhomatriz do
    str:= str + '.'+inttostr(maq2[k,j]);
  str:= str + ' ';
  Writeln(Arquivo,str);
end;
str:= "";
Writeln(Arquivo,str);
for k:=1 to tamanhomatriz do
begin
  str:= "";
  str:= inttostr(maq3[k,1]);
  for j:=2 to tamanhomatriz do
    str:= str + '.'+inttostr(maq3[k,j]);
  str:= str + ' ';
  Writeln(Arquivo,str);
end;
str:= "";
Writeln(Arquivo,str);
for k:=1 to tamanhomatriz do
begin
  str:= "";
  str:= inttostr(maq4[k,1]);
  for j:=2 to tamanhomatriz do
    str:= str + '.'+inttostr(maq4[k,j]);
  str:= str + ' ';
  Writeln(Arquivo,str);
end;
str:= "";
Writeln(Arquivo,str);

if quantmaq >= 5 then
begin
  for k:=1 to tamanhomatriz do
  begin
    str:= "";
    str:= inttostr(maq5[k,1]);
    for j:=2 to tamanhomatriz do
      str:= str + '.'+inttostr(maq5[k,j]);
    str:= str + ' ';
    Writeln(Arquivo,str);
  end;
  str:= "";
  Writeln(Arquivo,str);
end;
if quantmaq >= 6 then
begin
  for k:=1 to tamanhomatriz do
  begin

```

```

        str:= "";
        str:= inttostr(maq6[k,1]);
        for j:=2 to tamanhomatriz do
            str:= str + '.'+inttostr(maq6[k,j]);
        str:= str + '.';
        Writeln(Arquivo,str);
    end;
    str:= "";
    Writeln(Arquivo,str);
end;
if quantmaq = 7 then
begin
    for k:=1 to tamanhomatriz do
        begin
            str:= "";
            str:= inttostr(maq7[k,1]);
            for j:=2 to tamanhomatriz do
                str:= str + '.'+inttostr(maq7[k,j]);
            str:= str + '.';
            Writeln(Arquivo,str);
        end;
        str:= "";
        Writeln(Arquivo,str);
    end;
    for k:=1 to quantmaq do
        begin
            str:= "";
            str:= inttostr(tempo[k,1]);
            for j:=2 to tamanhomatriz do
                str:= str + '.'+ inttostr(tempo[k,j]);
            str:= str + '.';
            Writeln(Arquivo,str);
        end;
        str:= "";
        Writeln(Arquivo,str);
    end;
    Closefile(arquivo);
end;
end;

```

Apêndice C – Planilhas Modelos para Análise dos Dados

Planilha 1 – Comparação de desempenho entre os métodos: Porcentagem de Sucesso

RESULTADO EXPER. COMPUTACIONAL				Comparação		Comparação		Comparação		Comparação		Comparação		Comparação		Comparação			
MM-FT1	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT4	MM-FT1	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT4	MM-FT1	MM-FT3	MM-FT2	MM-FT4	MM-FT1	MM-FT4	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT1	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT4
360,8	428,5	345,3	477	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
316,3	366,2	317	447,2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
307,7	425,6	324,8	486,2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
412,6	388,8	482,8	493,2	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
376,9	441,7	464,7	523,7	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
430,3	504,4	528,6	541,2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
404,1	369,1	543,4	504,3	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
391,1	438,1	537,5	552	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
347,1	405,6	571	531,8	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
361,9	426,9	558,2	559,9	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
386,8	368,4	475,5	549,7	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
433	384,6	518,2	540,8	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
378,4	407,9	574,6	612,9	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
370,5	326	517,1	471,9	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
359,1	384,6	549,9	544,4	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
422,3	404,5	544,3	554,7	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
432,1	412,9	592,9	534,6	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
340,3	362,6	493,4	515,3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
360,3	397,2	510,1	578,2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
Tempo:78	Tempo: 47	Tempo:15	Tempo:32	64	36	42	58	99	1	100	0	100	0	98	2	63	36	1	0

Planilha 2 – Comparação de desempenho entre os métodos: Desvio Relativo Médio

DRM		DRM		DRM		DRM		DRM		DRM		DRM			
MM-FT1	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT4	MM-FT1	MM-FT3	MM-FT2	MM-FT4	MM-FT1	MM-FT4	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT1	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT4
290,4		317		300,6		290,4		290,4		300,6		290,4			
0,242424242	0,475550964	0,089274448	0,50473186	0,20026613	0,148703	0,475551	0,642562	0,475551	0,18905	0,200266	0,586826	0,242424	0,475551	0,18905	0,642562
0,089187328	0,261019284	0	0,41072555	0,05222888	0,054558	0,261019	0,539945	0,261019	0,091598	0,052229	0,487691	0,089187	0,261019	0,091598	0,539945
0,059573003	0,465564738	0,024605678	0,53375394	0,02361943	0,080506	0,465565	0,674242	0,465565	0,118457	0,023619	0,617432	0,059573	0,465565	0,118457	0,674242
0,420798898	0,338842975	0,523028391	0,55583596	0,37258816	0,606121	0,338843	0,698347	0,338843	0,662534	0,372588	0,640719	0,420799	0,338843	0,662534	0,698347
0,297865014	0,52100551	0,465930599	0,65205047	0,25382568	0,545908	0,521006	0,803375	0,521006	0,600207	0,253826	0,742182	0,297865	0,521006	0,600207	0,803375
0,481749311	0,736914601	0,667507886	0,70725552	0,43147039	0,758483	0,736915	0,863636	0,736915	0,820248	0,43147	0,800399	0,481749	0,736915	0,820248	0,863636
0,391528926	0,27100551	0,714195584	0,59085174	0,34431138	0,807718	0,271006	0,73657	300,6		0,344311	0,677645	0,391529	0,271006	0,871212	0,73657
0,346763085	0,508608815	0,695583596	0,74132492	0,30106454	0,78809	0,508609	0,900826	0,200266	0,586826	0,301065	0,836327	0,346763	0,508609	0,850895	0,900826
0,195247934	0,396694215	0,80126183	0,67760252	0,15469062	0,899534	0,396694	0,831267	0,052229	0,487691	0,154691	0,769128	0,195248	0,396694	0,966253	0,831267
0,246212121	0,470041322	0,760883281	0,76624606	0,20392548	0,856953	0,470041	0,92803	0,023619	0,617432	0,203925	0,862608	0,246212	0,470041	0,922176	0,92803
0,331955923	0,268595041	0,5	0,7340694	0,28675981	0,581836	0,268595	0,892906	0,372588	0,640719	0,28676	0,828676	0,331956	0,268595	0,637397	0,892906
0,491046832	0,324380165	0,634700315	0,70599369	0,44045243	0,723886	0,32438	0,862259	0,253826	0,742182	0,440452	0,799069	0,491047	0,32438	0,784435	0,862259
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
0,473140496	0,174931129	0,985804416	0,57287066	0,42315369	1,094145	0,174931	0,716942	0,174931	1,1677	0,423154	0,658683	0,146006	0,129477	0,563361	0,868113
0,199724518	0	0,683280757	0,36782334	0,1590153	0,775116	0	0,493113	0	0,837466	0,159015	0,442448	0,296832	0,595041	0,883953	1,099518
0,306818182	0,661501377	0,761198738	0,83091483	0,26247505	0,857285	0,661501	0,998623	0,661501	0,922521	0,262475	0,930805	0,29511	0,246556	0,700758	0,891185
290,4		317		300,6		290,4		300,6		0,440452	0,799069	0,692493	0,423898	0,986915	1,091253
0,236570248	0,324380165	0,734700315	0,71735016	0,19461078	0,829341	0,32438	0,874656	0,200266	0,586826	0,258816	1,038922	0,23657	0,32438	0,893595	0,874656
0,454201102	0,392906336	0,7170347	0,74984227	0,40485695	0,810712	0,392906	0,910124	0,052229	0,487691	0,232535	0,56986	0,454201	0,392906	0,874311	0,910124
0,487947658	0,421831956	0,870347003	0,68643533	0,43745842	0,972389	0,421832	0,840909	0,023619	0,617432	0,393546	0,903859	0,487948	0,421832	1,041667	0,840909
0,171831956	0,24862259	0,556466877	0,62555205	0,13206919	0,641384	0,248623	0,774449	0,372588	0,640719	0,423154	0,658683	0,171832	0,248623	0,699036	0,774449
0,240702479	0,367768595	0,609148265	0,82397476	0,19860279	0,696939	0,367769	0,991047	0,253826	0,742182	0,159015	0,442448	0,240702	0,367769	0,756543	0,991047
0,333481405	0,384104683	0,804501577	0,75379495	0,28823353	0,902951	0,384105	0,914439	0,384105	0,96979	0,288234	0,849478	0,333481	0,384105	0,96979	0,914439

Planilha 3 – Comparação de desempenho entre os métodos: Desvio Relativo Médio

MM-FT1	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT4	MM-FT1	MM-FT3	MM-FT2	MM-FT4	MM-FT1	MM-FT4	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT1	MM-FT2	MM-FT3	MM-FT4
0,333481405	0,384104683	0,804501577	0,753794953	0,288233533	0,902950765	0,384104683	0,914438705	0,384105	0,96979	0,288234	0,849478	0,333481405	0,384104683	0,969789945	0,914438705
0,008291407	0,008362422	0,511549847	0,062032424	0,007738263	0,568890302	0,008362422	0,073916952	0,008362	0,609556	0,007738	0,068986	0,008291407	0,008362422	0,609555507	0,073916952
0,059679596	0,015150016	0,647222788	0,117696614	0,055698198	0,719771045	0,015150016	0,140245607	0,01515	0,771221	0,055698	0,130889	0,059679596	0,015150016	0,77122145	0,140245607
0,075025813	0,006635741	0,608237613	0,048418046	0,070020625	0,676415959	0,006635741	0,057694253	0,006636	0,724767	0,070021	0,053845	0,075025813	0,006635741	0,724767272	0,057694253
0,007624345	0,002048622	0,079227155	0,039187762	0,007115703	0,088107855	0,002048622	0,046695579	0,002049	0,094406	0,007116	0,04358	0,007624345	0,002048622	0,094405948	0,046695579
0,001268527	0,018741836	0,114630307	0,010351939	0,0011839	0,127479405	0,018741836	0,012335223	0,018742	0,136592	0,001184	0,011512	0,001268527	0,018741836	0,13659184	0,012335223
0,021983372	0,124474838	0,018767271	0,002165919	0,020516798	0,020870925	0,124474838	0,002580878	0,124475	0,022363	0,020517	0,002409	0,021983372	0,124474838	0,022362813	0,002580878
0,003369515	0,012791423	0,008155172	0,026550492	0,003144725	0,009069299	0,012791423	0,031637188	0,012791	0,009718	0,003145	0,029527	0,003369515	0,012791423	0,009717587	0,031637188
0,000176403	0,015501279	0,011863127	0,000155502	0,000164635	0,013192884	0,015501279	0,000185294	0,015501	0,014136	0,000165	0,000173	0,000176403	0,015501279	0,014135933	0,000185294
0,019108493	0,000158496	1,0496E-05	0,005805286	0,01783371	1,16725E-05	0,000158496	0,006917496	0,000158	1,25E-05	0,017834	0,006456	0,019108493	0,000158496	1,25068E-05	0,006917496
0,007615928	0,007385106	0,001902556	0,00015503	0,007107847	0,002115816	0,007385106	0,000184732	0,007385	0,002267	0,007108	0,000172	0,007615928	0,007385106	0,002267058	0,000184732
2,3271E-06	0,013342477	0,092721211	0,000389097	2,17185E-06	0,103114482	0,013342477	0,000463643	0,013342	0,110485	2,17E-06	0,000433	2,3271E-06	0,013342477	0,110485273	0,000463643
0,024826864	0,003567018	0,028832469	0,002284961	0,023170592	0,032064347	0,003567018	0,002722727	0,003567	0,034356	0,023171	0,002541	0,024826864	0,003567018	0,034356359	0,002722727
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
0,008237563	0,008050489	0,000609638	0,008570554	0,007688011	0,000677973	0,008050489	0,01021255	0,00241	0,00882	0,042052	0,000887	0,008237563	0,008050489	0,000726436	0,01021255
0,001079883	0,01997589	0,005185363	0,017682288	0,001007841	0,005766599	0,01997589	0,021069962	0,014068	0,002217	0,004402	0,025448	0,001079883	0,01997589	0,006178804	0,021069962
0,002343107	0,014406612	0,021081757	1,54744E-05	0,002186791	0,023444846	0,014406612	1,84391E-05	0,024704	0,00497	0,010951	0,009929	0,002343107	0,014406612	0,025120722	1,84391E-05
0,035147211	0,064835469	0,138625847	0,001801025	0,03280244	0,154164644	0,064835469	0,002146076	0,00697	7,85E-05	0,02418	0,00046	0,035147211	0,064835469	0,165184584	0,002146076
0,001343182	0,044494266	0,006183317	0,028746828	0,001253575	0,006876415	0,044494266	0,034254311	0,000695	0,006903	0,015944	0,024495	0,001343182	0,044494266	0,007367952	0,034254311
0,00147235	0,01891951	0,060741257	0,000453811	0,001374125	0,067549843	0,01891951	0,000540755	0,027599	0,000586	0,016956	0,008402	0,00147235	0,01891951	0,072378416	0,000540755
0,128889406	0,001583514	0,000246104	0,026236846	0,120290823	0,00027369	0,001583514	0,031263452	0,011874	0,004293	0,001374	0,01137	0,128889406	0,001583514	0,000293254	0,031263452
0,009391772	0,003567018	0,004872216	0,001328223	0,00876522	0,005418351	0,003567018	0,001582692	0,007202	0,009116	0,004954	0,039638	0,009391772	0,003567018	0,005805663	0,001582692
0,014573245	7,74691E-05	0,007650455	1,56237E-05	0,013601022	0,008508006	7,74691E-05	1,8617E-05	0,090074	0,002694	0,009668	0,041116	0,014573245	7,74691E-05	0,009116173	1,8617E-05
0,042343266	0,005004685	0,080736651	0,001046125	0,039518424	0,089786554	0,005004685	0,001246547	0,028755	0,006676	0,003724	0,000164	0,042343266	0,005004685	0,096204643	0,001246547
0,140776625	0,143138447	0,204991067	0,142316603	0,135999773	0,216174878	0,143138447	0,15535249	0,143138	0,223768	0,136	0,150081	0,140776625	0,143138447	0,223767797	0,15535249

Apêndice D – Código Fonte do Software MM-FlowTime

