

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

AMANDA NAOMI TERAÓ

**COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO
CLÁSSICO E COM RESTRIÇÃO *NO-WAIT* NO AMBIENTE *FLOW SHOP*
PERMUTACIONAL EM UMA FUNÇÃO BI-OBJETIVO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PONTA GROSSA
2017**

AMANDA NAOMI TERAO

**COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO
CLÁSSICO E COM RESTRIÇÃO *NO-WAIT* NO AMBIENTE *FLOW SHOP*
PERMUTACIONAL EM UMA FUNÇÃO BI-OBJETIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fabio José Ceron Branco

PONTA GROSSA

2017



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

Comparativo de desempenho entre os sistemas de produção clássico e com restrição *no-wait* no ambiente *flow shop* permutacional em uma função bi-objetivo

por

Amanda Naomi Terao

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 27 de novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Fabio José Ceron Branco
Prof. Orientador

Prof. Dr. Juan Carlos Claros Garcia
Membro titular

Profa. Dra. Yslene Rocha Kachba
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

RESUMO

TERAO, A. N. **Comparativo de desempenho entre os sistemas de produção clássico e com restrição *no-wait* no ambiente *flow shop* permutacional em uma função bi-objetivo.** 2017. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

Este trabalho é direcionado ao problema de Programação de Operações *Flow Shop* Permutacional. O sequenciamento da produção nas indústrias exige técnicas para resoluções de problemas complexos e muitas vezes possuem restrições. O estudo visa desenvolver avaliações de métodos construtivos com o objetivo de minimizar uma função bi-critério do tempo médio de fluxo (*mean flowtime*) e o tempo total da programação (*makespan*), cuja implicação direta em um sistema produtivo é reduzir o estoque em processamento, aumentar a confiabilidade nos prazos de entrega, racionalizar a utilização da linha, entre outros. Os métodos LPT (*Longest Process Time*), SPT (*Shortest Process Time*), Triangular e Triangular Invertido são comparados entre as suas soluções em um ambiente clássico e com restrição de produção *no-wait*. Os resultados da experimentação computacional mostram o acréscimo porcentual na função objetivo a medida que a complexidade dos problemas aumenta, se comparados os ambientes clássico e *no-wait*. Desse modo, a heurística recomendada por apresentar menos perda na aplicação da restrição foi a triangular, seguida da LPT; e a que apresentou maior perda foi a heurística triangular invertida.

Palavras-chave: *Flow shop* Permutacional. *Makespan*. *Mean Flowtime*. *No-wait*. Programação da Produção.

ABSTRACT

TERAO, A. N. **Comparative performance between classical production systems and no-wait restriction in permutation flow shop environment with bi-objective function.** 2017. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

This paper is directed to the Permutation Flow Shop Scheduling problem. Scheduling program in industries requires techniques for solving complex problems and often imposes constraints. The study aims to develop evaluations for heuristics with the objective of minimizing a bi-criterion function for mean flowtime and makespan, which have direct influence on productive system by reducing stock process, increasing reliability of delivery times, rationalizing the use of production line and, among others. The LPT (Longest Process Time), SPT (Shortest Process Time), Triangular and Inverted Triangular methods are compared among their solutions in a classical environment and in no-wait one. The results of the computational experimentation show the increase in percentage of the objective function as the complexity of the problems increases, when comparing classical environment and no-wait. As a result, the recommended heuristic showing less loss in the application of the non-wait restriction was triangular; and the worst heuristic was inverted triangular.

Keywords: Permutation Flow Shop. Makespan. Mean Flowtime. No-wait. Scheduling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo geral da administração da produção	16
Figura 2– A estrutura do planejamento e controle da produção.....	20
Figura 4 – Exemplo do gráfico de Gantt.....	22
Figura 5 – Relações entre os ambientes de problemas de programação	24
Figura 6 – Ambiente de flow shop em processo produtivo.....	25
Figura 7 – No-wait flow shop com m máquinas e n tarefas.....	26
Figura 8 – Gráfico de Gantt da heurística SPT clássico.....	28
Figura 9 – Gráfico de Gantt da heurística SPT com restrição no-wait.....	28
Figura 10 – Gráfico de Gantt da heurística LPT clássico.	29
Figura 11 – Gráfico de Gantt da heurística LPT com restrição no-wait.	29
Figura 12 – Ilustração da lógica da heurística triangular	30
Figura 13 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular Clássico.	31
Figura 14 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular com restrição no-wait.....	31
Figura 15 – Ilustração da lógica da heurística triangular invertida.....	31
Figura 16 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular Invertida Clássico	32
Figura 17 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular Invertida com restrição no-wait	32
Figura 18 – Ilustração das 10.000 combinações de n tarefas em m máquinas.....	36
Figura 19 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait na heurística SPT para classe (nxm).....	38
Figura 20 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait na heurística LPT para classe (nxm).....	38
Figura 21 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait na heurística triangular para classe n x m	39
Figura 22 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait na heurística triangular invertida para classe n x m.....	39
Figura 23 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait com parâmetro $\alpha= 0$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.	40

Figura 24 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait com parâmetro $\alpha = 0,25$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.	40
Figura 25 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait com parâmetro $\alpha = 0,5$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.	41
Figura 26 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait com parâmetro $\alpha = 0,75$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.	41
Figura 27 – Gráfico de piora da FO com a restrição no-wait com parâmetro $\alpha = 1$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.	42
Figura 28 – Gráficos da média de piora (%) da FO com a restrição no-wait por m máquinas nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida com parâmetro $\alpha = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ e 1.	43
Figura 29 – Gráficos da média de piora (%) da FO com a restrição no-wait por n tarefas nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida com parâmetro $\alpha = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ e 1.	44
Figura 30 – Gráficos da média de piora (%) da FO com a restrição no-wait por m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0; \alpha = 0,25; \alpha = 0,5; \alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.	44
Figura 31 – Gráficos da média de piora da FO com a restrição no-wait por n tarefas nos parâmetros $\alpha = 0; \alpha = 0,25; \alpha = 0,5; \alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.	45
Figura 32 – Gráfico de superfície da média de piora da FO com a restrição no-wait por m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0; \alpha = 0,25; \alpha = 0,5; \alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ na heurística SPT.	46
Figura 33 – Gráfico de superfície da média de piora da FO com a restrição no-wait por m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0; \alpha = 0,25; \alpha = 0,5; \alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ na heurística LPT.	47
Figura 34 – Gráfico de superfície da média de piora da FO com a restrição no-wait por m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0; \alpha = 0,25; \alpha = 0,5; \alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ na heurística triangular.	47
Figura 35 – Gráfico de superfície da média de piora da FO com a restrição no-wait para m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0; \alpha = 0,25; \alpha = 0,5; \alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ na heurística triangular invertida.	48

Figura 36 – Gráfico de Gantt da heurística SPT com restrição no-wait.....	49
Figura 37 – Gráfico de Gantt da heurística LPT com restrição no-wait.....	49
Figura 38 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular com restrição no-wait.....	50
Figura 39 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular Invertida com restrição no-wait	50
Quadro 1 – As quatro fases do sistema de produção na história	17
Quadro 2 – Diferenças entre os sistemas Flow Shop e Job Shop	18
Fluxograma 1 – Procedimentos para aplicação do trabalho	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados exemplo tarefas x máquina	27
Tabela 2 – Unidade de tempo (u.t.) para makespan e mean flowtime para o sistema clássico e no-wait e piora (%) da FO com a restrição no-wait na heurística SPT	28
Tabela 3 – Unidade de tempo (u.t.) para makespan e mean flowtime para o sistema clássico e no-wait e piora (%) da FO com a restrição no-wait na heurística triangular invertida.....	33

LISTA DE SIGLAS

ATO	<i>Assemble-to-order</i>
ETO	<i>Engineer-to-order</i>
FO	<i>Função-Objetivo</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
LPT	<i>Longest Processing Time</i>
MTO	<i>Make-to-order</i>
MTS	<i>Make-to-stock</i>
MRP	<i>Manufacturing Requirement Planning</i>
NWFS	<i>No-wait Flow Shop</i>
PCP	<i>Planejamento e Controle da Produção</i>
PO	<i>Pesquisa Operacional</i>
SPT	<i>Shortest Processing Time</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO	16
2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)	19
2.2.1 Manufacturing Requirement Planning (MRP)	21
2.2.2 Just In Time (JIT)	21
2.2.3 Pesquisa Operacional (Modelagem Matemática)	21
2.3 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	22
2.4 PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES (SCHEDULING)	23
2.4.1 Flow Shop Permutacional	24
2.4.3 Sistema com restrição no-wait flow shop (NWFS)	25
2.5 HEURÍSTICAS	27
2.5.1 Shortest Processing Time – SPT	27
2.5.2 Longest Processing Time – LPT	29
2.5.3 Heurística Triangular	29
2.5.4 Heurística Triangular Invertida	31
3 METODOLOGIA	34
3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
4 DESENVOLVIMENTO	36
4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A – Tabela de dados da porcentagem de piora da FO para as heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular invertida variando o parâmetro ao aplicar a restrição no-wait	56

APÊNDICE B – Tabela de dados da porcentagem de piora da FO para os parâmetros 0, 0.25, 0.5, 0.75 e 1 nas heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular invertida ao aplicar a restrição no-wait	62
APÊNDICE C – Tabela de dados da porcentagem da média de piora da FO ao aplicar a restrição no-wait para n tarefas e m máquinas	68

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, as empresas globais sentem a necessidade de obter vantagem competitiva no setor em que atuam, pois, o mercado consumidor exige cada vez mais produtos de qualidade e com agilidade em seu processo. É imprescindível estar preparado para as mudanças que o cenário tem oferecido, e com a tecnologia, elas ocorrem com frequência. Obter flexibilidade nos processos requer um adequado planejamento controle da produção para a empresa, assim como um sistema de produção que permite à indústria assegurar seu lugar no mercado. Para tanto, é preciso pensar de forma hábil e coerente os recursos de produção (FUCHIGAMI, 2010). Desse modo, as empresas se adequam ou se preparam para eventuais mudanças que possam se deparar.

A partir desse conceito, surgiu o interesse de simular diferentes métodos de processos produtivos e comparar o desempenho dois modelos: um sem restrições (Clássico) e outro com restrição (*no-wait*), sendo que a partir do momento que uma tarefa é iniciada, não poderá ser pausada até seu término.

Neste trabalho deseja-se avaliar os dois modelos citados anteriormente, por quatro heurísticas distintas, variando-se o parâmetro α na função-objetivo (FO) com a finalidade de se obter, através dos resultados dos dois sistemas, um comparativo entre os desempenhos e analisar a porcentagem de perda da FO ao se aplicar a restrição *no-wait*, característica frequentemente vista no processamento de tarefas nas indústrias.

1.1 OBJETIVOS

Este item apresenta os objetivos que esta proposta busca alcançar, sendo subdividido em duas partes: objetivo geral e específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo central comparar o desempenho entre os sistemas Clássico e *no-wait* na função-objetivo bi-critério entre *Makespan* e *Mean Flowtime*.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, determinam-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudar a definição dos conceitos de cada método a ser comparado;
- Simular, por meio de programação computacional, resultados de instâncias para quatro heurísticas distintas: SPT (*Shortest Process Time*), LPT (*Longest Process Time*), Triangular e Triangular Invertida, com a variação de ponderação para as funções-objetivos destacadas nos sistemas clássico e *no-wait*;
- Coletar os resultados de cada sistema para cada heurística e construir gráficos de perda de desempenho após aplicar a restrição *no-wait*;
- Apresentar e discutir os dados obtidos por meio da realização da simulação.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o desenvolvimento contínuo e rápido do mundo, as indústrias necessitam estar aptas a acompanhar esse crescimento no processo de produção, uma vez que se ter a vantagem competitiva é essencial para a empresa. Ter conhecimento dos métodos e saber qual é o mais adequado para o setor em que atua é, para o planejamento da produção, uma forma de se ter diferencial competitivo a fim de maximizar a produção e minimizar os custos de acordo com o setor que atua.

Com a tecnologia, as atribuições dadas para (n) tarefas em (m) máquinas aumentam a complexidade para a melhor solução, o que torna o estudo de programação de tarefas em máquinas um caminho para se obter vantagem competitiva. A simulação computacional traz soluções otimizadas com baixo custo para problemas de alta complexidade com a ajuda das heurísticas que proporcionam o desenvolvimento do problema.

Assim, a presente análise visa melhor entender o desempenho do sistema clássico e com restrição *no-wait* através das heurísticas em uma simulação computacional.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O capítulo 1 é apresentado a introdução do tema desenvolvido no trabalho, seguido do objetivo geral, objetivos específicos e a justificativa do tema proposto.

O capítulo 2 apresenta os conceitos de sistema de produção, planejamento e controle da produção (PCP), programação da produção, problemas de programação de operações (*scheduling*) e heurísticas.

O capítulo 3 explica a metodologia utilizada para a realização do trabalho proposto, como a descrição do objeto de estudo, e as etapas de implementação.

O capítulo 4 explana o desenvolvimento do trabalho e descreve as análises dos resultados obtidos.

O capítulo 5 finaliza o presente trabalho com as considerações finais.

Na sequência, é apresentado o capítulo 2, com o referencial teórico em que se baseou o presente trabalho.