```
Unit3
var
  m1, m2, m3, m4, m5 : array[1..120,1..2]of integer;
  numaquest: integer;
  vetorordenado: array[1..120,1..2]of integer;
  tmf : real;

procedure Algoritmo2();
var
  s,p: integer;
  tempo_inicial, tempo_final, tempo_total : integer;
  tempo_inicial_100, tempo_final_100, tempo_final_total : integer;
  str: string;
begin
  infinito := 999999;
  arq:="";
  arqtempo:= "";
  if form4.OpenDialog1.Execute then
    arq:= form4.OpenDialog1.FileName;
  if arq <> " then
    begin
      AssignFile(arquivo, arq);
      Reset(arquivo);
      if form4.OpenDialog1.Execute then
        arqtempo:= form4.OpenDialog1.FileName;
      if arqtempo <> " then
        begin
          AssignFile(arquivotempo, arqtempo);
          Reset(arquivotempo);
          Append(arquivotempo);
          Readln(arquivo, str);
          quantmaq := strtoint(str);
          Readln(arquivo, str);
          tamanhomatriz := strtoint(str);
          Readln(arquivo, str);
          quantprob := strtoint(str);
          Readln(arquivo, str);
          Readln(arquivo, str);
          for p:=1 to quantmaq do
            vetnumaquest[p]:= strtoint(str[p]);
            Readln(arquivo, str);
            Writeln(Arquivotempo,'algoritmo 2');
            numestagio:= quantmaq;
            tempo_inicial_100:= GetTickCount;
            for s:=1 to quantprob do
              begin
                tmf:=0;
                unit1.form1.LerArquivo();
                tlpt();
                unit3.Form3.programacao();
```



```

        Writeln(Arquivotempo,floattostr(tmf));
    end;
    tempo_final_100:= GetTickCount;
    tempo_final_total:= tempo_final_100 -tempo_inicial_100;
    Writeln(Arquivotempo,'Tempo final algoritmo 2 :'+ inttostr(tempo_final_total));
    Closefile(arquivo);
    Closefile(arquivotempo);
end;

end;
end;

procedure tform3.tlpt();
var
    i, j, aux: integer;
begin
    numestagio:= quantmaq;
    for i:=1 to tamanhomatriz do
        for j:=1 to quantmaq do
            begin
                somatempos[i]:= somatempos[i]+tempo[j,i];
            end;
        for i:= 1 to tamanhomatriz do
            begin
                vetorordenado[i,1]:= i;
                vetorordenado[i,2]:= somatempos[i];
            end;
        bolhainvertido();
        for i:= 1 to tamanhomatriz do
            begin
                vetorordenado[i,2]:= 0;
            end;
        end;

procedure Tform3.programacao();
var
    aux, i, j, fluxo1, fluxo2, fluxo3,fluxo4, fluxo5, n, m, aux1, km1, km2, km3, km4, km5, w,z: integer;
    troca : boolean;
    str : string;
begin
    tmf:= 0;
    j:=1;
    km1:=1;
    km2:=1;
    km3:=1;
    km4:=1;
    km5:=1;
    fluxo1:=infinito;
    fluxo2:=infinito;
    fluxo3:=infinito;
    fluxo4:=infinito;
    fluxo5:=infinito;
    for n:=1 to numestagio do
        begin
            for w:=1 to tamanhomatriz do

```

```

begin
  for z:=1 to 2 do
    begin
      m1[w,z]:=0;
      m2[w,z]:=0;
      m3[w,z]:=0;
      m4[w,z]:=0;
      m5[w,z]:=0;
    end;
  end;
  numaqest:= vetnumaqest[n];
  for i:=1 to tamanhomatriz-(numaqest-1) do
    begin
      if (i=1) then
        begin
          aux:= vetorordenado[j,1];
          m1[i,1]:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
          m1[i,2]:= aux;
          fluxo1:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
          j:= j+1;
          aux:= vetorordenado[j,1];
          m2[i,1]:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
          m2[i,2]:= aux;
          fluxo2:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
          j:= j+1;
          if numaqest >=3 then
            begin
              aux:= vetorordenado[j,1];
              m3[i,1]:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
              m3[i,2]:= aux;
              fluxo3:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
              j:= j+1;
            end;
          if numaqest >=4 then
            begin
              aux:= vetorordenado[j,1];
              m4[i,1]:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
              m4[i,2]:= aux;
              fluxo4:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
              j:= j+1;
            end;
          if numaqest =5 then
            begin
              aux:= vetorordenado[j,1];
              m5[i,1]:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
              m5[i,2]:= aux;
              fluxo5:= tempo[n,aux]+ vetorordenado[j,2];
              j:= j+1;
            end;
          end
        else
          begin
            if n = 1 then
              begin

```