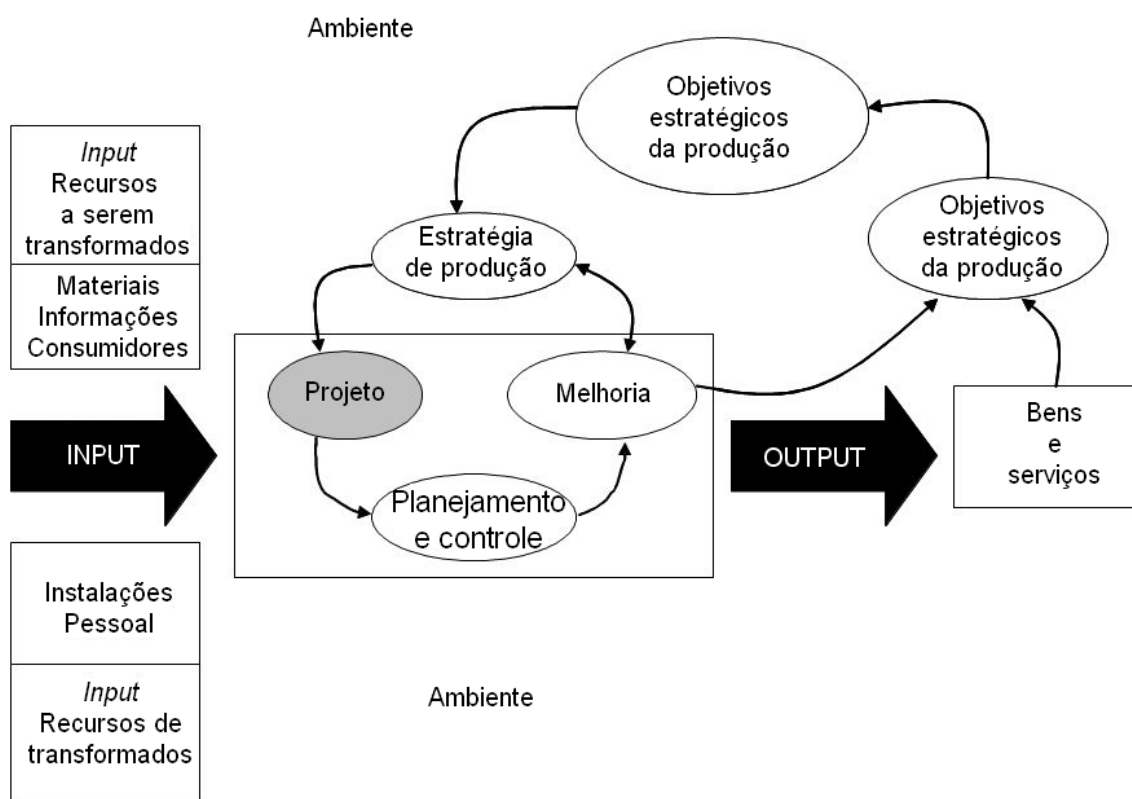
2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados conceitos e definições sobre assuntos relacionados ao tema do trabalho, divididos em 5 subitens: sistema de produção; planejamento e controle da produção (PCP); programação da produção; problemas de programação de operações (*scheduling*) e heurísticas.

2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO

Lutosa *et al.* (2008) afirmam que sistemas de produção transformam recursos de entradas (*input*) em saídas (*output*) sob a forma de bens ou serviços, representados na Figura 1. Já Fernandes e Godinho Filho (2010) definem o sistema de produção como conjunto de elementos que se relacionam na finalidade de fabricar produtos finais, e geram lucro com ela.

Figura 1 – Modelo geral da administração da produção



Fonte: Slack (2006)

Para chegar ao sistema de produção dos anos atuais, chamado sistemas de produção orientado ao mercado, Sipper e Buffin (1997) afirmam que o mesmo

passou por quatro fases na história (antigo, feudal, europeu e o americano) descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – As quatro fases do sistema de produção na história

Sistema	Características
Antigo	Registros de estoques, construção pirâmides.
Feudal	Produção doméstica.
Europeu	Revolução Industrial, corrida pela divisão e especialização do trabalho
Americano	Indústrias de máquinas e ferramentas, linha de montagem Ford, gestão científica Taylor.

Fonte: Adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010, p.1)

Existem atualmente desafios que precisam ser enfrentados no sistema de produção, que estão situados em diversas regiões do mundo, relacionados às questões econômicas, sociais, culturas e políticas. Há também o desafio de administrar as distintas formas que existem de operações na fabricação.

Na classificação de sistemas de produção, existem várias formas de serem consideradas, sendo as mais conhecidas pelo grau de padronização dos produtos, pelo ambiente de produção e pela natureza do produto (LUTOSA *et al.*, 2008) que serão citadas as características de cada uma a seguir:

- **Grau de padronização dos produtos:** produtos padrão e produtos sob medida;
- **Tipo de operação:** processos ininterruptos (larga escala), processos discretos, repetitivos em massa (larga escala), repetitivos em lote (*flow shop*, linha de produção); por encomenda (*job shop*, *layout* funcional), por projeto (unitária, *layout* posicional fixo);

- **Ambiente de produção:** *Make-to-stock* (MTS), *Assemble-to-order* (ATO), *make-to-order* (MTO), *engineer-to-order* (ETO);
- **Fluxo de processos:** processos em linha, processos em lote, processos por projetos;
- **Natureza dos produtos:** bens e serviços.

Outro conhecido meio de classificar o sistema de produção é no tipo de produto e no tipo de processo (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2008):

- **Sistema contínuo:** grande número de produção de produtos similares;
- **Sistema grande projeto:** produção com restrições específicas do produto a ser fabricado;
- **Sistema intermitente:** fabricação de produtos variados, ou seja, sistema flexível. Diferem-se em duas categorias:
 - **Job Shop:** os produtos produzidos não passam toda pela mesma sequência de máquinas.
 - **Flow Shop:** os itens passam obrigatoriamente pela mesma sequência operacional.

Ainda no sistema intermitente, Fernandes e Godinho Filho (2008) resumem diferenças básicas entre o *Job Shop* e o *Flow Shop*, como pode ser observado na Quadro 2.

Quadro 2 – Diferenças entre os sistemas Flow Shop e Job Shop

(continua)

<i>Flow Shop</i>	<i>Job Shop</i>
Opera em um fluxo de materiais e peças.	Opera em lotes.
Varia a produção alterando a taxa de produção.	Varia a produção variando o tamanho dos lotes ou a frequência deles.

Quadro 2 – Diferenças entre os sistemas Flow Shop e Job Shop

(conclusão)

<i>Flow Shop</i>	<i>Job Shop</i>
Tende a ter custos menores de <i>setup</i> .	Tende a ter custos maiores de <i>setup</i> .
As operações de tipos diferentes são sequenciadas de modo que o fluxo seja mantido. Filas são pequenas e variações tem que ser acompanhadas.	Materiais são trazidos para os departamentos ou centros de trabalho onde cada operação é realizada. Filas nos centros de trabalho são maiores.
Utilização de equipamentos de uso especializado (dedicado).	Utilização de equipamentos de uso geral.

Fonte: Adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010, p.3).

Visto que os sistemas de produção são classificados de inúmeras maneiras, é necessário que a empresa possua um método de análise, ou seja, um planejamento para identificar as prioridades afim de que seja melhor controlado seu processo produtivo. O tópico a seguir traz então, a definição do planejamento e controle da produção.

2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

Tubino (1997) define o PCP como sendo um auxílio através de informações para o processo produtivo com intuito de definir o alinhamento entre fornecedor e demanda, bem como os recursos de produção. É considerado um sistema de PCP de qualidade aquele que traz a melhor solução para usar os recursos na produção, mantendo a alta eficiência produtiva. Os principais objetivos do PCP são listados a seguir:

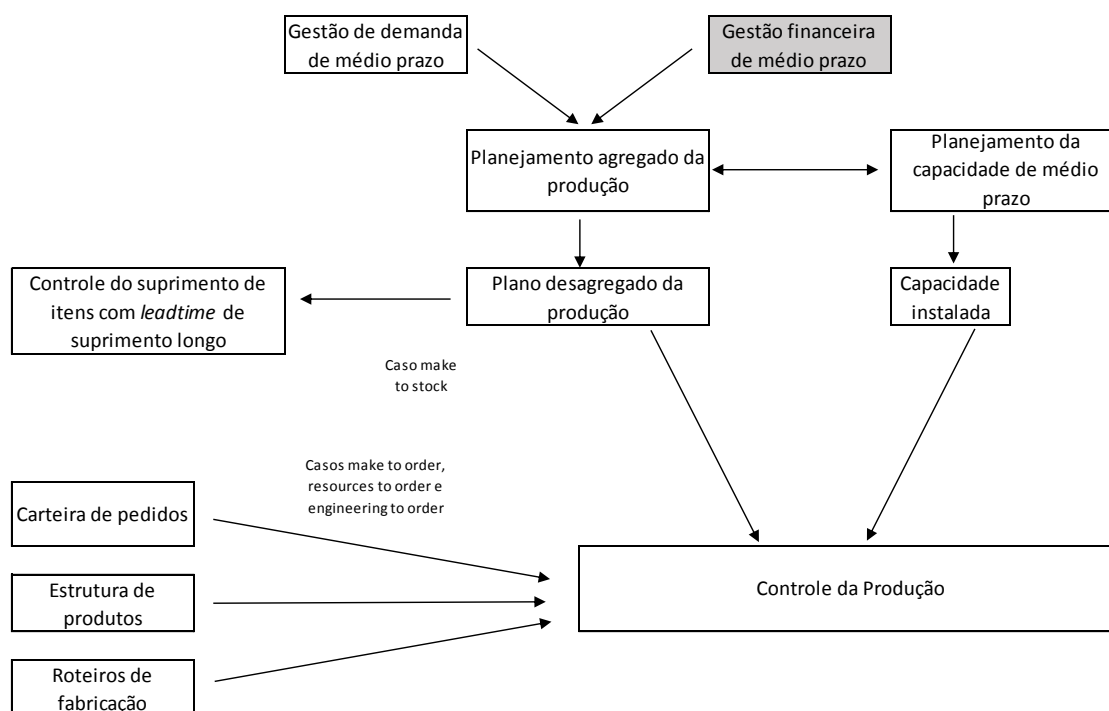
- Reduzir estoque;
- Minimizar atrasos e não atendimento de ordens de fabricação;
- Minimizar ociosidade de recursos produtivos;

- Minimizar *lead-time* do processo.

No complemento, Fernandes e Godinho Filho (2008) conceituam que as atividades que definem o PCP possuem como objetivo determinar o que irá produzir, comprar e entregar, bem como o tempo e a quantidade da mesma, e incluem também a solução de pessoas e locais da produção. A estrutura do planejamento e controle da produção segundo os autores, pode ser observada na Figura 2.

Na mesma série de definição, Slack *et al.* (2010) apontam que o planejamento e controle precisa de um alinhamento entre fornecedor e demanda em três quesitos: qualidade, volume e tempo. Para as duas últimas, os autores citam importantes atividades para conciliá-las no PCP, são elas o carregamento, que define o quanto uma operação pode produzir; sequência, que determina a relevância das atividades que serão feitas e programação, em que cabe a decisão do tempo de início e término das atividades.

Figura 2– A estrutura do planejamento e controle da produção



Fonte: Adaptado de Fernandes e Godinho Filho (2010, p. 9).

Corrêa, Giansesi e Caon (2012) definem os sistemas de administração da produção como forma de informação nas perguntas sobre produzir versus comprar: o que, quanto, quando e com quais meios. Essas perguntas têm como finalidade

auxiliar a tomada de decisões tanto estratégicas como as operacionais. Para isso, os autores afirmam que há várias opções de técnicas para esse fim, e as três mais utilizadas nos últimos 15 anos são: sistema *manufacturing requirement planning* (MRP), *sistema just in time* e o sistema da pesquisa operacional definidos em cada subitem a seguir.

2.2.1 *Manufacturing Requirement Planning* (MRP)

O MRP, que mais tarde veio o sucessor planejamento dos recursos de manufatura (MRP II) juntamente com o ERP, são melhorias dos modelos computacionais e dos sistemas dos processos de manufatura.

2.2.2 *Just In Time* (JIT)

Surgido no Japão na década de 70, o sistema *just in time* foi desenvolvido pela empresa de automóveis Toyota, que objetivava a produção com demanda precisa de seus veículos, ao minimizar o seu atraso. O objetivo desse sistema é obter a melhoria contínua por meio de diminuição nos estoques. De acordo com Côrrea e Gianesi (2011), a redução dos estoques faz com que os problemas fiquem mais fáceis de serem vistos e então solucionados.

2.2.3 Pesquisa Operacional (Modelagem Matemática)

A pesquisa operacional, conhecida pela utilização da modelagem matemática, é a técnica que estuda as teorias de *scheduling* (programação de operações), presente no trabalho proposto, bem como a teoria clássica de estoques e planejamento agregado (programação linear).

Tendo em vista o objetivo principal do planejamento e controle da produção sendo uma responsabilidade que envolve planejamento, implementação e controles dos processos de produção, o tópico a seguir define a programação da produção, dentre as diversas funções feitas pelo PCP por abranger o tema proposto do presente trabalho.

2.3 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Fuchigami (2005) define a programação da produção sendo a ordenação de recursos para o processo das tarefas em determinado tempo e este possui dois diferentes meios:

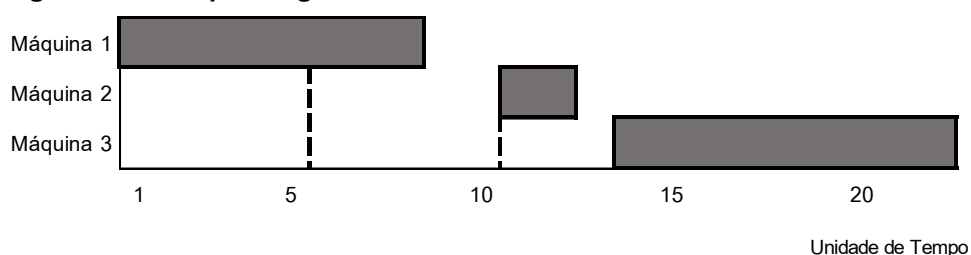
1. Determinação do tempo e lugar cada tarefa para o processo produtivo deve ser feita;
2. Determinação de datas de início e término para completar cada tarefa que há no processo.

A programação da produção está dentro das funções que o PCP possui e sua característica é lidar com tipos diferentes de recursos e tarefas ao mesmo tempo para poder trazer uma solução ótima. (MORAIS, 2008). A tarefa de programação é considerada uma das mais difíceis atividades na administração da produção, pois ela é referida por ordenar as n tarefas em m máquinas, ou seja, basicamente ela define quais ordens devem ser operacionalizadas, em qual momento e prioridade, com quais recursos e com a finalidade de atender o objetivo requisitado, tudo ao mesmo tempo (SLACK *et al.*, 1999).

O gráfico de Gantt é uma ferramenta de métodos de programação inventada em 1917 por H. L. Gantt muito utilizada até os dias atuais por apresentar uma visualização clara e simples do que ocorre no processo. No gráfico, de acordo com Slack (1999), o tempo é representado em forma de barra, e indica os momentos de início e término das atividades.

A Figura 4 ilustra um exemplo de como o gráfico de Gantt é desenvolvido para uma tarefa e três máquinas.

Figura 3 – Exemplo do gráfico de Gantt



Fonte: Autoria Própria (2017)

De acordo com Pinedo (2012), os problemas de programação de operações contêm a ordenação de recursos limitados para processar as tarefas, com intuito de alcançar os objetivos. O mesmo será utilizado para o trabalho e abordado no item 2.4.