```

        fluxo1:= fluxo1 + maq1[m1[km1,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
        fluxo2:= fluxo2 + maq1[m2[km2,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
        if numaquest >= 3 then
            fluxo3:= fluxo3 + maq1[m3[km3,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
            if numaquest >= 4 then
                fluxo4:= fluxo4 + maq1[m4[km4,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                if numaquest = 5 then
                    fluxo5:= fluxo5 + maq1[m5[km5,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                end;
            if n = 2 then
                begin
                    fluxo1:= fluxo1 + maq2[m1[km1,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                    fluxo2:= fluxo2 + maq2[m2[km2,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                    if numaquest >= 3 then
                        fluxo3:= fluxo3 + maq2[m3[km3,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                        if numaquest >= 4 then
                            fluxo4:= fluxo4 + maq2[m4[km4,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                            if numaquest = 5 then
                                fluxo5:= fluxo5 + maq2[m5[km5,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                            end;
                        if n = 3 then
                            begin
                                fluxo1:= fluxo1 + maq3[m1[km1,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                fluxo2:= fluxo2 + maq3[m2[km2,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                if numaquest >= 3 then
                                    fluxo3:= fluxo3 + maq3[m3[km3,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                    if numaquest >= 4 then
                                        fluxo4:= fluxo4 + maq3[m4[km4,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                        if numaquest = 5 then
                                            fluxo5:= fluxo5 + maq3[m5[km5,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                        end;
                                    if n = 4 then
                                        begin
                                            fluxo1:= fluxo1 + maq4[m1[km1,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                            fluxo2:= fluxo2 + maq4[m2[km2,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                            if numaquest >= 3 then
                                                fluxo3:= fluxo3 + maq4[m3[km3,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];

```

```

        if numaqest >= 4 then
            fluxo4:= fluxo4 + maq4[m4[km4,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
            if numaqest = 5 then
                fluxo5:= fluxo5 + maq4[m5[km5,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
            end;
            if n = 5 then
                begin
                    fluxo1:= fluxo1 + maq5[m1[km1,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                    fluxo2:= fluxo2 + maq5[m2[km2,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                    if numaqest >= 3 then
                        fluxo3:= fluxo3 + maq5[m3[km3,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                        if numaqest >= 4 then
                            fluxo4:= fluxo4 + maq5[m4[km4,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                        if numaqest = 5 then
                            fluxo5:= fluxo5 + maq5[m5[km5,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                        end;
                    if n = 6 then
                        begin
                            fluxo1:= fluxo1 + maq6[m1[km1,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                            fluxo2:= fluxo2 + maq6[m2[km2,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                            if numaqest >= 3 then
                                fluxo3:= fluxo3 + maq6[m3[km3,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                if numaqest >= 4 then
                                    fluxo4:= fluxo4 + maq6[m4[km4,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                if numaqest = 5 then
                                    fluxo5:= fluxo5 + maq6[m5[km5,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                end;
                            if n = 7 then
                                begin
                                    fluxo1:= fluxo1 + maq7[m1[km1,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                    fluxo2:= fluxo2 + maq7[m2[km2,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                    if numaqest >= 3 then
                                        fluxo3:= fluxo3 + maq7[m3[km3,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                        if numaqest >= 4 then
                                            fluxo4:= fluxo4 + maq7[m4[km4,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                        if numaqest = 5 then
                                            fluxo5:= fluxo5 + maq7[m5[km5,2],vetorordenado[j,1]]+
tempo[n,vetorordenado[j,1]];
                                        end;
                                    end;
                                end;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;

```

```

if n> 1 then
  begin
    if fluxo1 < (vetorordenado[j,2]+ tempo[n,vetorordenado[j,1]])then
      fluxo1:= vetorordenado[j,2] + tempo[n,vetorordenado[j,1]];
    if fluxo2 < (vetorordenado[j,2]+ tempo[n,vetorordenado[j,1]])then
      fluxo2:= vetorordenado[j,2] + tempo[n,vetorordenado[j,1]];
    if fluxo3 < (vetorordenado[j,2]+ tempo[n,vetorordenado[j,1]])then
      fluxo3:= vetorordenado[j,2] + tempo[n,vetorordenado[j,1]];
    if fluxo4 < (vetorordenado[j,2]+ tempo[n,vetorordenado[j,1]])then
      fluxo4:= vetorordenado[j,2] + tempo[n,vetorordenado[j,1]];
    if fluxo5 < (vetorordenado[j,2]+ tempo[n,vetorordenado[j,1]])then
      fluxo5:= vetorordenado[j,2] + tempo[n,vetorordenado[j,1]];
    end;
    if (fluxo1 <= fluxo2) and (fluxo1 <= fluxo3) and (fluxo1 <= fluxo4) and (fluxo1 <=
fluxo5) then
      begin
        m1[km1+1,1]:= fluxo1;
        m1[km1+1,2]:= vetorordenado[j,1];
        j:=j+1;
        km1:=km1+1;
        fluxo2 := m2[km2,1];
        if numaqest >= 3 then
          fluxo3 := m3[km3,1];
        if numaqest >= 4 then
          fluxo4 := m4[km4,1];
        if numaqest = 5 then
          fluxo5 := m5[km5,1];
        end
      else
        if (fluxo2 < fluxo1) and (fluxo2 <= fluxo3) and (fluxo2 <= fluxo4) and (fluxo2 <=
fluxo5) then
          begin
            m2[km2+1,1]:= fluxo2;
            m2[km2+1,2]:= vetorordenado[j,1];
            j:=j+1;
            km2:=km2+1;
            fluxo1 := m1[km1, 1];
            if numaqest >= 3 then
              fluxo3 := m3[km3,1];
            if numaqest >= 4 then
              fluxo4 := m4[km4,1];
            if numaqest = 5 then
              fluxo5 := m5[km5,1];
            end
          else
            if (fluxo3 < fluxo1) and (fluxo3 < fluxo2) and (fluxo3 <= fluxo4) and (fluxo3 <=
fluxo5) then
              begin
                m3[km3+1,1]:= fluxo3;
                m3[km3+1,2]:= vetorordenado[j,1];
                j:=j+1;
                km3:=km3+1;
                fluxo1 := m1[km1,1];
                fluxo2 := m2[km2,1];
                if numaqest >= 4 then

```

```

        fluxo4 := m4[km4,1];
        if numaqest = 5 then
            fluxo5 := m5[km5,1];
        end
    else
        if (fluxo4 < fluxo1) and (fluxo4 < fluxo2) and (fluxo4 < fluxo3) and (fluxo4 <=
fluxo5) then
            begin
                m4[km4+1,1] := fluxo4;
                m4[km4+1,2] := vetorordenado[j,1];
                j:=j+1;
                km4:=km4+1;
                fluxo1 := m1[km1,1];
                fluxo2 := m2[km2,1];
                if numaqest >= 3 then
                    fluxo3 := m3[km3,1];
                if numaqest = 5 then
                    fluxo5 := m5[km5,1];
                end
            else
                if (fluxo5 < fluxo1) and (fluxo5 < fluxo2) and (fluxo5 < fluxo3) and (fluxo5 < fluxo4)
then
                    begin
                        m5[km5+1,1] := fluxo5;
                        m5[km5+1,2] := vetorordenado[j,1];
                        j:=j+1;
                        km5:=km5+1;
                        fluxo1 := m1[km1,1];
                        fluxo2 := m2[km2,1];
                        if numaqest >= 3 then
                            fluxo3 := m3[km3,1];
                        if numaqest >= 4 then
                            fluxo4 := m4[km4,1];
                        end;
                    end;
                end;
            aux:= m1[1,1];
            i:= 1;
            j:= 1;
            while m1[j,1]<> 0 do
                begin
                    vetorordenado[i,1]:= m1[j,2];
                    vetorordenado[i,2]:= m1[j,1];
                    i:=i+1;
                    j:=j+1;
                end;
            j:=1;
            while m2[j,1]<> 0 do
                begin
                    vetorordenado[i,1]:= m2[j,2];
                    vetorordenado[i,2]:= m2[j,1];
                    i:=i+1;
                    j:=j+1;
                end;
            j:=1;

```

```

while m3[j,1]<> 0 do
  begin
    vetorordenado[i,1]:= m3[j,2];
    vetorordenado[i,2]:= m3[j,1];
    i:=i+1;
    j:=j+1;
  end;
j:=1;
while m4[j,1]<> 0 do
  begin
    vetorordenado[i,1]:= m4[j,2];
    vetorordenado[i,2]:= m4[j,1];
    i:=i+1;
    j:=j+1;
  end;
j:=1;
while m5[j,1]<> 0 do
  begin
    vetorordenado[i,1]:= m5[j,2];
    vetorordenado[i,2]:= m5[j,1];
    i:=i+1;
    j:=j+1;
  end;
if n < numestagio then
  begin
    m:= tamanhomatriz -1;
    troca:= true;
    while troca = true do
      begin
        troca:= false;
        for i:=1 to m do
          if vetorordenado[i,2] > vetorordenado[i+1,2] then
            begin
              aux:= vetorordenado[i,1];
              aux1:= vetorordenado[i,2];
              vetorordenado[i,1]:= vetorordenado[i+1,1];
              vetorordenado[i,2]:= vetorordenado[i+1,2];
              vetorordenado[i+1,1]:= aux;
              vetorordenado[i+1,2]:= aux1;
              j:=i;
              troca := true;
            end;
          m:=j
        end;
      end;
    j:=1;
    km1:=1;
    km2:=1;
    km3:=1;
    km4:=1;
    km5:=1;
    fluxo1:=infinito;
    fluxo2:=infinito;
    fluxo3:=infinito;
    fluxo4:=infinito;

```

```

        fluxo5:=infinito;
    end;
    aux:= 0;
    for w:=1 to tamanhomatriz do
        begin
            aux:= aux + vetorordenado[w,2];
        end;
    tmf:= aux / tamanhomatriz;
end;

```

Unit4

```
var
```

```

    vetnumaqest: array[1..7]of integer;
    numestagio : integer;

```

```
procedure Agoritm01();
```

```
var
```

```

    s,i,p: integer;
    tempo_inicial, tempo_final, tempo_total : integer;
    tempo_inicial_100, tempo_final_100, tempo_final_total : integer;
    str: string;

```

```
begin
```

```
    infinito := 999999;
```

```
    arq:="";
```

```
    arqtempo:= ";
```

```
    if form4.OpenDialog1.Execute then
```

```
        arq:= form4.OpenDialog1.FileName;
```

```
    if arq <> " then
```

```
        begin
```

```
            AssignFile(arquivo, arq);
```

```
            Reset(arquivo);
```

```
            if form4.OpenDialog1.Execute then
```

```
                arqtempo:= form4.OpenDialog1.FileName;
```

```
            if arqtempo <> " then
```

```
                begin
```

```
                    AssignFile(arquivotempo, arqtempo);
```

```
                    Reset(arquivotempo);
```

```
                    Append(arquivotempo);
```

```
                    Readln(arquivo, str);
```

```
                    quantmaq := strtoint(str);
```

```
                    Readln(arquivo, str);
```

```
                    tamanhomatriz := strtoint(str);
```

```
                    Readln(arquivo, str);
```

```
                    quantprob := strtoint(str);
```

```
                    Readln(arquivo, str);
```

```
                    Readln(arquivo, str);
```

```
                    for p:=1 to quantmaq do
```

```
                        vetnumaqest[p]:= strtoint(str[p]);
```

```
                    Readln(arquivo, str);
```

```
                    Writeln(Arquivotempo,'algoritmo 1');
```

```
                    numestagio:= quantmaq;
```

```
                    tempo_inicial_100:= GetTickCount;
```

```
                    for s:=1 to quantprob do
```

```
                        begin
```



```

        tmf:=0;
        unit1.form1.LerArquivo();
        tspt();
        unit3.Form3.programacao();
        Writeln(Arquivotempo,floattostr(tmf));
    end;
    tempo_final_100:= GetTickCount;
    tempo_final_total:= tempo_final_100 -tempo_inicial_100;
    Writeln(Arquivotempo,'Tempo final algoritmo 1 :'+ inttostr (tempo_final_total));
    Closefile(arquivo);
    Closefile(arquivotempo);
end;
end;
end;

```

```

procedure TForm4.tspt();
var
    i, j, aux: integer;
begin
    numestagio:= quantmaq;
    for i:=1 to tamanhomatriz do
        for j:=1 to quantmaq do
            begin
                somatempos[i]:= somatempos[i]+tempo[j,i];
            end;
        for i:= 1 to tamanhomatriz do
            begin
                vetorordenado[i,1]:= i;
                vetorordenado[i,2]:= somatempos[i];
            end;
        bolha();
        for i:= 1 to tamanhomatriz do
            begin
                vetorordenado[i,2]:= 0;
            end;
        end;
end;

```

Unit6

```

var
    m6, m7, m8, m9, m10, m11, m12, m13, m14, m15, m16, m17, m18, m19, m20,
    m21, m22, m23, m24, m25, m26, m27, m28, m29, m30, m31, m32, m33, m34, m35 :
array[1..120,1..2]of integer;

```

```

procedure Algoritmo3();
var
    s,i,p: integer;
    tempo_inicial, tempo_final, tempo_total : integer;
    tempo_inicial_100, tempo_final_100, tempo_final_total : integer;
    str: string;
begin

    infinito := 999999;
    arq:="";
    arqtempo:= "";

```

```

if form6.OpenDialog1.Execute then
  arq:= form6.OpenDialog1.FileName;
if arq <> " then
  begin
    AssignFile(arquivo, arq);
    Reset(arquivo);
    if form6.OpenDialog1.Execute then
      arqtempo:= form6.OpenDialog1.FileName;
      if arqtempo <> " then
        begin
          AssignFile(arquivotempo, arqtempo);
          Reset(arquivotempo);
          Append(arquivotempo);
          Readln(arquivo, str);
          quantmaq := strtoint(str);
          Readln(arquivo, str);
          tamanhomatriz := strtoint(str);
          Readln(arquivo, str);
          quantprob := strtoint(str);
          Readln(arquivo, str);
          Readln(arquivo, str);
          for p:=1 to quantmaq do
            vetnumaquest[p]:= strtoint(str[p]);
          Readln(arquivo, str);
          Writeln(Arquivotempo,'algoritmo 3');
          numestagio:= quantmaq;
          tempo_inicial_100:= GetTickCount;
          for s:=1 to quantprob do
            begin
              tmf:=0;
              unit1.form1.LerArquivo();
              unit4.Form4.tspt();
              programacao_tarefa_tarefa();
              Writeln(Arquivotempo,floattostr(tmf));
            end;
          tempo_final_100:= GetTickCount;
          tempo_final_total:= tempo_final_100 -tempo_inicial_100;
          Writeln(Arquivotempo,'Tempo final algoritmo 3 :'+ inttostr(tempo_final_total));
          Closefile(arquivo);
          Closefile(arquivotempo);
        end;
      end;
    end;
  end;

procedure TForm6.programacao_tarefa_tarefa();
var
  i, j, k, w, g, r, menorvalor, guardafluxo, aux, l: integer;
  fluxo: array[1..35]of integer;
  nummaq, posfluxo, menorfluxo, fluxoanterior: integer;
  km1, km2, km3, km4, km5, km6, km7, km8, km9, km10, km11, km12, km13, km14, km15 :
integer;
  km16, km17, km18, km19, km20, km21, km22, km23, km24, km25 : integer;
  km26, km27, km28, km29, km30, km31, km32, km33, km34, km35 : integer;
begin

```

```

nummaq := 0;

km1:= 1;
km2:= 1;
km3:= 1;
km4:= 1;
km5:= 1;
km6:= 1;
km7:= 1;
km8:= 1;
km9:= 1;
km10:= 1;
km11:= 1;
km12:= 1;
km13:= 1;
km14:= 1;
km15:= 1;
km16:= 1;
km17:= 1;
km18:= 1;
km19:= 1;
km20:= 1;
km21:= 1;
km22:= 1;
km23:= 1;
km24:= 1;
km25:= 1;
km26:= 1;
km27:= 1;
km28:= 1;
km29:= 1;
km30:= 1;
km31:= 1;
km32:= 1;
km33:= 1;
km34:= 1;
km35:= 1;
for i:=1 to numestagio do
    nummaq := 5 * numestagio;
for i:=1 to nummaq do
    fluxo[i]:=0;
for i:=1 to tamanhomatriz do
    begin
        if i = 1 then
            begin
                j:=1;
                k:=1;
                m1[k,1]:= vetorordenado[i,1];
                fluxo[1]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
                m1[k,2]:= fluxo[1];
                km1:= km1+1;
                j:= j+1;
                m6[k,1]:= vetorordenado[i,1];
                fluxo[6]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
                m6[k,2]:= fluxo[1] + fluxo[6];
            end
        end
    end

```

```

fluxo[6]:= fluxo[1]+fluxo[6];
j:= j+1;
km6:= km6+1;
if numestagio >= 3 then
begin
  m11[k,1]:= vetorordenado[i,1];
  fluxo[11]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
  m11[k,2]:= fluxo[6] + fluxo[11];
  fluxo[11]:= fluxo[6] + fluxo[11];
  km11:= km11+1;
  j:=j+1;
end;
if numestagio >= 4 then
begin
  m16[k,1]:= vetorordenado[i,1];
  fluxo[16]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
  m16[k,2]:= fluxo[11] + fluxo[16];
  fluxo[16]:= fluxo[11] + fluxo[16];
  km16:= km16+1;
  j:=j+1;
end;
if numestagio >= 5 then
begin
  m21[k,1]:= vetorordenado[i,1];
  fluxo[21]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
  m21[k,2]:= fluxo[16] + fluxo[21];
  fluxo[21]:= fluxo[16] + fluxo[21];
  km21:= km21+1;
  j:=j+1;
end;
if numestagio >= 6 then
begin
  m26[k,1]:= vetorordenado[i,1];
  fluxo[26]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
  m26[k,2]:= fluxo[21] + fluxo[26];
  fluxo[26]:= fluxo[21] + fluxo[26];
  km26:= km26+1;
  j:=j+1;
end;
if numestagio >= 7 then
begin
  m31[k,1]:= vetorordenado[i,1];
  fluxo[31]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
  m31[k,2]:= fluxo[26] + fluxo[31];
  fluxo[31]:= fluxo[26] + fluxo[31];
  km31:= km31+1;
  j:=j+1;
end;
j:=1;
end;
if i = 2 then
begin
  j:=1;
  k:=1;
  m2[k,1]:= vetorordenado[i,1];

```