2.4 PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES (*SCHEDULING*)

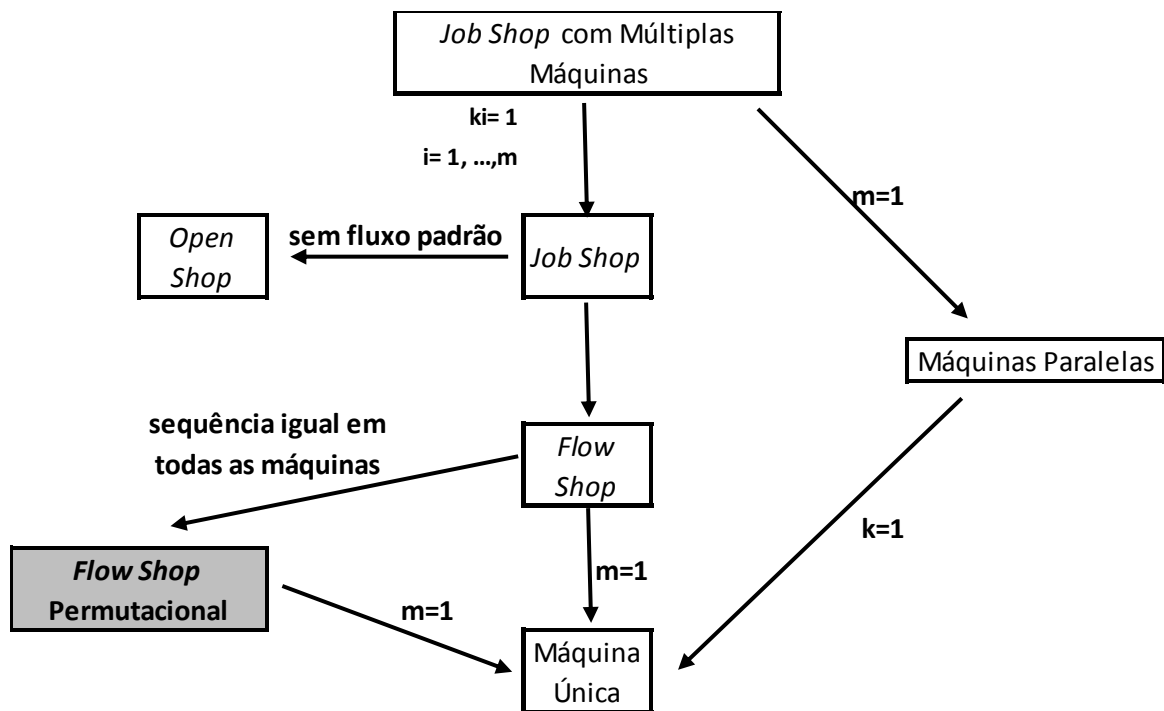
Fernandes e Godinho Filho (2008) definem como *scheduling* procedimentos de tomada de decisão das atividades com os meios que as executam a fim de obter os resultados esperados: alta produtividade, com minimização de custos. Outra definição que os autores citam é sobre o *scheduling*; este possibilita o preparo, a escolha e uso do tempo dos recursos a fim de concluir os processos imprescindíveis na produção com o tempo estipulado.

MacCarthy e Liu (1993) classificam os problemas de *scheduling* abaixo, e segundo eles, as restrições tecnológicas são determinadas principalmente pela padronização do fluxo das tarefas nas máquinas.

- **Job Shop:** cada tarefa tem sua própria rota nas máquinas;
- **Flow Shop:** todas as tarefas possuem o mesmo fluxo de processamento nas máquinas;
- **Open Shop:** não existe fluxo padronizado no processamento das tarefas;
- **Flow Shop Permutacional:** ambiente *flow shop* com a ordem de processamento das tarefas idêntica em cada máquina;
- **Máquina Única:** apresenta apenas uma máquina disponível no processamento das tarefas;
- **Máquinas Paralelas:** existe mais de uma máquina disponível no processo de produção em um mesmo estágio de tarefa;
- **Job Shop com múltiplas máquinas:** ambiente *job shop* que se encontra máquinas paralelas em cada estágio de processo produtivo.

A Figura 5 representa as relações dos diferentes ambientes de problemas da programação citados anteriormente:

Figura 4 – Relações entre os ambientes de problemas de programação



Fonte: Adaptado de MacCarthy e Liu (1993)

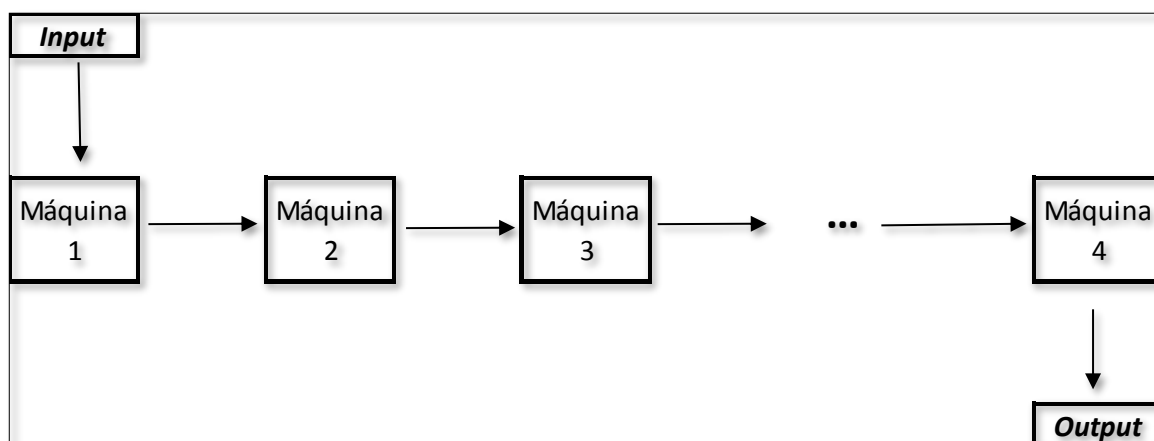
Tendo esse conhecimento, no trabalho proposto foi escolhido utilizar o ambiente de produção *flow shop* permutacional, que será mais detalhado no próximo subitem.

2.4.1 *Flow Shop* Permutacional

Moccellin e Nagano (2007) denominam o problema de programação de *flow shop* como sendo um processamento de n tarefas em uma mesma seqüência em conjunto de m máquinas. Na mesma linha de pensamento, Araújo (2014) afirma que o problema de *flow shop* clássico é feito de um conjunto de n tarefas (J_1, J_2, \dots, J_n) que precisam ser processadas em m máquinas (M_1, M_2, \dots, M_m), sendo que as máquinas que se encontram em série.

No sistema *flow shop* permutacional é um caso específico, em que cada máquina necessariamente precisa ter a mesma ordenação de processamento das tarefas (MOCELLIN; NAGANO, 2007). Em outras palavras, todas as tarefas n são obrigadas a passar em todas as máquinas m em mesma seqüência. A Figura 6 mostra o ambiente de *flow shop* em uma produção.

Figura 5 – Ambiente de *flow shop* em processo produtivo



Fonte: Adaptado de Araújo (2014 p. 2).

A Figura 6 demonstra que todos os recursos que entram no processo produtivo (*input*), passaram por todas as máquinas no fluxo pare então, sair como produto final (*output*). O item a seguir irá abordar o processo produtivo com a restrição *no-wait* aplicada.

2.4.3 Sistema com restrição *no-wait flow shop* (NWFS)

A restrição *no-wait* é uma particularidade vista com frequência na prática, um exemplo para ambientes com a restrição em questão é em processamentos que podem afetar a qualidade do produto, caso haja espera na atividade, como nas indústrias de plásticos, louças, farmacêuticas e de alimentos (HALL; SRIKANDRAJAH, 1996).

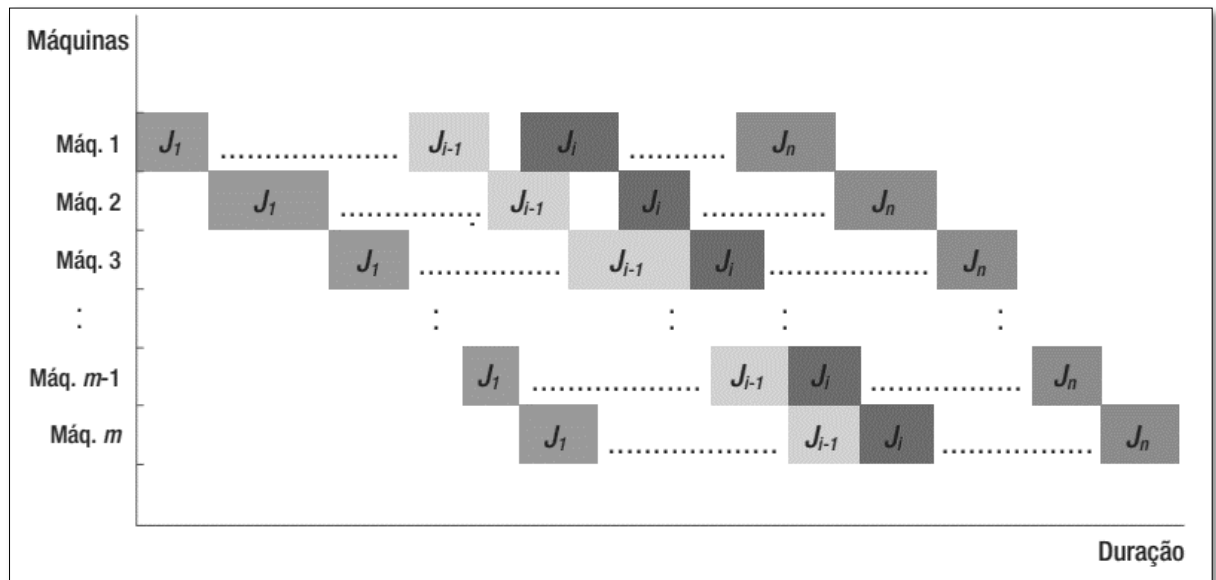
Branco (2006) define como o problema de *no-wait flow shop* um conjunto de m máquinas e n tarefas, para qual cada tarefa seja operacionalizada em todas as máquinas sendo que esta só possa processar uma tarefa por vez. E a tarefa só pode ser processada em uma máquina.

O que denomina a restrição *no-wait* é a não permissão de tempo de espera no processo da tarefa, ou seja, uma vez começada a tarefa na primeira máquina, ela só irá parar quando seu processamento acabar na última máquina. O tempo de espera que pode existir será na primeira máquina, em que a tarefa n esperará a tarefa $n-1$ terminar, para então se iniciar (BRANCO, 2006).

Scardoelli, Nagano e Moccellin (2008) determinam o *flow shop* como um problema de produção com n tarefas que são processadas em mesma sequência em m máquinas e, a partir do momento em que as ordens dos processos nas máquinas forem iguais, torna-se o *flow shop* permutacional. A Figura 7 apresenta o sistema NWFS no gráfico de Gantt, em que J_i tarefas ($i= 1, 2, \dots, n$) são processadas em m máquinas.

Silva (2012) determina NWFS pelo fato das tarefas precisarem ser realizadas sem pausa desde a primeira máquina até a última e para isso ocorrer, é necessário o atraso das tarefas na primeira máquina com a finalidade de que o tempo final dessa tarefa aconteça com o início da tarefa seguinte. Na prática, o sistema NWFS funciona na produção de metas fundidos, na qual a temperatura do material influencia na fabricação do produto, não permitindo a espera para dar continuidade no processo.

Figura 6 – No-wait flow shop com m máquinas e n tarefas.



Fonte: Scardoelli, Nagano e Moccellin. (2008).

Zhao (2018) sobre o sistema NWFS, cita especificações que podem ser notadas nesse tipo de sistema como: uma tarefa só pode ser processada em uma única máquina em determinado tempo, além disso, uma máquina somente pode processar uma tarefa por vez e por fim, cada tarefa não pode ter espera depois que a mesma se inicia.

Visto as definições, é notado que o ambiente NWFS aparece com frequência em diversas áreas de processo e as indústrias buscam as melhores soluções de desempenho de suas produções. Através de métodos heurísticos é possível achar de forma eficiente, uma solução viável para problemas complexos. O subtópico 2.5 define as heurísticas utilizadas no desenvolvimento do presente trabalho.

2.5 HEURÍSTICAS

O uso da heurística é comumente empregado quando o problema da produção possui alta complexidade e a solução ótima é de difícil obtenção. Ainda, é utilizada para problemas que possuem soluções que não são viáveis computacionalmente, e assim uma boa solução pode ser encontrada. Fuchigami (2010) afirma que as heurísticas são métodos que propõe a tomada de decisão para um específico objetivo e que as mesmas são caracterizadas por serem simples e apontar saídas para atingir adequadas soluções.

Os subitens a seguir descrevem as heurísticas utilizadas para a obtenção das análises contidas neste trabalho.

2.5.1 *Shortest Processing Time* – SPT

Uma das heurísticas mais estudadas é a SPT, isso se deve por possuir um conceito de fácil entendimento. A heurística em si consiste em selecionar a tarefa que possui o menor tempo primeiro até o maior (GIROTTI; NISHIMURA; MESQUITA, 2011). Comumente apresenta adequadas soluções para minimizar o *flowtime*.

A Tabela 1 mostra um exemplo de um problema de *flow shop* com 5 tarefas em 3 máquinas.

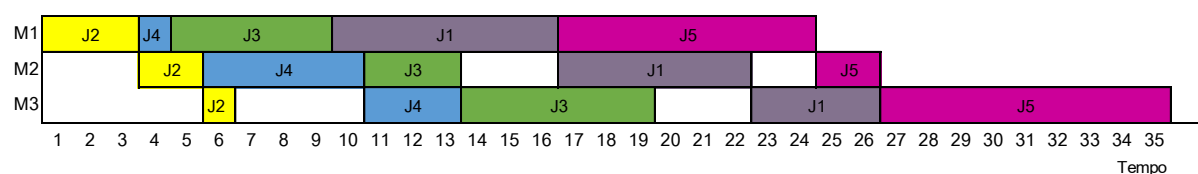
Tabela 1 - Dados exemplo tarefas x máquina

	J1	J2	J3	J4	J5
M1	7	3	5	1	8
M2	6	2	3	5	2
M3	4	1	6	3	9

Fonte: Autoria Própria (2017)

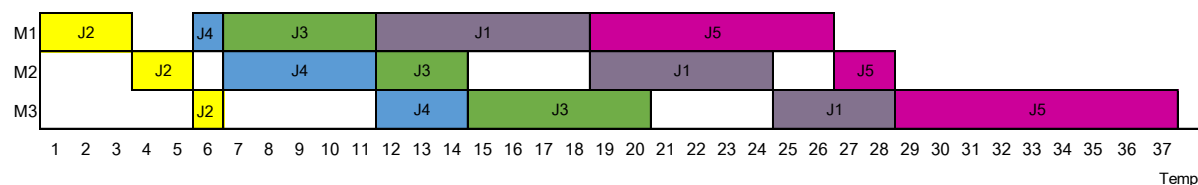
Aplicando a heurística SPT, a sequência do menor tempo de tarefa a maior fica: J2, J4, J3, J1 e J5, sendo os somatórios em unidade de tempo, respectivamente, 6, 9, 14, 17 e 19. Desta forma, a Figura 8 representa o sequenciamento com a heurística SPT e a Figura 9 com a restrição *no-wait*.