```

fluxo[2]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
m2[k,2]:= fluxo[2];
km2:= km2+1;
j:= j+1;
m7[k,1]:= vetorordenado[i,1];
fluxo[7]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
m7[k,2]:= fluxo[2] + fluxo[7];
fluxo[7]:= fluxo[2]+fluxo[7];
j:= j+1;
km7:= km7+1;
if numestagio >= 3 then
  begin
    m12[k,1]:= vetorordenado[i,1];
    fluxo[12]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
    m12[k,2]:= fluxo[7] + fluxo[12];
    fluxo[12]:= fluxo[7] + fluxo[12];
    km12:= km12+1;
    j:=j+1;
  end;
if numestagio >= 4 then
  begin
    m17[k,1]:= vetorordenado[i,1];
    fluxo[17]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
    m17[k,2]:= fluxo[12] + fluxo[17];
    fluxo[17]:= fluxo[12] + fluxo[17];
    km17:= km17+1;
    j:=j+1;
  end;
if numestagio >= 5 then
  begin
    m22[k,1]:= vetorordenado[i,1];
    fluxo[22]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
    m22[k,2]:= fluxo[17] + fluxo[22];
    fluxo[22]:= fluxo[17] + fluxo[22];
    km22:= km22+1;
    j:=j+1;
  end;
if numestagio >= 6 then
  begin
    m27[k,1]:= vetorordenado[i,1];
    fluxo[27]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
    m27[k,2]:= fluxo[22] + fluxo[27];
    fluxo[27]:= fluxo[22] + fluxo[27];
    km27:= km27+1;
    j:=j+1;
  end;
if numestagio >= 7 then
  begin
    m32[k,1]:= vetorordenado[i,1];
    fluxo[32]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]];
    m32[k,2]:= fluxo[27] + fluxo[32];
    fluxo[32]:= fluxo[27] + fluxo[32];
    km32:= km32+1;
    j:=j+1;
  end;

```

```

    j:=1;
  end;
  guardafluxo := 0;
  g:=1;
  if i > 2 then
    begin
      k:=1;
      guardafluxo:=0;
      fluxo[guardafluxo]:=0;
      if fluxo[1] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq1[m1[km1-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[1]) then
          fluxo[1]:= fluxo[1]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
          fluxo[1]:= fluxo[1]+ maq1[m1[km1-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

        else
          fluxo[1]:= fluxo[1]+ maq1[m1[km1-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

          if fluxo[2] < fluxo[guardafluxo] then
            if maq1[m2[km2-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[2]) then
              fluxo[2]:= fluxo[2]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
            else
              fluxo[2]:= fluxo[2]+ maq1[m2[km2-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
              fluxo[2]:= fluxo[2]+ maq1[m2[km2-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

              if (km3 = 1) and (vetnumaqest[1] >= 3) then
                fluxo[3]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
              if (km3 > 1) and (vetnumaqest[1] >= 3) then
                begin
                  if fluxo[3] < fluxo[guardafluxo] then
                    if maq1[m3[km3-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[3]) then
                      fluxo[3]:= fluxo[3]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                    else
                      fluxo[3]:= fluxo[3]+ maq1[m3[km3-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

                  else
                    fluxo[3]:= fluxo[3]+ maq1[m3[km3-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
                end;

                if (km4 = 1) and (vetnumaqest[1] >= 4) then
                  fluxo[4]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
                if (km4 > 1) and (vetnumaqest[1] >= 4) then
                  begin
                    if fluxo[4] < fluxo[guardafluxo] then
                      if maq1[m4[km4-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[4]) then
                        fluxo[4]:= fluxo[4]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                      else

```

```

fluxo[4]:= fluxo[4]+ maq1[m4[km4-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

else
    fluxo[4]:= fluxo[4]+ maq1[m4[km4-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
end;

if (km5 = 1) and (vetnumaqest[1] >= 5) then
    fluxo[5]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
if (km5 > 1) and (vetnumaqest[1] >= 5) then
begin
    if fluxo[5] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq1[m5[km5-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[5]) then
            fluxo[5]:= fluxo[5]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[5]:= fluxo[5]+ maq1[m5[km5-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

        else
            fluxo[5]:= fluxo[5]+ maq1[m5[km5-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;

if (km3 = 1) and (vetnumaqest[1] = 3) then
begin
    menorfluxo := fluxo[3];
    menorvalor:= 3;
end
else
if (km4 = 1) and (vetnumaqest[1] = 4) then
begin
    menorfluxo := fluxo[4];
    menorvalor:= 4;
end
else
if (km5 = 1) and (vetnumaqest[1] = 5) then
begin
    menorfluxo := fluxo[5];
    menorvalor:= 5;
end
else
begin
    menorfluxo:= fluxo[1];
    menorvalor:=1;
for r:=2 to vetnumaqest[g] do
    if menorfluxo > fluxo[r] then
        begin
            menorfluxo := fluxo[r];
            menorvalor:= r;
        end;
end;
if menorvalor = 1 then
begin
    m1[km1,1]:= vetorordenado[i,1];

```

```

    m1[km1,2]:= menorfluxo;
    km1:= km1+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=1;
    fluxo[2]:= m2[km2-1,2];
    fluxo[3]:= m3[km3-1,2];
    fluxo[4]:= m4[km4-1,2];
    fluxo[5]:= m5[km5-1,2];
end
else
if menorvalor = 2 then
begin
    m2[km2,1]:= vetorordenado[i,1];
    m2[km2,2]:= menorfluxo;
    km2:= km2+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=2;
    fluxo[1]:= m1[km1-1,2];
    fluxo[3]:= m3[km3-1,2];
    fluxo[4]:= m4[km4-1,2];
    fluxo[5]:= m5[km5-1,2];
end
else
if menorvalor = 3 then
begin
    m3[km3,1]:= vetorordenado[i,1];
    m3[km3,2]:= menorfluxo;
    km3:= km3+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=3;
    fluxo[2]:= m2[km2-1,2];
    fluxo[1]:= m1[km1-1,2];
    fluxo[4]:= m4[km4-1,2];
    fluxo[5]:= m5[km5-1,2];
end
else
if menorvalor = 4 then
begin
    m4[km4,1]:= vetorordenado[i,1];
    m4[km4,2]:= menorfluxo;
    km4:= km4+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=4;
    fluxo[2]:= m2[km2-1,2];
    fluxo[3]:= m3[km3-1,2];
    fluxo[1]:= m1[km1-1,2];
    fluxo[5]:= m5[km5-1,2];
end
else
if menorvalor = 5 then
begin
    m5[km5,1]:= vetorordenado[i,1];
    m5[km5,2]:= menorfluxo;
    km5:= km5+1;
    j:=j+1;

```



```

        guardafluxo:=5;
        fluxo[2]:= m2[km2-1,2];
        fluxo[3]:= m3[km3-1,2];
        fluxo[4]:= m4[km4-1,2];
        fluxo[1]:= m1[km1-1,2];
    end;
    g:= g+1;
    if fluxo[6] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq2[m6[km6-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[6]) then
            fluxo[6]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[6]:= fluxo[6]+ maq2[m6[km6-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

        else
            fluxo[6]:= fluxo[6]+ maq2[m6[km6-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

        if fluxo[7] < fluxo[guardafluxo] then
            if maq2[m7[km7-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[7]) then
                fluxo[7]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
            else
                fluxo[7]:= fluxo[7]+ maq2[m7[km7-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[7]:= fluxo[7]+ maq2[m7[km7-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

        if (km8 = 1) and (vetnumaqest[2] >= 3) then
            fluxo[8]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
        if (km8 > 1) and (vetnumaqest[2] >= 3) then
            begin
                if fluxo[8] < fluxo[guardafluxo] then
                    if maq2[m8[km8-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[8]) then
                        fluxo[8]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                    else
                        fluxo[8]:= fluxo[8]+ maq2[m8[km8-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

                else
                    fluxo[8]:= fluxo[8]+ maq2[m8[km8-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
            end;

        if (km9 = 1) and (vetnumaqest[2] >= 4) then
            fluxo[9]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
        if (km9 > 1) and (vetnumaqest[2] >= 4) then
            begin
                if fluxo[9] < fluxo[guardafluxo] then
                    if maq2[m9[km9-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[9]) then
                        fluxo[9]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                    else
                        fluxo[9]:= fluxo[9]+ maq2[m9[km9-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]
            end;

```