Figura 7 – Gráfico de Gantt da heurística SPT clássica



Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 8 – Gráfico de Gantt da heurística SPT com restrição *no-wait*.



Fonte: Autoria Própria (2017)

No cálculo dos valores para *makespan* e *mean flowtime*, observa-se valores diferentes, mostrado na Tabela 2, como também a porcentagem de perda ao aplicar a restrição *no-wait*.

Tabela 2 – Unidade de tempo (u.t.) para *makespan* e *mean flowtime* para o sistema clássico e *no-wait* e piora (%) da FO com a restrição *no-wait* na heurística SPT

	Clássico (u.t.)	No-wait (u.t.)	Piora (%)
Makespan	35	37	5,71
Mean Flowtime	19,8	20,6	4,04

Fonte: Autoria Própria (2017).

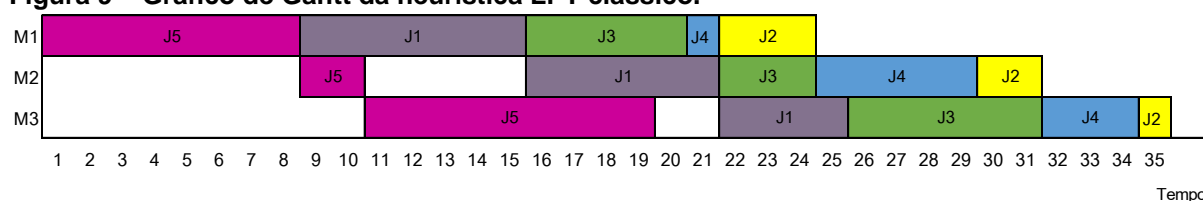
Comparados os gráficos de Gantt das Figuras 8 e 9, percebe-se que o processamento da heurística SPT com restrição *no-wait* atrasou o início da tarefa J4 na primeira máquina, para que ela não tenha pausa durante seu processo. O mesmo ocorre para a tarefa J1. Com isso, através da Tabela 2, pode-se notar o aumento no tempo do *makespan* e do *mean flowtime* comparado ao sistema clássico.

2.5.2 Longest Processing Time – LPT

A heurística LPT é o oposto da anterior SPT, nela é selecionada primeiro a operação de maior tempo de processo (LAWRENCE; SEWELL, 1997). Utilizada comumente na minimização do *makespan* do processo.

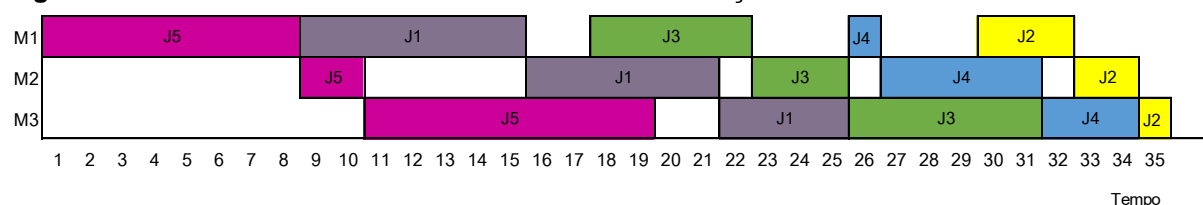
Com a aplicação da heurística LPT para os dados da Tabela 1, define-se a sequência de tarefas em J5, J1, J3, J4 e J2. As Figuras 10 e 11 apresentam, no gráfico de Gantt, a heurística LPT no sistema clássico e com a restrição *no-wait*, respectivamente.

Figura 9 – Gráfico de Gantt da heurística LPT clássico.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 10 – Gráfico de Gantt da heurística LPT com restrição *no-wait*.



Fonte: Autoria Própria (2017).

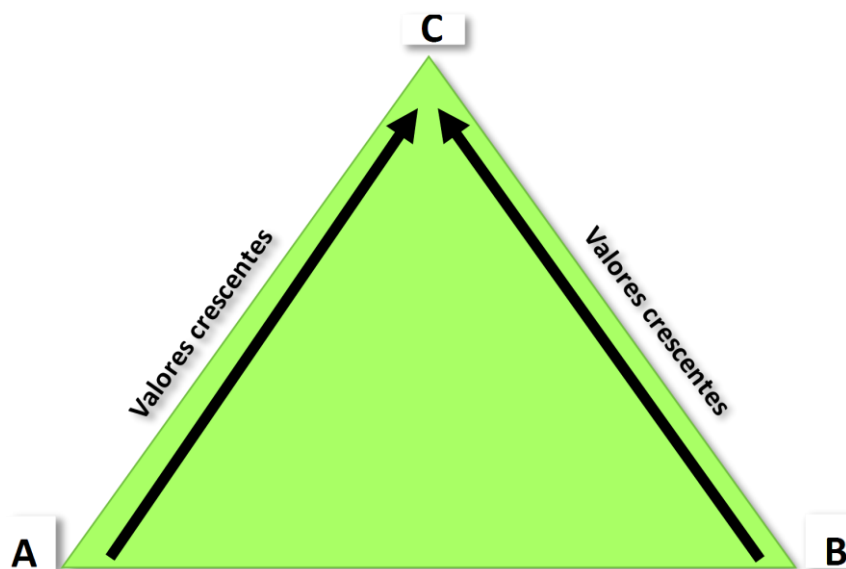
Os valores de *makespan* e *flowtime* no caso da heurística LPT continuam os mesmos após a implementação da restrição *no-wait*. A alteração que se pode observar nas Figuras 10 e 11 são a espera da tarefa J3, J4 e J2 para se iniciar na máquina 1.

2.5.3 Heurística Triangular

A heurística triangular é uma proposta com base em uma forma triangular, seu princípio consta que as menores somas de tempo de processamento se

encontrem nas extremidades e de acordo com o aumento, direcione para o centro. A Figura 11 ilustra a lógica da heurística triangular.

Figura 11 – Ilustração da lógica da heurística triangular

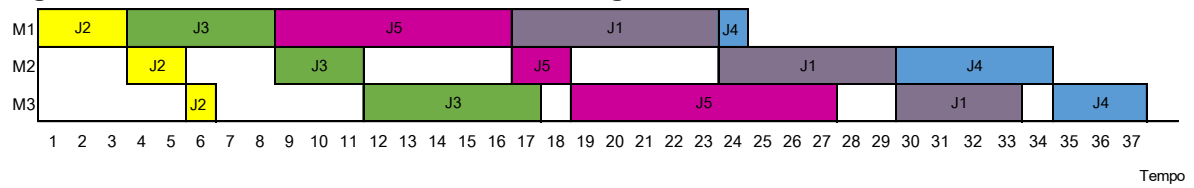


Fonte: Adaptado de Santos (2016).

Para o processo da heurística, verifica-se a soma dos tempos de processamentos das tarefas. Inicialmente, na extremidade A da Figura 12 é colocada a tarefa com o menor valor de tempo total no processamento, o segundo menor valor de tempo total de processamento é direcionado para a extremidade B, retorna-se para a extremidade A disponível a terceira tarefa de menor valor de tempo total do processamento, e repete-se esses passos até que a última tarefa, de modo que o maior valor de tempo total do processamento se posicione no vértice C. (SANTOS, 2016).

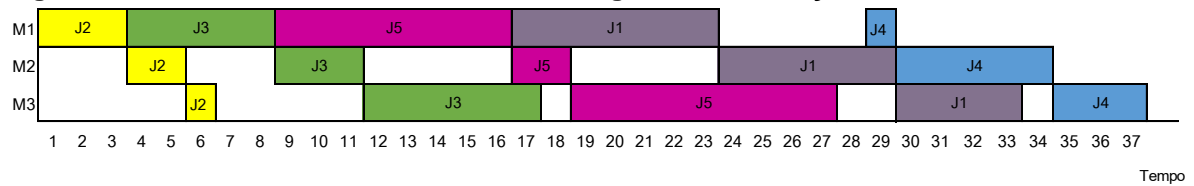
Ainda pelos dados da Tabela 1, as Figuras 13 e 14 apresentam, respectivamente, a heurística triangular aplicada para o sistema clássico e para o sistema com restrição *no-wait*.

Figura 12 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular Clássico.



Autor: Aatoria Própria (2017).

Figura 13 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular com restrição *no-wait*.

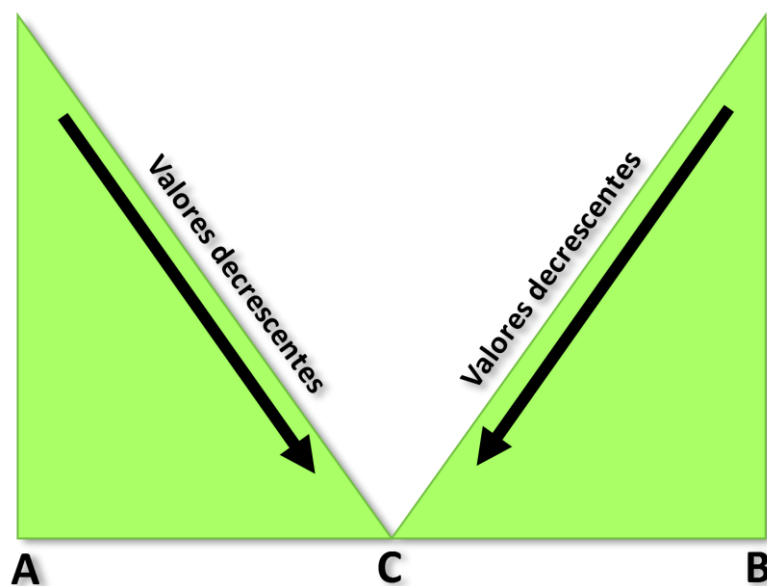


Autor: Aatoria Própria (2017).

2.5.4 Heurística Triangular Invertida

A construção da heurística triangular invertida contém a mesma lógica que a triangular, porém agora as tarefas que possuem maior valor de tempo de processamento total irão para as extremidades do triângulo. Com isso, forma-se o triângulo invertido, observado na Figura 15.

Figura 14 – Ilustração da lógica da heurística triangular invertida

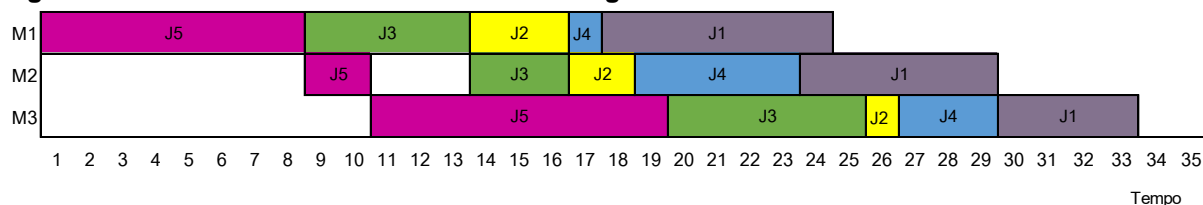


Fonte: Adaptado de Santos (2016)

A ordenação para tal heurística começa desta forma com o maior valor de tempo de processamento total indo para a extremidade A, conforme Figura 15, o segundo maior valor de tempo de processamento total alocado para a extremidade B, e retorna para a extremidade A terceira tarefa com maior valor de tempo. Para finalizar a programação com a tarefa com menor tempo total de processamento na posição central indicada pela letra C (SANTOS, 2016).

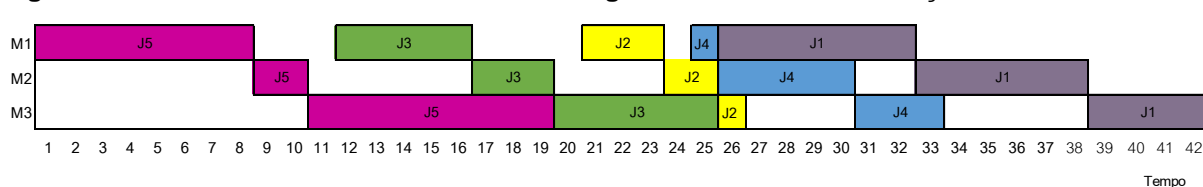
De modo a exemplificar a aplicação da heurística triangular invertida, utiliza-se os dados da Tabela 1, para as Figuras 16 e 17, respectivamente, que apresentam as ordenações por meio do gráfico de Gantt no sistema clássico e no sistema com restrição *no-wait*.

Figura 15 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular Invertida Clássico



Autor: Aatoria Própria (2017)

Figura 16 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular Invertida com restrição *no-wait*



Autor: Aatoria Própria (2017)

Para os gráficos de Gantt da heurística triangular invertida os valores para *makespan* e *flowtime* foram aumentados, nesse caso todas as tarefas após a primeira tiveram seu início postergado por causa da restrição imposta. Os valores do *makespan* e *flowtime* para cada sistema e a porcentagem de perda com o *no-wait* encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Unidade de tempo (u.t.) para makespan e mean flowtime para o sistema clássico e no-wait e piora (%) da FO com a restrição no-wait na heurística triangular invertida

	Clássico (u.t)	No-wait (u.t.)	Piora (%)
<i>Makespan</i>	33	42	27,27
<i>Mean Flowtime</i>	26,4	29	9,85

Fonte: Autoria Própria (2017).

Após os itens abordados no referencial teórico pode-se ampliar o conhecimento para o tema proposto. Definidas as principais áreas, abordagens de sistemas produtivos e da restrição que será aplicada juntamente com os conceitos das heurísticas que irão ser aplicadas na simulação computacional do trabalho, o item a seguir abordará o presente trabalho na parte metodológica.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é classificada da seguinte maneira:

I. Do ponto de vista da sua natureza:

O presente estudo é classificado como pesquisa aplicada, uma vez que o objetivo gerará resultados de aplicações de problemas reais.