```

else
    fluxo[9]:= fluxo[9]+ maq2[m9[km9-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
end;

if (km10 = 1) and (vetnumaqest[2] >= 5) then
    fluxo[10]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
if (km10 > 1) and (vetnumaqest[2] >= 5) then
    begin
        if fluxo[10] < fluxo[guardafluxo] then
            if maq2[m10[km10-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[10]) then
                fluxo[10]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
            else
                fluxo[10]:= fluxo[10]+ maq2[m10[km10-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

        else
            fluxo[10]:= fluxo[10]+ maq2[m10[km10-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;
    if (km8 = 1) and (vetnumaqest[2] = 3) then
        begin
            menorfluxo := fluxo[8];
            menorvalor:= 3;
        end
    else
        if (km9 = 1) and (vetnumaqest[2] = 4) then
            begin
                menorfluxo := fluxo[9];
                menorvalor:= 4;
            end
        else
            if (km5 = 1) and (vetnumaqest[2] = 5) then
                begin
                    menorfluxo := fluxo[10];
                    menorvalor:= 5;
                end
            else
                begin
                    menorfluxo:= fluxo[6];
                    menorvalor:=1;
                    for r:=2 to vetnumaqest[g] do
                        if menorfluxo > fluxo[r+5] then
                            begin
                                menorfluxo := fluxo[r+5];
                                menorvalor:= r;
                            end;
                        end;
                    end;
                if menorvalor = 1 then
                    begin
                        m6[km6,1]:= vetorordenado[i,1];
                        m6[km6,2]:= menorfluxo;
                        km6:= km6+1;
                        j:=j+1;

```

```

        guardafluxo:=6;
        fluxo[7]:= m7[km7-1,2];
        fluxo[8]:= m8[km8-1,2];
        fluxo[9]:= m9[km9-1,2];
        fluxo*[10]:= m10[km10-1,2];
    end
else
if menorvalor = 2 then
    begin
        m7[km7,1]:= vetorordenado[i,1];
        m7[km7,2]:= menorfluxo;
        km7:= km7+1;
        j:=j+1;
        guardafluxo:=7;
        fluxo[6]:= m6[km6-1,2];
        fluxo[8]:= m8[km8-1,2];
        fluxo[9]:= m9[km9-1,2];
        fluxo[10]:= m10[km10-1,2];
    end
else
if menorvalor = 3 then
    begin
        m8[km8,1]:= vetorordenado[i,1];
        m8[km8,2]:= menorfluxo;
        km8:= km8+1;
        j:=j+1;
        guardafluxo:=8;
        fluxo[7]:= m7[km7-1,2];
        fluxo[6]:= m6[km6-1,2];
        fluxo[9]:= m9[km9-1,2];
        fluxo[10]:= m10[km10-1,2];
    end
else
if menorvalor = 4 then
    begin
        m9[km9,1]:= vetorordenado[i,1];
        m9[km9,2]:= menorfluxo;
        km9:= km9+1;
        j:=j+1;
        guardafluxo:=9;
        fluxo[7]:= m7[km7-1,2];
        fluxo[8]:= m8[km8-1,2];
        fluxo[6]:= m6[km6-1,2];
        fluxo[10]:= m10[km10-1,2];
    end
else
if menorvalor = 5 then
    begin
        m10[km10,1]:= vetorordenado[i,1];
        m10[km10,2]:= menorfluxo;
        km10:= km10+1;
        j:=j+1;
        guardafluxo:=10;
        fluxo[7]:= m7[km7-1,2];
        fluxo[8]:= m8[km8-1,2];

```

```

        fluxo[9]:= m9[km9-1,2];
        fluxo[6]:= m6[km6-1,2];
    end;
    g:= g+1;
    if fluxo[11] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq3[m11[km11-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[11]) then
            fluxo[11]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[11]:= fluxo[11]+ maq3[m11[km11-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

        else
            fluxo[11]:= fluxo[11]+ maq3[m11[km11-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

        if fluxo[12] < fluxo[guardafluxo] then
            if maq3[m12[km12-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[12]) then
                fluxo[12]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
            else
                fluxo[12]:= fluxo[12]+ maq3[m12[km12-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[12]:= fluxo[12]+ maq3[m12[km12-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

        if (km13 = 1) and (vetnumaquest[3] >= 3) then
            fluxo[13]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
        if (km13 > 1) and (vetnumaquest[3] >= 3) then
            begin
                if fluxo[13] < fluxo[guardafluxo] then
                    if maq3[m13[km13-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[13]) then
                        fluxo[13]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                    else
                        fluxo[13]:= fluxo[13]+ maq3[m13[km13-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

                else
                    fluxo[13]:= fluxo[13]+ maq3[m13[km13-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
            end;

        if (km14 = 1) and (vetnumaquest[3] >= 4) then
            fluxo[14]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
        if (km14 > 1) and (vetnumaquest[3] >= 4) then
            begin
                if fluxo[14] < fluxo[guardafluxo] then
                    if maq3[m14[km14-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[14]) then
                        fluxo[14]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                    else
                        fluxo[14]:= fluxo[14]+ maq3[m14[km14-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

                else

```

```

        fluxo[14]:= fluxo[14]+ maq3[m14[km14-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
    end;
    if (km15 = 1) and (vetnumaqest[3] >= 5) then
        fluxo[15]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km15 > 1) and (vetnumaqest[3] >= 5) then
        begin
            if fluxo[15] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq3[m15[km15-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[15]) then
                    fluxo[15]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[15]:= fluxo[15]+ maq3[m15[km15-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[15]:= fluxo[15]+ maq3[m15[km15-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
            end;

        if (km13 = 1) and (vetnumaqest[3] = 3) then
            begin
                menorfluxo := fluxo[13];
                menorvalor:= 3;
            end
        else
        if (km14 = 1) and (vetnumaqest[3] = 4) then
            begin
                menorfluxo := fluxo[14];
                menorvalor:= 4;
            end
        else
        if (km15 = 1) and (vetnumaqest[3] = 5) then
            begin
                menorfluxo := fluxo[15];
                menorvalor:= 5;
            end
        else
            begin
                menorfluxo:= fluxo[11];
                menorvalor:=1;
                for r:=2 to vetnumaqest[g] do
                    if menorfluxo > fluxo[r+10] then
                        begin
                            menorfluxo := fluxo[r+10];
                            menorvalor:= r;
                        end;
                    end;
                end;
            if menorvalor = 1 then
                begin
                    m11[km11,1]:= vetorordenado[i,1];
                    m11[km11,2]:= menorfluxo;
                    km11:= km11+1;
                    j:=j+1;
                    guardafluxo:=11;
                    fluxo[12]:= m12[km12-1,2];

```

```

        fluxo[13]:= m13[km13-1,2];
        fluxo[14]:= m14[km14-1,2];
        fluxo[15]:= m15[km15-1,2];
    end
else
if menorvalor = 2 then
begin
    m12[km12,1]:= vetorordenado[i,1];
    m12[km12,2]:= menorfluxo;
    km12:= km12+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=12;
    fluxo[11]:= m11[km11-1,2];
    fluxo[13]:= m13[km13-1,2];
    fluxo[14]:= m14[km14-1,2];
    fluxo[15]:= m15[km15-1,2];
end
else
if menorvalor = 3 then
begin
    m13[km13,1]:= vetorordenado[i,1];
    m13[km13,2]:= menorfluxo;
    km13:= km13+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=13;
    fluxo[11]:= m11[km11-1,2];
    fluxo[12]:= m12[km12-1,2];
    fluxo[14]:= m14[km14-1,2];
    fluxo[15]:= m15[km15-1,2];
end
else
if menorvalor = 4 then
begin
    m14[km14,1]:= vetorordenado[i,1];
    m14[km14,2]:= menorfluxo;
    km14:= km14+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=14;
    fluxo[11]:= m11[km11-1,2];
    fluxo[12]:= m12[km12-1,2];
    fluxo[13]:= m13[km13-1,2];
    fluxo[15]:= m15[km15-1,2];
end
else
if menorvalor = 5 then
begin
    m15[km15,1]:= vetorordenado[i,1];
    m15[km15,2]:= menorfluxo;
    km15:= km15+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=15;
    fluxo[11]:= m11[km11-1,2];
    fluxo[12]:= m12[km12-1,2];
    fluxo[13]:= m13[km13-1,2];
    fluxo[14]:= m14[km14-1,2];

```

```

    end;
    g:= g+1;
    if fluxo[16] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq4[m16[km16-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[16]) then
            fluxo[16]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[16]:= fluxo[16]+ maq4[m16[km16-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[16]:= fluxo[16]+ maq4[m16[km16-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        if fluxo[17] < fluxo[guardafluxo] then
            if maq4[m17[km17-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[17]) then
                fluxo[17]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
            else
                fluxo[17]:= fluxo[17]+ maq4[m17[km17-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]
            else
                fluxo[17]:= fluxo[17]+ maq4[m17[km17-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

        if (km18 = 1) and (vetnumaquest[4] >= 3) then
            fluxo[18]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
        if (km18 > 1) and (vetnumaquest[4] >= 3) then
            begin
                if fluxo[18] < fluxo[guardafluxo] then
                    if maq4[m18[km18-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[18]) then
                        fluxo[18]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                    else
                        fluxo[18]:= fluxo[18]+ maq4[m18[km18-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[18]:= fluxo[18]+ maq4[m18[km18-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
            end;

        if (km19 = 1) and (vetnumaquest[4] >= 4) then
            fluxo[19]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
        if (km19 > 1) and (vetnumaquest[4] >= 4) then
            begin
                if fluxo[19] < fluxo[guardafluxo] then
                    if maq4[m19[km19-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[19]) then
                        fluxo[19]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                    else
                        fluxo[19]:= fluxo[19]+ maq4[m19[km19-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[19]:= fluxo[19]+ maq4[m19[km19-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
            end;

        if (km20 = 1) and (vetnumaquest[4] >= 5) then

```

```

    fluxo[20]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
if (km20 > 1) and (vetnumaquest[4] >= 5) then
begin
    if fluxo[20] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq4[m20[km20-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[20]) then
            fluxo[20]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[20]:= fluxo[20]+ maq4[m20[km20-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

        else
            fluxo[20]:= fluxo[20]+ maq4[m20[km20-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;

if (km18 = 1) and (vetnumaquest[4] = 3) then
begin
    menorfluxo := fluxo[18];
    menorvalor:= 3;
end
else
if (km19 = 1) and (vetnumaquest[4] = 4) then
begin
    menorfluxo := fluxo[19];
    menorvalor:= 4;
end
else
if (km20 = 1) and (vetnumaquest[4] = 5) then
begin
    menorfluxo := fluxo[20];
    menorvalor:= 5;
end
else
begin
    menorfluxo:= fluxo[16];
    menorvalor:=1;
    for r:=2 to vetnumaquest[g] do
        if menorfluxo > fluxo[r+15] then
            begin
                menorfluxo := fluxo[r+15];
                menorvalor:= r;
            end;
        end;
    end;
if menorvalor = 1 then
begin
    m16[km16,1]:= vetorordenado[i,1];
    m16[km16,2]:= menorfluxo;
    km16:= km16+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=16;
    fluxo[17]:= m17[km17-1,2];
    fluxo[18]:= m18[km18-1,2];
    fluxo[19]:= m19[km19-1,2];
    fluxo[20]:= m20[km20-1,2];
end
end

```



```

else
if menorvalor = 2 then
begin
m17[km17,1]:= vetorordenado[i,1];
m17[km17,2]:= menorfluxo;
km17:= km17+1;
j:=j+1;
guardafluxo:=17;
fluxo[16]:= m16[km16-1,2];
fluxo[18]:= m18[km18-1,2];
fluxo[19]:= m19[km19-1,2];
fluxo[20]:= m20[km20-1,2];
end
else
if menorvalor = 3 then
begin
m18[km18,1]:= vetorordenado[i,1];
m18[km18,2]:= menorfluxo;
km18:= km18+1;
j:=j+1;
guardafluxo:=18;
fluxo[16]:= m16[km16-1,2];
fluxo[17]:= m17[km17-1,2];
fluxo[19]:= m19[km19-1,2];
fluxo[20]:= m20[km20-1,2];
end
else
if menorvalor = 4 then
begin
m19[km19,1]:= vetorordenado[i,1];
m19[km19,2]:= menorfluxo;
km19:= km19+1;
j:=j+1;
guardafluxo:=19;
fluxo[16]:= m16[km16-1,2];
fluxo[17]:= m17[km17-1,2];
fluxo[18]:= m18[km18-1,2];
fluxo[20]:= m20[km20-1,2];
end
else
if menorvalor = 5 then
begin
m20[km20,1]:= vetorordenado[i,1];
m20[km20,2]:= menorfluxo;
km20:= km20+1;
j:=j+1;
guardafluxo:=20;
fluxo[16]:= m16[km16-1,2];
fluxo[17]:= m17[km17-1,2];
fluxo[18]:= m18[km18-1,2];
fluxo[19]:= m19[km19-1,2];
end;
g:= g+1;
if fluxo[21] < fluxo[guardafluxo] then
if maq5[m11[km21-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[21]) then

```

```

        fluxo[21]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
    else
        fluxo[21]:= fluxo[21]+ maq5[m21[km21-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

    else
        fluxo[21]:= fluxo[21]+ maq5[m21[km21-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

    if fluxo[22] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq5[m22[km22-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[22]) then
            fluxo[22]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[22]:= fluxo[22]+ maq5[m22[km22-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

    else
        fluxo[22]:= fluxo[22]+ maq5[m22[km22-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

    if (km23 = 1) and (vetnumaquest[5] >= 3) then
        fluxo[23]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km23 > 1) and (vetnumaquest[5] >= 3) then
        begin
            if fluxo[23] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq5[m23[km23-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[23]) then
                    fluxo[23]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[23]:= fluxo[23]+ maq5[m23[km23-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[23]:= fluxo[23]+ maq5[m23[km23-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;

    if (km24 = 1) and (vetnumaquest[5] >= 4) then
        fluxo[24]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km24 > 1) and (vetnumaquest[5] >= 4) then
        begin
            if fluxo[24] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq5[m24[km24-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[24]) then
                    fluxo[24]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[24]:= fluxo[24]+ maq5[m24[km24-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[24]:= fluxo[24]+ maq5[m24[km24-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;

    if (km25 = 1) and (vetnumaquest[5] >= 5) then
        fluxo[25]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km25 > 1) and (vetnumaquest[5] >= 5) then
        begin
            if fluxo[25] < fluxo[guardafluxo] then

```



```

    m22[km22,2]:= menorfluxo;
    km22:= km22+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=22;
    fluxo[21]:= m21[km21-1,2];
    fluxo[23]:= m23[km23-1,2];
    fluxo[24]:= m24[km24-1,2];
    fluxo[25]:= m25[km25-1,2];
end
else
if menorvalor = 3 then
begin
    m23[km23,1]:= vetorordenado[i,1];
    m23[km23,2]:= menorfluxo;
    km23:= km23+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=23;
    fluxo[21]:= m21[km21-1,2];
    fluxo[22]:= m22[km22-1,2];
    fluxo[24]:= m24[km24-1,2];
    fluxo[25]:= m25[km25-1,2];
end
else
if menorvalor = 4 then
begin
    m24[km24,1]:= vetorordenado[i,1];
    m24[km24,2]:= menorfluxo;
    km24:= km24+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=24;
    fluxo[21]:= m21[km21-1,2];
    fluxo[22]:= m22[km22-1,2];
    fluxo[23]:= m23[km23-1,2];
    fluxo[25]:= m25[km25-1,2];
end
else
if menorvalor = 5 then
begin
    m25[km25,1]:= vetorordenado[i,1];
    m25[km25,2]:= menorfluxo;
    km25:= km25+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=25;
    fluxo[21]:= m21[km21-1,2];
    fluxo[22]:= m22[km22-1,2];
    fluxo[23]:= m23[km23-1,2];
    fluxo[24]:= m24[km24-1,2];
end;
g:= g+1;
if fluxo[26] < fluxo[guardafluxo] then
    if maq6[m26[km26-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[26]) then
        fluxo[26]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
    else
        fluxo[26]:= fluxo[26]+ maq6[m26[km26-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

```

```

else
    fluxo[26]:= fluxo[26]+ maq6[m26[km26-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

    if fluxo[27] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq6[m27[km27-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[27]) then
            fluxo[27]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[27]:= fluxo[27]+ maq6[m27[km27-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

    else
        fluxo[27]:= fluxo[27]+ maq6[m27[km27-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

    if (km28 = 1) and (vetnumaquest[6] >= 3) then
        fluxo[28]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km28 > 1) and (vetnumaquest[6] >= 3) then
        begin
            if fluxo[28] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq6[m28[km28-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[28]) then
                    fluxo[28]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[28]:= fluxo[28]+ maq6[m28[km28-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[28]:= fluxo[28]+ maq6[m28[km28-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;

    if (km29 = 1) and (vetnumaquest[6] >= 4) then
        fluxo[29]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km29 > 1) and (vetnumaquest[6] >= 4) then
        begin
            if fluxo[29] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq6[m29[km29-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[29]) then
                    fluxo[29]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[29]:= fluxo[29]+ maq6[m29[km29-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[29]:= fluxo[29]+ maq6[m29[km29-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;

    if (km30 = 1) and (vetnumaquest[6] >= 5) then
        fluxo[30]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km30 > 1) and (vetnumaquest[6] >= 5) then
        begin
            if fluxo[30] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq6[m30[km30-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[30]) then
                    fluxo[30]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]

```

```

        else
            fluxo[30]:= fluxo[30]+ maq6[m30[km30-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

        else
            fluxo[30]:= fluxo[30]+ maq6[m30[km30-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;

if (km28 = 1) and (vetnumaqest[6] = 3) then
begin
    menorfluxo := fluxo[28];
    menorvalor:= 3;
end
else
if (km29 = 1) and (vetnumaqest[6] = 4) then
begin
    menorfluxo := fluxo[29];
    menorvalor:= 4;
end
else
if (km30 = 1) and (vetnumaqest[6] = 5) then
begin
    menorfluxo := fluxo[30];
    menorvalor:= 5;
end
else
begin
    menorfluxo:= fluxo[26];
    menorvalor:=1;
    for r:=2 to vetnumaqest[g] do
        if menorfluxo > fluxo[r+25] then
            begin
                menorfluxo := fluxo[r+25];
                menorvalor:= r;
            end;
        end;
    end;
if menorvalor = 1 then
begin
    m26[km26,1]:= vetorordenado[i,1];
    m26[km26,2]:= menorfluxo;
    km26:= km26+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=26;
    fluxo[27]:= m27[km27-1,2];
    fluxo[28]:= m28[km28-1,2];
    fluxo[29]:= m29[km29-1,2];
    fluxo[30]:= m30[km30-1,2];
end
else
if menorvalor = 2 then
begin
    m27[km27,1]:= vetorordenado[i,1];
    m27[km27,2]:= menorfluxo;

```