II. Do ponto de vista de abordagem:

Esta pesquisa é classificada como qualiquantitativa. A pesquisa é considerada de abordagem quantitativa por se tratar de dados obtidos por meio de simulação computacional. Além disso, ela vale como qualitativa devido ao fato de se estudar e fazer interpretações comparativas dos dados coletados dos sistemas de programação da produção diferentes.

III. Do ponto de vista de seu objetivo:

O presente trabalho tem como classificação ser exploratória, pois será realizado através de análises comportamentais de heurísticas em ambientes diferentes através da função-objetivo bi-critério com alteração do valor do parâmetro alfa.

IV. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos:

O estudo é classificado como bibliográfico uma vez que é baseado em materiais já publicados com o tema proposto nesta pesquisa. Utilizaram-se referências em teses, livros, dissertações, monografias, artigos científicos e sites especializados.

Além disso, o estudo pode ser classificado como experimental já que terá a simulação computacional e análise de resultados.

V. Do ponto de vista de métodos de pesquisa:

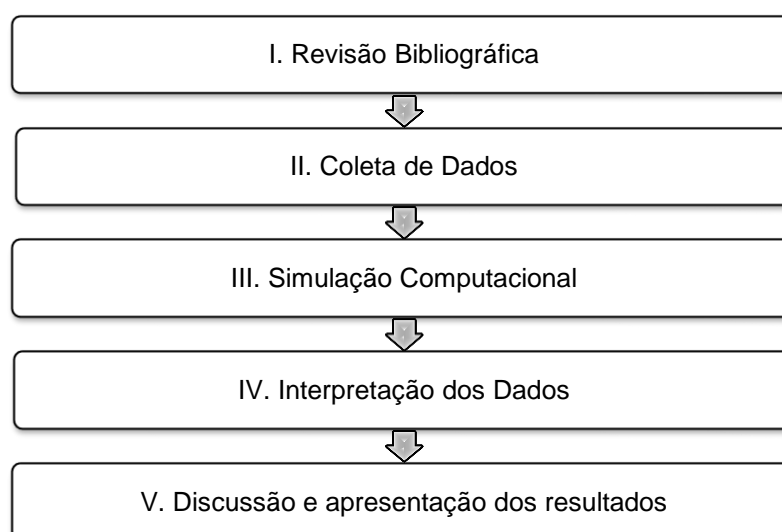
A pesquisa é classificada como indutiva, pois irá ser feito um levantamento de conhecimento baseado na experiência e com isso as observações serão anotadas para se chegar às conclusões gerais.

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo será encaminhado por meio de fases a serem colocadas em prática para a concretização desta pesquisa com a intuito de se alcançar os objetivos específicos e, por fim, o objetivo geral. As fases estão explicadas a seguir:

- I. Revisão Bibliográfica: Para ser realizado o estudo, faz-se necessário uma revisão bibliográfica do tema da pesquisa, para melhor entendimento de suas definições, aplicações e ferramentas disponíveis com a finalidade de se realizar o trabalho proposto.
- II. Coleta de dados: Geração dos dados, para disponibilização na pesquisa quantitativa a fim de realizar as diferentes simulações.
- III. Simulação computacional: Realização da aplicação do código com os diferentes sistemas, implementando também as heurísticas definidas no trabalho e variando o parâmetro alfa da função-objetivo.
- IV. Interpretação dos dados e informações obtidas: Por meio dos dados colhidos, fazer os comparativos para o sistema clássico e *no-wait* para cada heurística, variação de alfa e classe m maquinas x n tarefas.
- V. Discussão e apresentação dos dados: Conclusão da fase anterior em escrito.

Fluxograma 1- Procedimentos para aplicação do trabalho

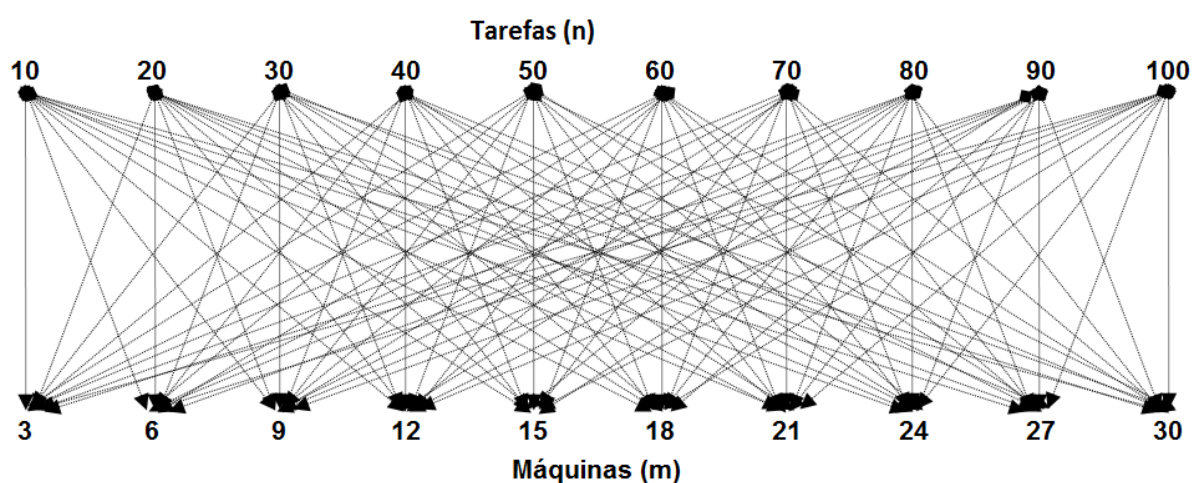


Autor: Aatoria Própria (2017).

4 DESENVOLVIMENTO

Para o presente trabalho, utilizou-se o *software Dev-Pascal 1.9.2* para criação das instâncias-teste, o número de n tarefas é constituído em uma variação de 10 a 100, com intervalo de 10 em 10 e o número de m máquinas em uma variação de 3 a 30, com intervalos de 3 em 3. Cada combinação de $n \times m$ possui 100 instâncias-teste, com o total de 10.000 problemas de dados gerados conforme a Figura 18.

Figura 17 – Ilustração das 10.000 combinações de n tarefas em m máquinas.



Autor: Aatoria Própria (2017).

Após a geração dos dados, os mesmos foram compilados pelo programa *Dev-Pascal 1.9.2*, com a proposta de se encontrar o resultado menor possível, ou seja, a minimização da função-objetivo bi-critério nos sistemas de produção Clássico e com restrição *no-wait* nas heurísticas *SPT*, *LPT*, Triangular e Triangular Invertida. A função-objetivo bi-critério é representada pela equação 1.

$$F.O. = (\alpha \times \text{Makespan} + (1-\alpha) \times (\text{Mean Flowtime})) \quad (1)$$

Na equação da função-objetivo, o valor do parâmetro α apresentou intervalo entre 0 e 1 em uma variação de 0,25 a fim de melhor entender o comportamento das heurísticas em cada sistema. Ressalta-se que ao invés do *flowtime* convencional, utilizou-se o *mean flowtime*, sendo este o tempo médio de fluxo para diminuir a desproporção dos valores de *makespan* e *flowtime* ao utilizar a função bi-critério.

Na solução para o problema, determinou-se entre as inúmeras sequências de tarefas, a ordem que otimizará a duração total da programação (*makespan*), como consequência o uso eficiente das máquinas, e a minimização do tempo médio de fluxo (*mean flowtime*), que reduz o estoque em processamento.

Na sequência, a implementação no *software* foi realizada para cada heurística, nos dois sistemas, para cada valor de α proposto, e assim avaliar o desempenho de cada situação através do resultado da função-objetivo obtida.

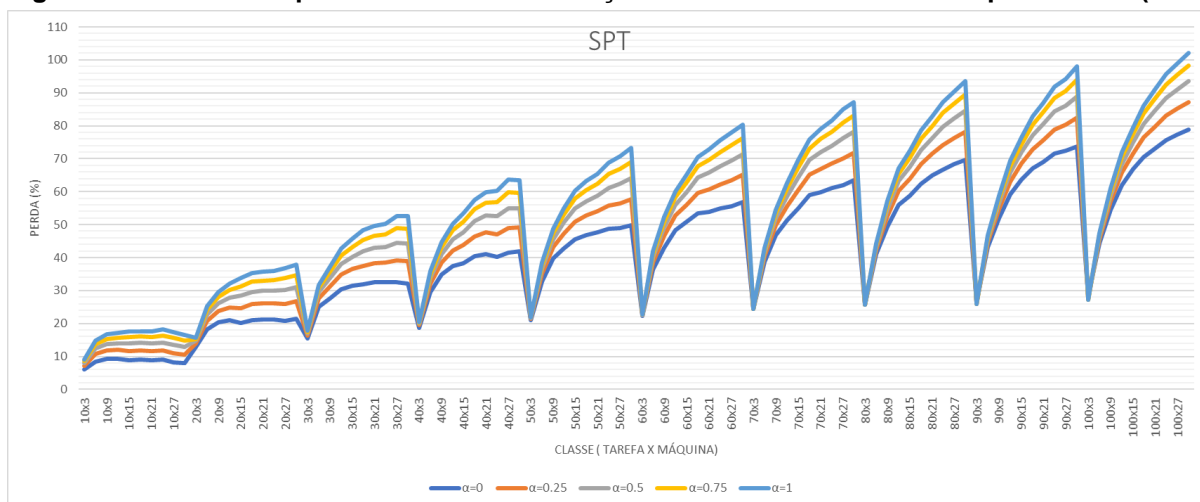
4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos para cada um dos sistemas, nas quatro heurísticas propostas, foi calculado a perda em porcentagem quando aplicada a restrição *no-wait* em relação ao modelo clássico. As Figuras 19, 20, 21 e 22 apresentam o gráfico de porcentagem de perda da classe $n \times m$ para cada heurística variando o parâmetro α . A base de dados para a montagem dos gráficos se encontra no Apêndice A.

Na análise dos gráficos desta Figuras percebe-se menor perda ao aplicar a restrição *no-wait* quando o α possui peso zero e a partir que se aumenta o parâmetro, a piora da FO também se eleva. Nota-se que ainda que, até n igual a 20 em m igual a 3, a porcentagem de perda se mantém com variação mínima para todos os parâmetros em todas as heurísticas (SPT, LPT, triangular e triangular invertida) e após essa classe, percebe-se a elevação da piora.

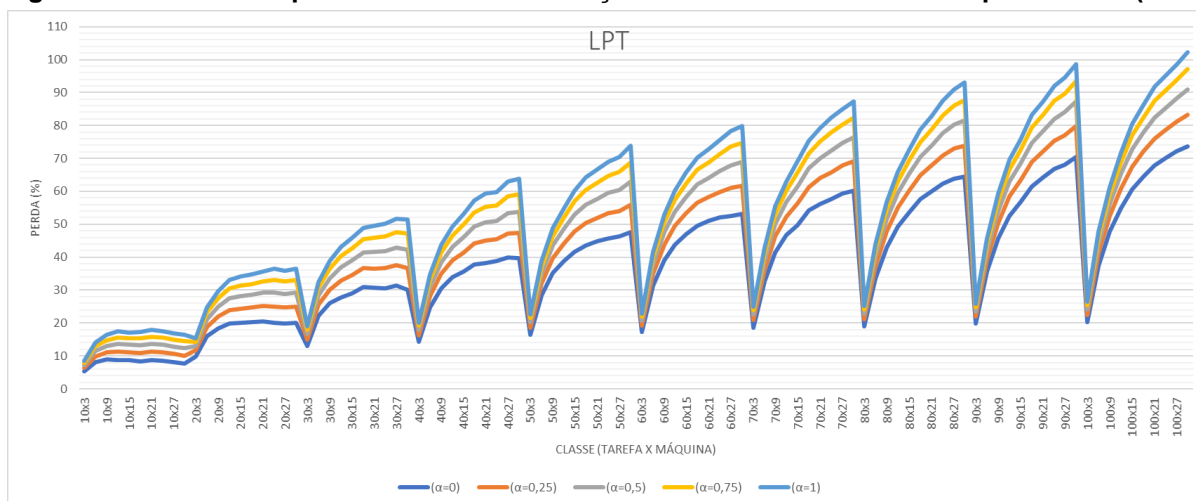
A piora em porcentagem diminui significativamente quando o número de máquinas é igual a 3, isso pode ser observado no comportamento das linhas nos gráficos. Portanto, para as quatro heurísticas, a porcentagem de piora é menor quando o parâmetro tem seu valor mínimo ($\alpha=0$) dando, conseqüentemente, maior peso ao *mean flowtime* e na medida em que a variação do parâmetro aumenta, a piora também se eleva. Observa-se que quanto mais tarefas em maior número de máquinas, a porcentagem de perda cresce.

Figura 18 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* na heurística SPT para classe (nxm)



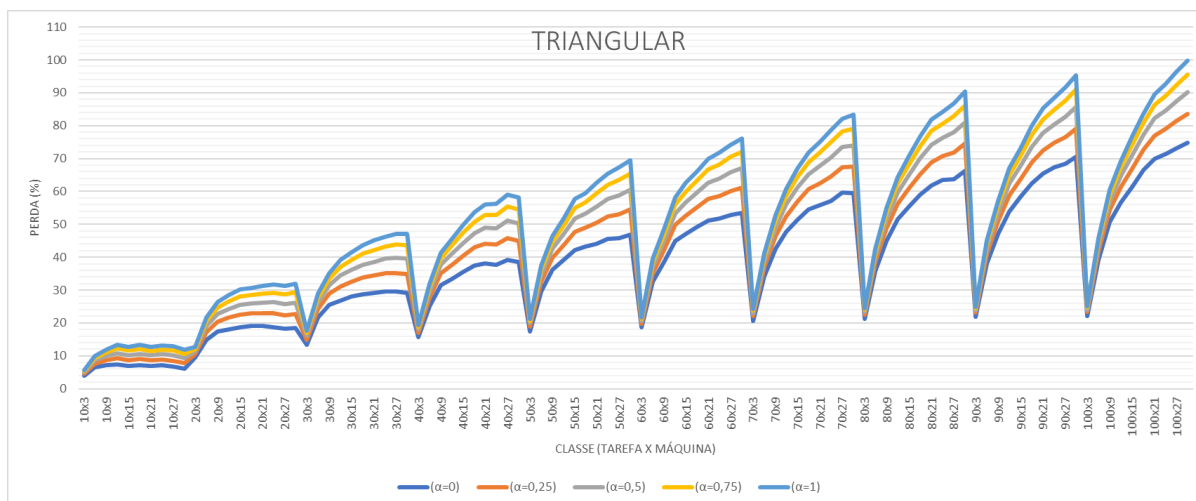
Autor: Autoria Própria (2017).

Figura 19 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* na heurística LPT para classe (nxm)



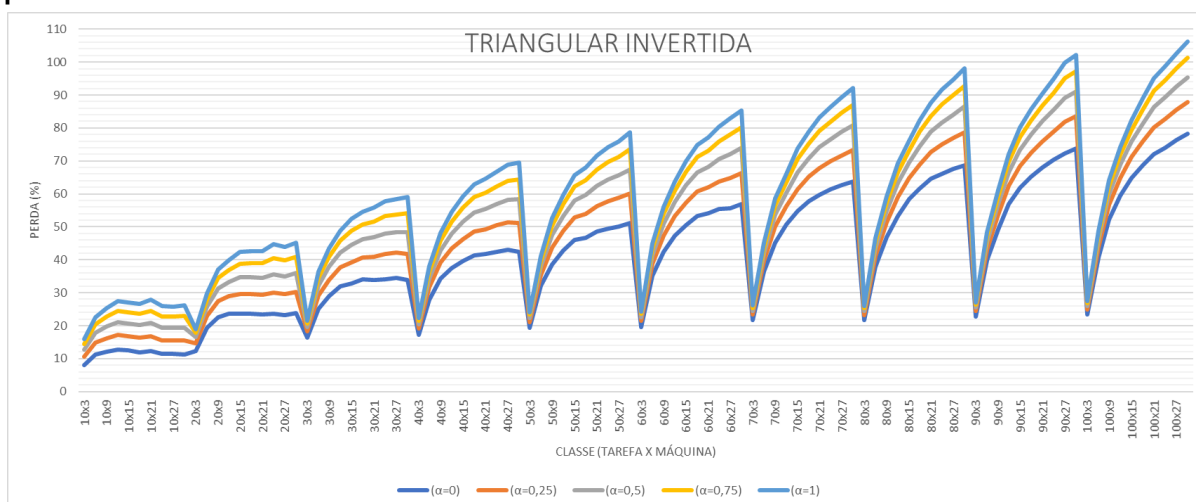
Autor: Autoria Própria (2017).

Figura 20 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* na heurística triangular para classe $n \times m$



Autor: Aatoria Própria (2017).

Figura 21 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* na heurística triangular invertida para classe $n \times m$.



Autor: Aatoria Própria (2017).

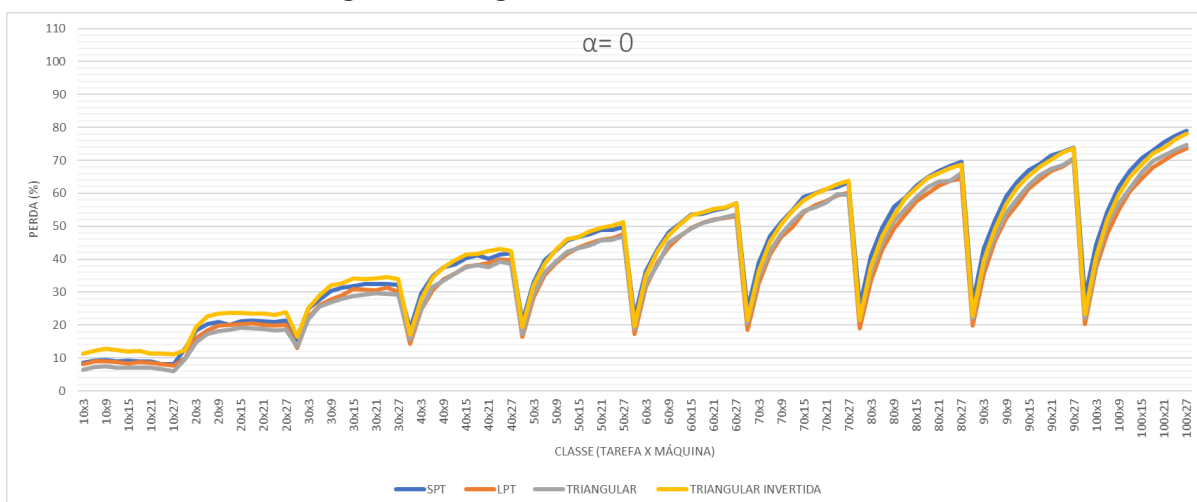
Em seguida, foi feita a análise da piora na FO depois de aplicada a restrição *no-wait* em parâmetro por classes $n \times m$, para $\alpha = 0$, $\alpha = 0,25$, $\alpha = 0,5$, $\alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$. A base de dados para a montagem dos gráficos está disponível no Apêndice B. A Figura 23, representa o gráfico para $\alpha = 0$, que se compreende a menor perda na heurística triangular e a maior na triangular invertida.

Conforme a classe $n \times m$ cresce, as heurísticas triangular e LPT se tornam similares na quantidade de perda da FO. O mesmo ocorre para as heurísticas triangular invertida e SPT, a primeira no início possui uma piora maior que todas as heurísticas, porém conforme a classe $n \times m$ se eleva, a SPT começa a ter uma perda

da FO semelhante a heurística triangular invertida e às vezes, até pior como na classe 90 x 15, em que a FO da SPT foi de 63,69 e a FO do triangular invertida igual a 61,89 unidade de tempo.

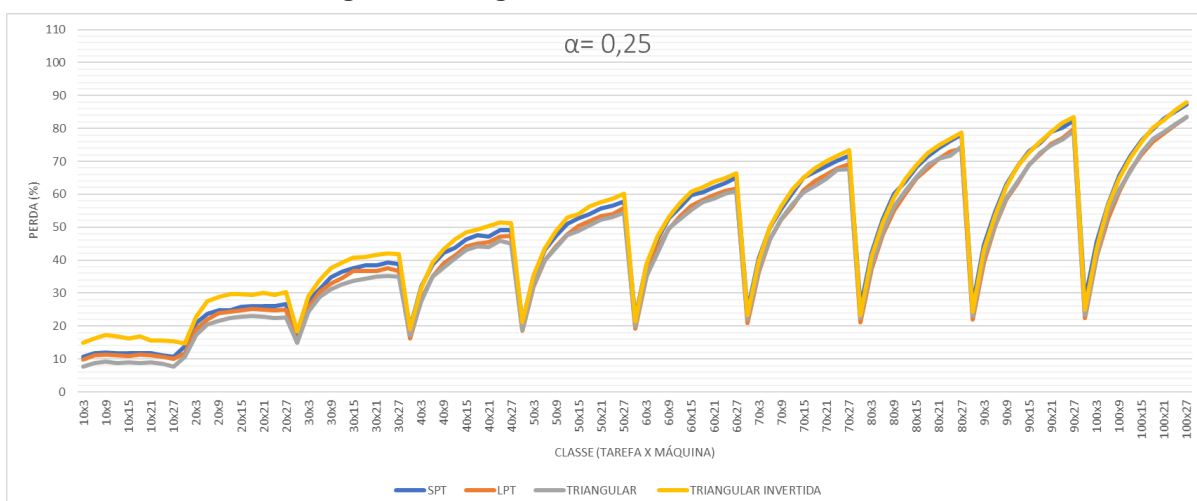
Nas Figuras 23 a 27 verifica-se o comportamento das heurísticas para os valores de α propostos.

Figura 22 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* com parâmetro $\alpha = 0$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.



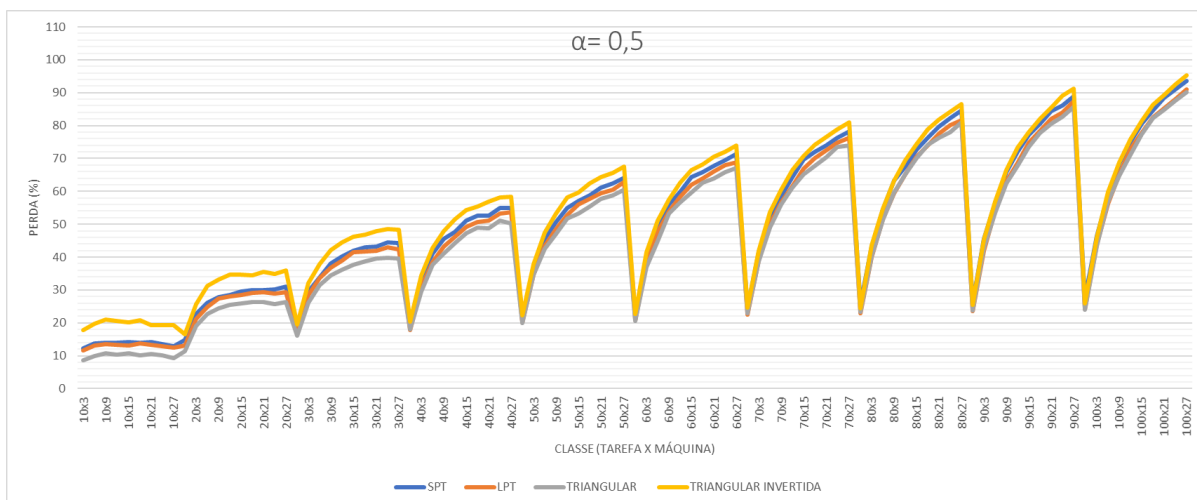
Autor: Autoria Própria (2017).

Figura 23 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* com parâmetro $\alpha = 0,25$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.



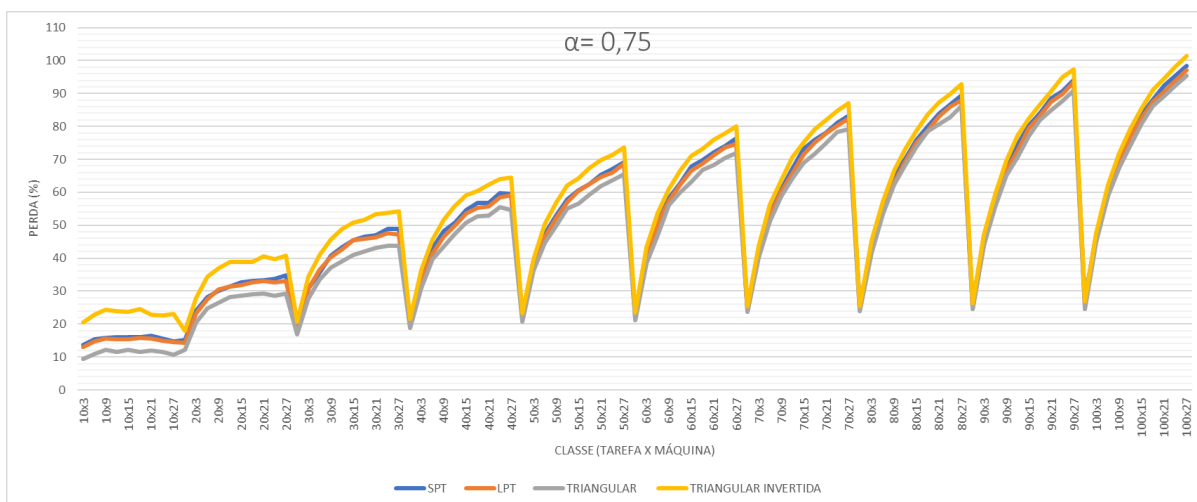
Autor: Autoria Própria (2017).

Figura 24 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* com parâmetro $\alpha = 0,5$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.



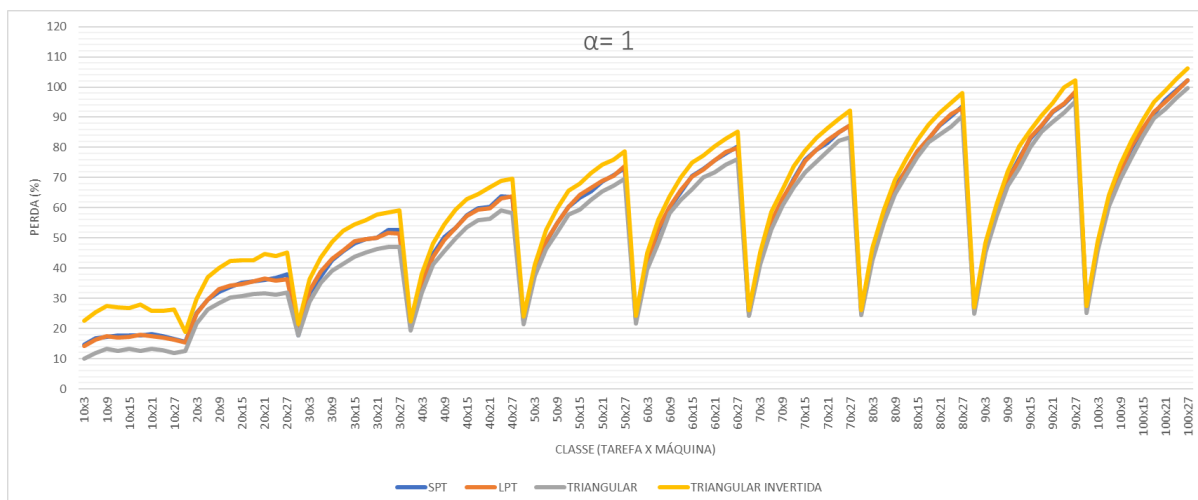
Autor: Autoria Própria (2017).

Figura 25 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* com parâmetro $\alpha = 0,75$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.



Autor: Autoria Própria (2017).

Figura 26 – Gráfico de piora da FO com a restrição *no-wait* com parâmetro $\alpha = 1$ para as heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.