```

    km27:= km27+1;
    j:=j+1;
    guardafluxo:=27;
    fluxo[26]:= m26[km26-1,2];
    fluxo[28]:= m28[km28-1,2];
    fluxo[29]:= m29[km29-1,2];
    fluxo[30]:= m30[km30-1,2];
  end
else
  if menorvalor = 3 then
    begin
      m28[km28,1]:= vetorordenado[i,1];
      m28[km28,2]:= menorfluxo;
      km28:= km28+1;
      j:=j+1;
      guardafluxo:=28;
      fluxo[26]:= m26[km26-1,2];
      fluxo[27]:= m27[km27-1,2];
      fluxo[29]:= m29[km29-1,2];
      fluxo[30]:= m30[km30-1,2];
    end
  else
    if menorvalor = 4 then
      begin
        m29[km29,1]:= vetorordenado[i,1];
        m29[km29,2]:= menorfluxo;
        km29:= km29+1;
        j:=j+1;
        guardafluxo:=29;
        fluxo[26]:= m26[km26-1,2];
        fluxo[27]:= m27[km27-1,2];
        fluxo[28]:= m28[km28-1,2];
        fluxo[30]:= m30[km30-1,2];
      end
    else
      if menorvalor = 5 then
        begin
          m30[km30,1]:= vetorordenado[i,1];
          m30[km30,2]:= menorfluxo;
          km30:= km30+1;
          j:=j+1;
          guardafluxo:=30;
          fluxo[26]:= m26[km26-1,2];
          fluxo[27]:= m27[km27-1,2];
          fluxo[28]:= m28[km28-1,2];
          fluxo[29]:= m29[km29-1,2];
        end;
        g:= g+1;
        if fluxo[31] < fluxo[guardafluxo] then
          if maq7[m31[km31-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[31]) then
            fluxo[31]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
          else
            fluxo[31]:= fluxo[31]+ maq7[m31[km31-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

```

```

else
    fluxo[31]:= fluxo[31]+ maq7[m31[km31-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

    if fluxo[32] < fluxo[guardafluxo] then
        if maq7[m32[km32-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[32]) then
            fluxo[32]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
        else
            fluxo[32]:= fluxo[32]+ maq7[m32[km32-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

    else
        fluxo[32]:= fluxo[32]+ maq7[m32[km32-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];

    if (km33 = 1) and (vetnumaquest[7] >= 3) then
        fluxo[33]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km33 > 1) and (vetnumaquest[7] >= 3) then
        begin
            if fluxo[33] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq7[m33[km33-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[33]) then
                    fluxo[33]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[33]:= fluxo[33]+ maq7[m33[km33-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[33]:= fluxo[33]+ maq7[m33[km33-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
            end;

    if (km34 = 1) and (vetnumaquest[7] >= 4) then
        fluxo[34]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km34 > 1) and (vetnumaquest[7] >= 4) then
        begin
            if fluxo[34] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq7[m34[km34-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[34]) then
                    fluxo[34]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else
                    fluxo[34]:= fluxo[34]+ maq7[m34[km34-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

            else
                fluxo[34]:= fluxo[34]+ maq7[m34[km34-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
            end;

    if (km35 = 1) and (vetnumaquest[7] >= 5) then
        fluxo[35]:= tempo[j,vetorordenado[i,1]]+fluxo[guardafluxo];
    if (km35 > 1) and (vetnumaquest[7] >= 5) then
        begin
            if fluxo[35] < fluxo[guardafluxo] then
                if maq7[m35[km35-1,1],vetorordenado[i,1]] <= (fluxo[guardafluxo] - fluxo[35]) then
                    fluxo[35]:= fluxo[guardafluxo]+ tempo[g,vetorordenado[i,1]]
                else

```



```

        fluxo[35]:= fluxo[35]+ maq7[m35[km35-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]]

        else
            fluxo[35]:= fluxo[35]+ maq7[m35[km35-1,1],vetorordenado[i,1]] +
tempo[g,vetorordenado[i,1]];
        end;

    if (km33 = 1) and (vetnumaqest[7] = 3) then
        begin
            menorfluxo := fluxo[33];
            menorvalor:= 3;
        end
    else
        if (km34 = 1) and (vetnumaqest[7] = 4) then
            begin
                menorfluxo := fluxo[34];
                menorvalor:= 4;
            end
        else
            if (km35 = 1) and (vetnumaqest[7] = 5) then
                begin
                    menorfluxo := fluxo[35];
                    menorvalor:= 5;
                end
            else
                begin
                    menorfluxo:= fluxo[31];
                    menorvalor:=1;
                    for r:=2 to vetnumaqest[g] do
                        if menorfluxo > fluxo[r+30] then
                            begin
                                menorfluxo := fluxo[r+30];
                                menorvalor:= r;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            if menorvalor = 1 then
                begin
                    m31[km31,1]:= vetorordenado[i,1];
                    m31[km31,2]:= menorfluxo;
                    km31:= km31+1;
                    j:=j+1;
                    guardafluxo:=31;
                    fluxo[32]:= m32[km32-1,2];
                    fluxo[33]:= m33[km33-1,2];
                    fluxo[34]:= m34[km34-1,2];
                    fluxo[35]:= m35[km35-1,2];
                end
            else
                if menorvalor = 2 then
                    begin
                        m32[km32,1]:= vetorordenado[i,1];
                        m32[km32,2]:= menorfluxo;
                        km32:= km32+1;
                        j:=j+1;

```

```

        guardafluxo:=32;
        fluxo[31]:= m31[km31-1,2];
        fluxo[33]:= m33[km33-1,2];
        fluxo[34]:= m34[km34-1,2];
        fluxo[35]:= m35[km35-1,2];
    end
else
    if menorvalor = 3 then
        begin
            m33[km33,1]:= vetorordenado[i,1];
            m33[km33,2]:= menorfluxo;
            km33:= km33+1;
            j:=j+1;
            guardafluxo:=33;
            fluxo[31]:= m31[km31-1,2];
            fluxo[32]:= m32[km32-1,2];
            fluxo[34]:= m34[km34-1,2];
            fluxo[35]:= m35[km35-1,2];
        end
    else
        if menorvalor = 4 then
            begin
                m34[km34,1]:= vetorordenado[i,1];
                m34[km34,2]:= menorfluxo;
                km34:= km34+1;
                j:=j+1;
                guardafluxo:=34;
                fluxo[31]:= m31[km31-1,2];
                fluxo[32]:= m32[km32-1,2];
                fluxo[33]:= m33[km33-1,2];
                fluxo[35]:= m35[km35-1,2];
            end
        else
            if menorvalor = 5 then
                begin
                    m35[km35,1]:= vetorordenado[i,1];
                    m35[km35,2]:= menorfluxo;
                    km35:= km35+1;
                    j:=j+1;
                    guardafluxo:=35;
                    fluxo[31]:= m31[km31-1,2];
                    fluxo[32]:= m32[km32-1,2];
                    fluxo[33]:= m33[km33-1,2];
                    fluxo[34]:= m34[km34-1,2];
                end;
            end;
            j:=1;
        end;
        aux:=0;
        if quantmaq = 4 then
            begin
                for l:=1 to tamanhomatriz do
                    begin
                        aux:= aux + m16[l,2];
                        aux:= aux + m17[l,2];
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

        aux:= aux + m18[l,2];
        aux:= aux + m19[l,2];
        aux:= aux + m20[l,2];
    end;
    tmf:= aux / tamanhomatriz;
end
else
begin
    for l:=1 to tamanhomatriz do
    begin
        aux:= aux + m31[l,2];
        aux:= aux + m32[l,2];
        aux:= aux + m33[l,2];
        aux:= aux + m34[l,2];
        aux:= aux + m35[l,2];
    end;
    tmf:= aux / tamanhomatriz;
end;

end;

```

Unit2

```

procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
var
    s,i,p: integer;
    tempo_inicial, tempo_final, tempo_total : integer;
    tempo_inicial_100, tempo_final_100, tempo_final_total : integer;
    str: string;
begin
    infinito := 999999;
    arq:="";
    arqtempo:= "";
    if form2.OpenDialog1.Execute then
        arq:= form2.OpenDialog1.FileName;
    if arq <> " then
        begin
            AssignFile(arquivo, arq);
            Reset(arquivo);
            if form2.OpenDialog1.Execute then
                arqtempo:= form2.OpenDialog1.FileName;
            if arqtempo <> " then
                begin
                    AssignFile(arquivotempo, arqtempo);
                    Reset(arquivotempo);
                    Append(arquivotempo);
                    Readln(arquivo, str);
                    quantmaq := strtoint(str);
                    Readln(arquivo, str);
                    tamanhomatriz := strtoint(str);
                    Readln(arquivo, str);
                    quantprob := strtoint(str);
                    Readln(arquivo, str);
                    Readln(arquivo, str);
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

for p:=1 to quantmaq do
  vetnumaqest[p]:= strtoint(str[p]);
Readln(arquivo, str);
Writeln(Arquivotempo,'algoritmo 4');
numestagio:= quantmaq;
tempo_inicial_100:= GetTickCount;
for s:=1 to quantprob do
  begin
    tmf:=0;
    unit1.form1.LerArquivo();
    unit3.Form3.tlpt();
    Unit6.Form6.programacao_tarefa_tarefa();
    Writeln(Arquivotempo,floattostr(tmf));
  end;
tempo_final_100:= GetTickCount;
tempo_final_total:= tempo_final_100 - tempo_inicial_100;
Writeln(Arquivotempo,'Tempo final algoritmo 4 :'+ inttostr(tempo_final_total));
Closefile(arquivo);
Closefile(arquivotempo);
end;
end;
end;

```