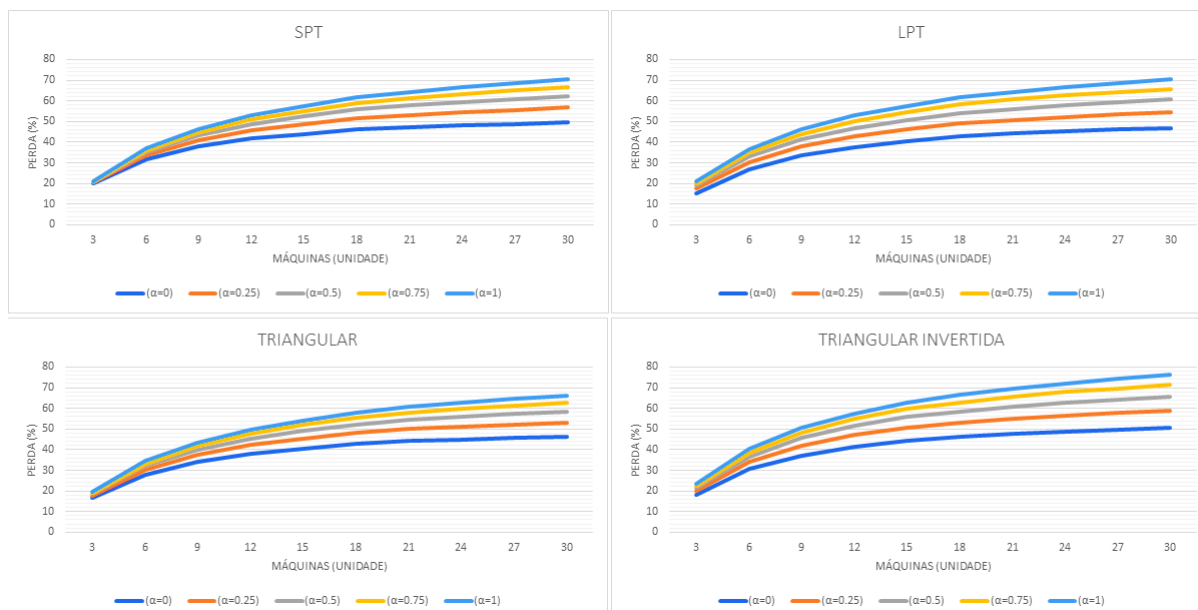
Autor: Autoria Própria (2017).

Para uma melhora na visualização do comportamento da FO na aplicação da restrição *no-wait*, fez-se a média da porcentagem de piora para cada n tarefas ($n = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ e 100) e para m máquinas ($m = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27$ e 30) nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida que onde a base se encontra disponível no Apêndice C.

A Figura 28 apresenta os gráficos da porcentagem de perda na FO devido à restrição *no-wait* por m máquinas das quatro heurísticas compostas do trabalho. É notado a partir das médias, que a heurística triangular invertida é a que possui maior piora a medida que o número de máquinas aumenta, na máquina 30 com FO = 76, 26 no parâmetro $\alpha = 1$, comparado com a menor FO = 50, 39 na heurística SPT no mesmo parâmetro.

Portanto, para todas as heurísticas, a piora na solução da FO com a aplicação da restrição *no-wait* tem sua elevação no momento que o parâmetro (α) tem seu aumento.

Figura 27 – Gráficos da média de piora (%) da FO com a restrição *no-wait* por m máquinas nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida com parâmetro $\alpha = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ e 1 .

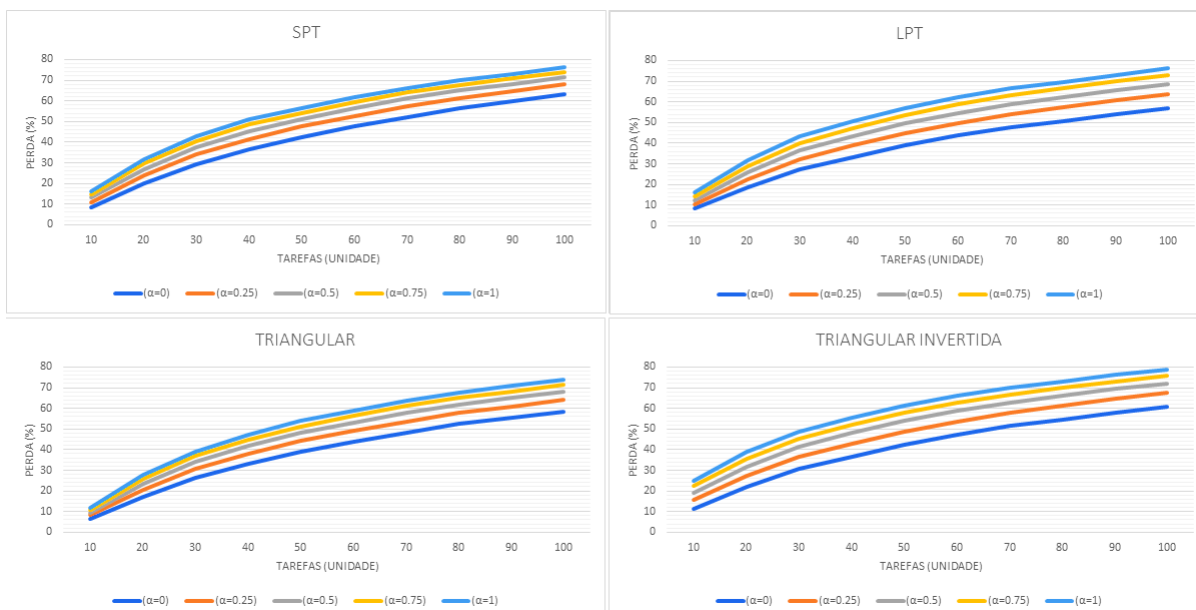


Autor: Autoria Própria (2017)

A mesma resolução da análise dos gráficos da Figura 29 ocorre quando a média de perda em porcentagem por tarefa é realizada. As heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida possuem tem sua piora com a restrição *no-wait* aumentada quando o número de tarefas n cresce. Nas Figuras 30 e 31 observa-se esta análise quando concatenados os dados em função do número de máquinas e tarefas, respectivamente.

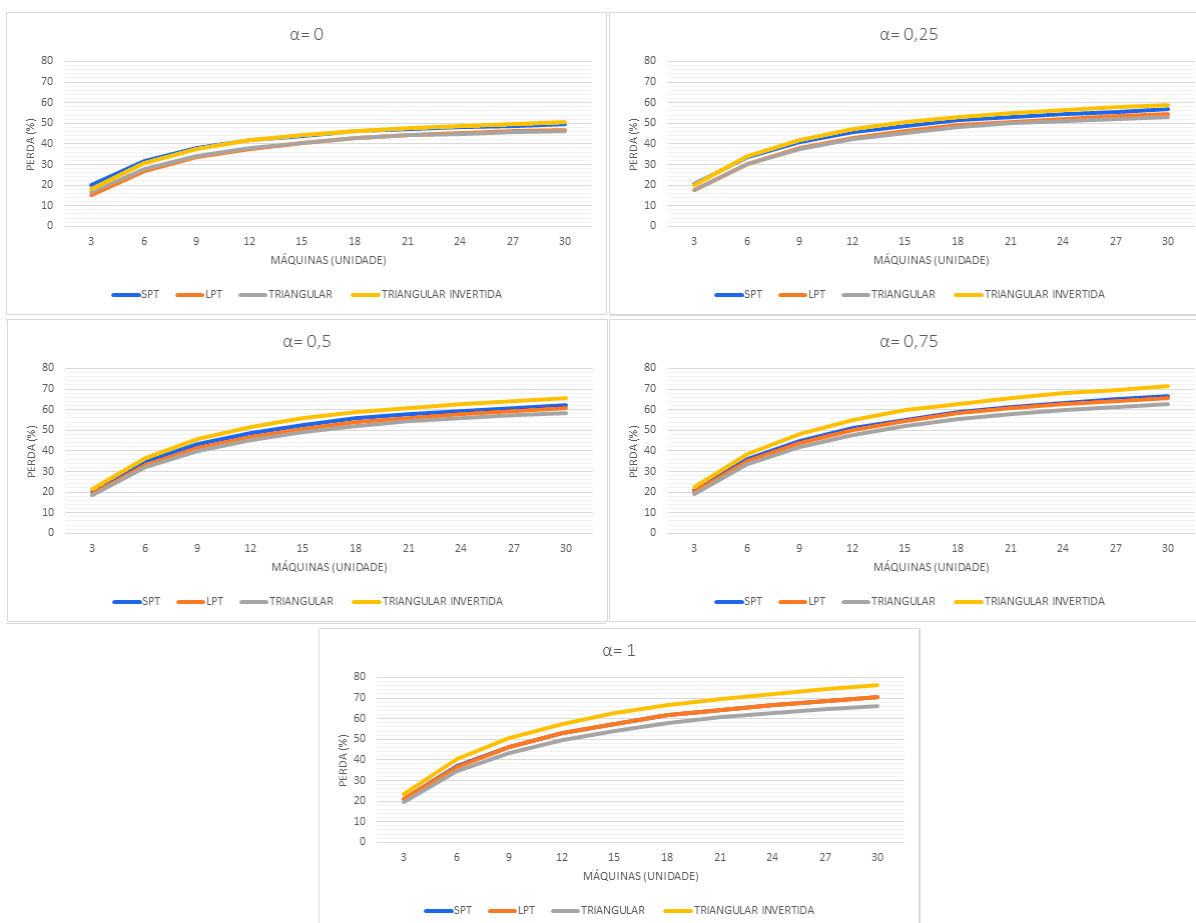
Ressalta-se que, o parâmetro α , iniciando em 0, tem perda menor comparada ao que possui peso igual a 1. Na heurística triangular invertida, em que há maior piora com o parâmetro α a 1, nota-se maior divergência entre os parâmetros 0 e 1. A melhor para todos os casos é quando parâmetro α é zero e a pior quando parâmetro α é igual a 1.

Figura 28 – Gráficos da média de piora (%) da FO com a restrição *no-wait* por n tarefas nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida com parâmetro $\alpha = 0; 0,25; 0,5; 0,75$ e 1 .



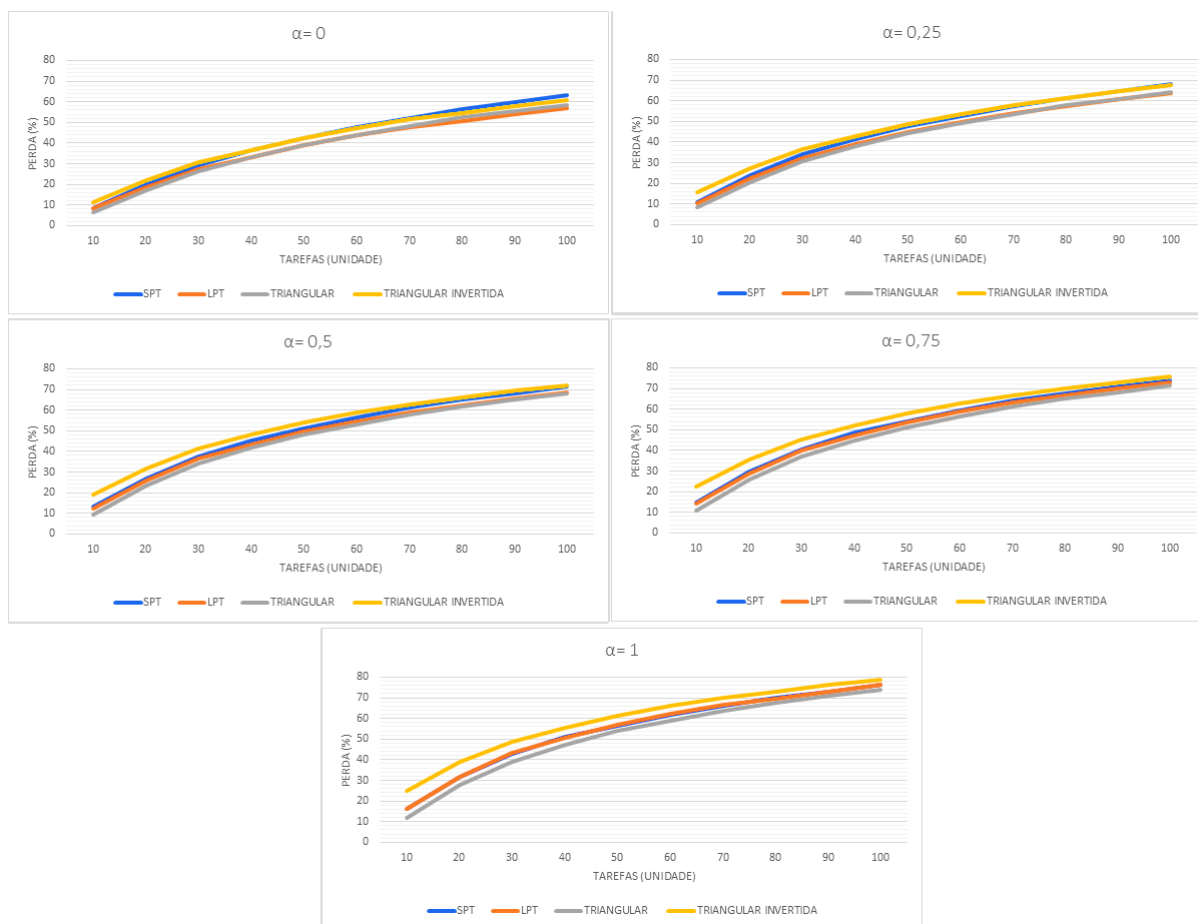
Autor: Aatoria Própria (2017)

Figura 29 – Gráficos da média de piora (%) da FO com a restrição *no-wait* por m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0; \alpha = 0,25; \alpha = 0,5; \alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.



Autor: Aatoria Própria (2017)

Figura 30 – Gráficos da média de piora da FO com a restrição *no-wait* por n tarefas nos parâmetros $\alpha = 0$; $\alpha = 0,25$; $\alpha = 0,5$; $\alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ nas heurísticas SPT, LPT, triangular e triangular invertida.



Autor: Aatoria Própria (2017)

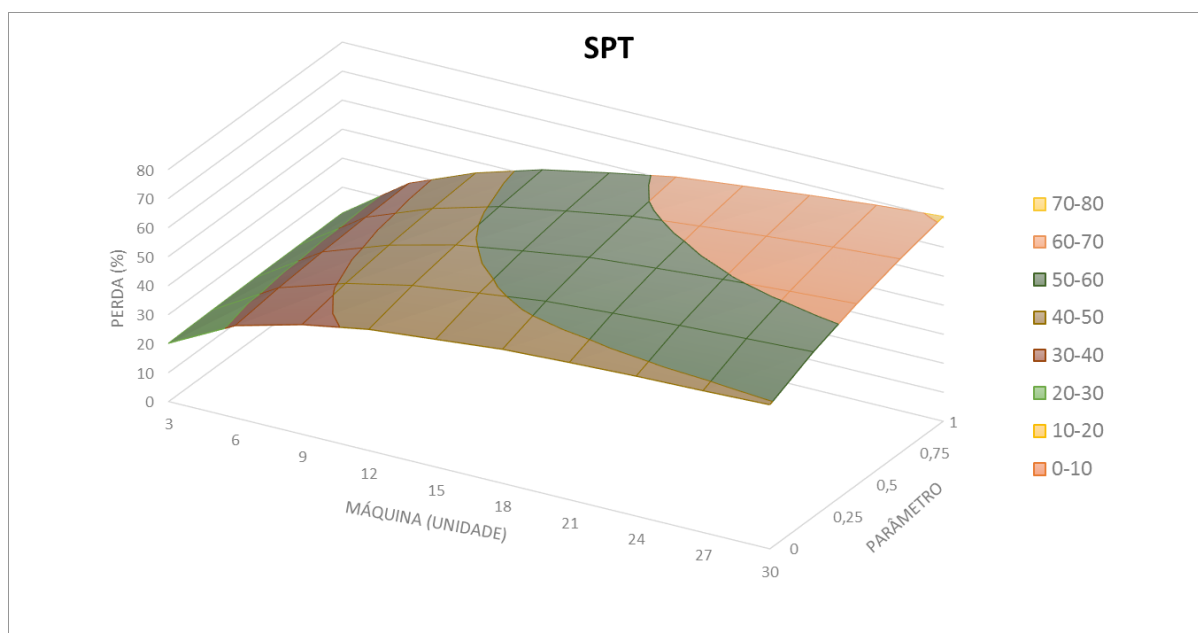
A geração do gráfico de superfície na análise dos mesmos dados das Figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 e 39 foram construídos com o objetivo da análise simultânea dos resultados obtidos serem demonstrados em dois conjuntos de dados, na obtenção de melhor visualizar m máquinas ($m = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27$ e 30) em parâmetros α ($\alpha = 0, 0,25, 0,5, 0,75$ e 1) para as quatro heurísticas do trabalho (SPT, LPT, triangular e triangular invertida) nas Figuras 32, 33, 34 e 35. Ainda, para n tarefas ($n = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ e 100) com peso de parâmetros α distintos ($\alpha = 0, 0,25, 0,5, 0,75$ e 1) também para as quatro heurísticas do trabalho (SPT, LPT, triangular e triangular invertida) representadas nas Figuras 36, 37, 38 e 39.

É notado que, conforme as quantidades de m máquinas aumentam, gera-se maior perda, independentemente do peso que se dá ao parâmetro α . Contudo, quanto mais o α sobe, a perda se eleva. As heurísticas LPT e triangular (Figura 33 e

34) em todos os parâmetros α gerados são as heurísticas que apresentam menor perda ao se aplicar a restrição *no-wait*. Já as heurísticas SPT e triangular invertida (Figuras 32 e 35) são as que mais sofrem com a implementação da restrição.

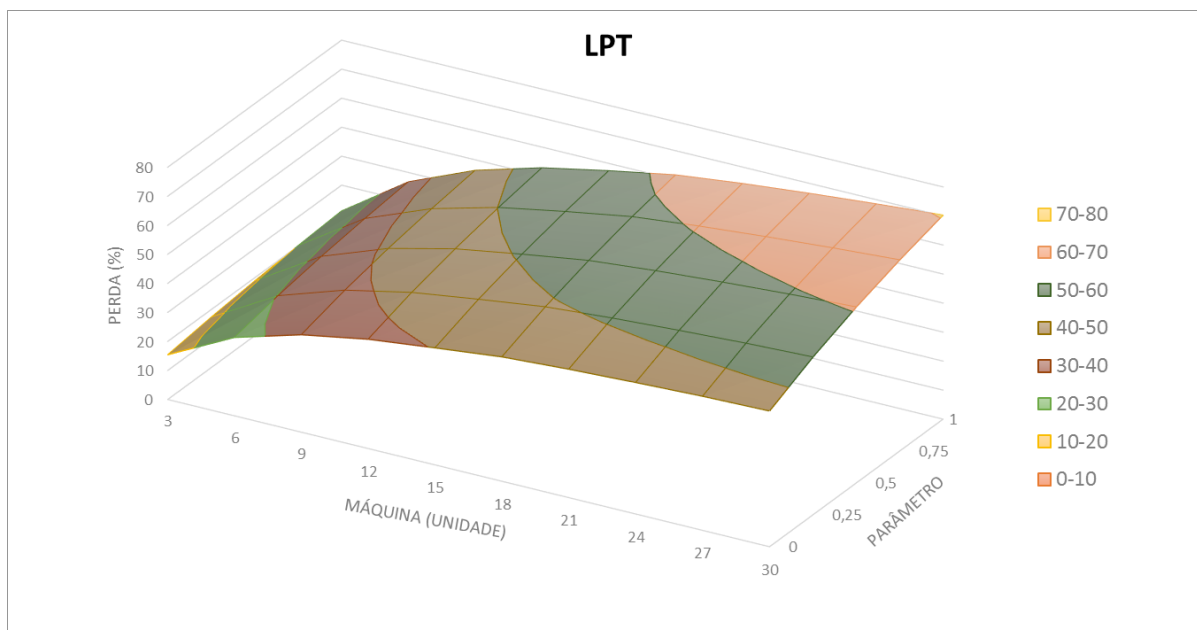
A heurística SPT para o parâmetro $\alpha=0$, começa sendo a heurística com perda mais elevada, porém quando a máquina sobe para $m=15$, a triangular invertida lidera. Nos demais pesos do parâmetro α , a heurística triangular invertida ganha das três heurísticas como a que sofre mais perda com a restrição. Quando o peso α chega a 1, a menor perda para $m=3$ é de 19,19% na triangular, comparada a maior perda para $m=3$ no peso $\alpha=0$ de 20,10% na heurística SPT, fica evidente dessa forma, o quanto o peso α influencia na perda da FO quando aplicada a restrição *no-wait*.

Figura 31 – Gráfico de superfície da média de piora da FO com a restrição *no-wait* por m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0$; $\alpha = 0,25$; $\alpha = 0,5$; $\alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ na heurística SPT.



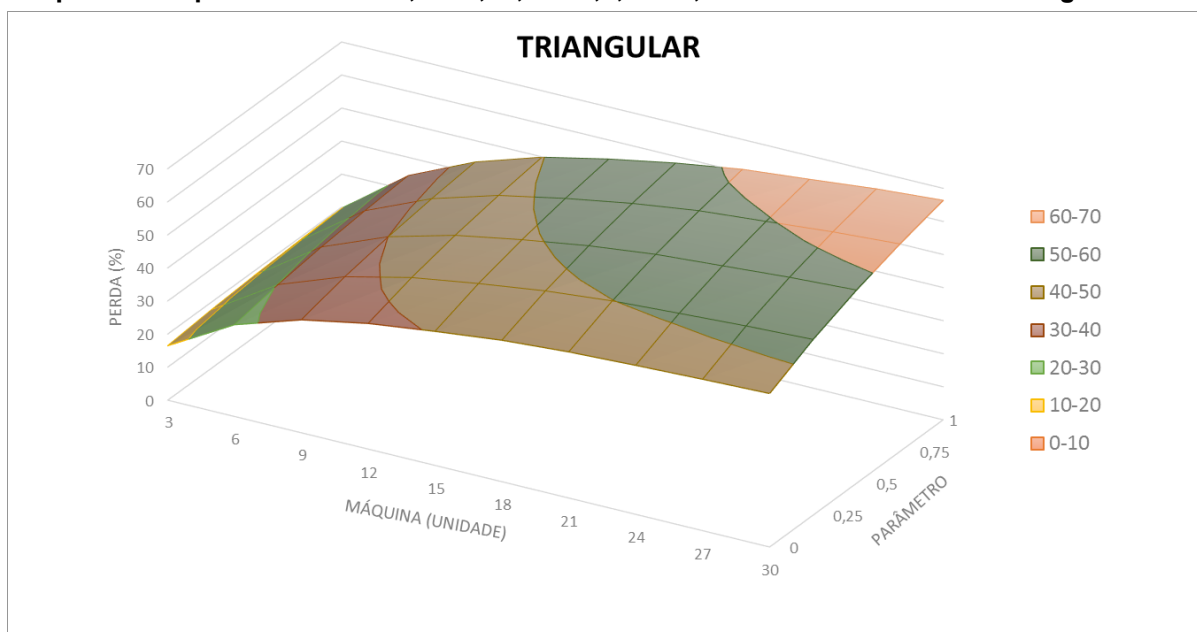
Autor: Aatoria Própria (2017)

Figura 32 – Gráfico de superfície da média de piora da FO com a restrição *no-wait* por m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0$; $\alpha = 0,25$; $\alpha = 0,5$; $\alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ na heurística LPT.



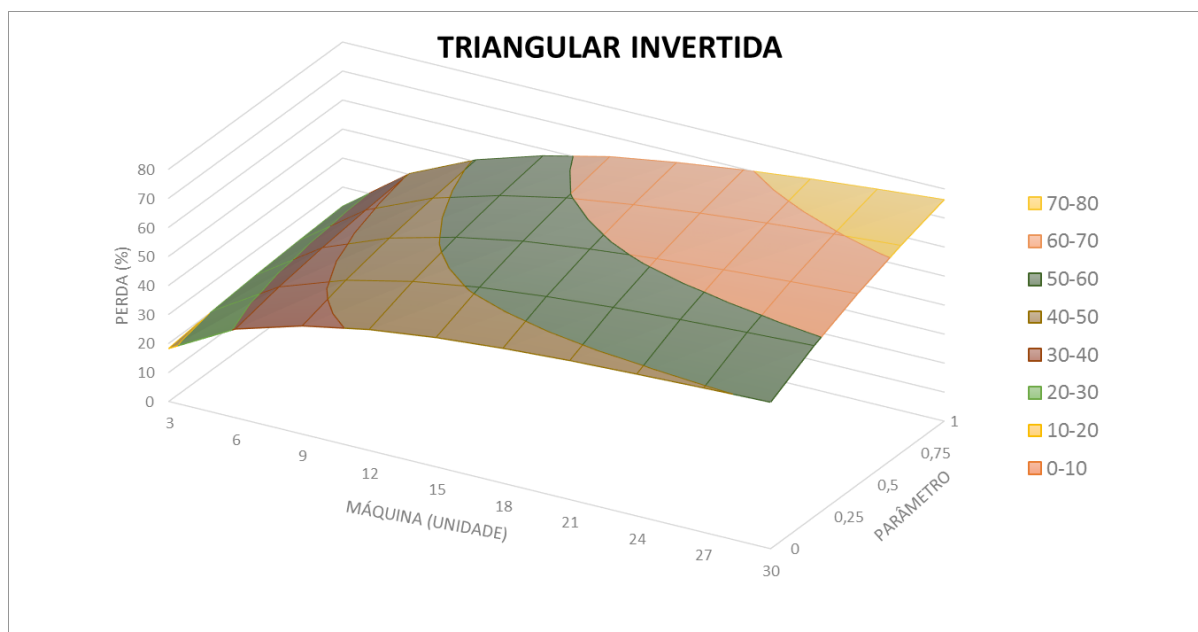
Autor: Aatoria Própria (2017)

Figura 33 – Gráfico de superfície da média de piora da FO com a restrição *no-wait* por m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0$; $\alpha = 0,25$; $\alpha = 0,5$; $\alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ na heurística triangular.



Autor: Aatoria Própria (2017).

Figura 34 – Gráfico de superfície da média de piora da FO com a restrição *no-wait* para m máquinas nos parâmetros $\alpha = 0$; $\alpha = 0,25$; $\alpha = 0,5$; $\alpha = 0,75$ e $\alpha = 1$ na heurística triangular invertida.



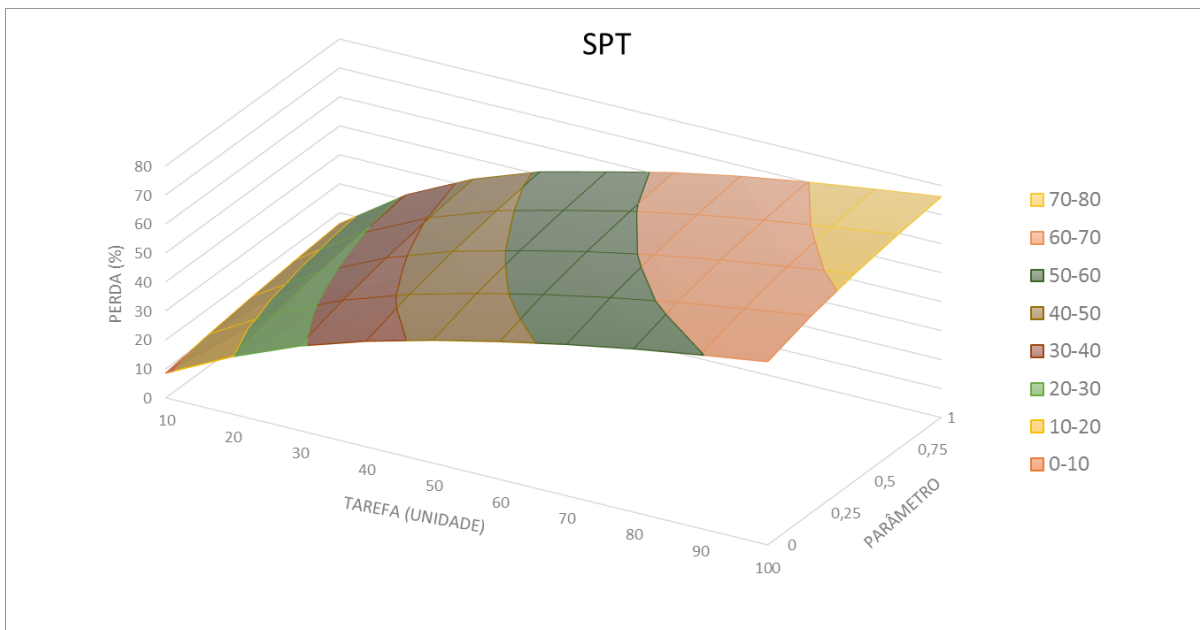
Autor: Aatoria Própria (2017).

Na análise dos gráficos de superfície para n tarefas, nota-se comportamento semelhante ao do gráfico das m máquinas, ou seja, quanto menor número de tarefas, a perda com a restrição é menor e à medida que se aumenta as tarefas, também a porcentagem de piora cresce.

As heurísticas SPT e triangular invertida (Figuras 36 e 39) em relação a tarefas também são as heurísticas que apresentam maior piora com a implementação da restrição usadas no trabalho, entretanto, a partir do parâmetro $\alpha = 0,5$, a triangular invertida é a que ganha na perda de desempenho em comparação as demais heurísticas.

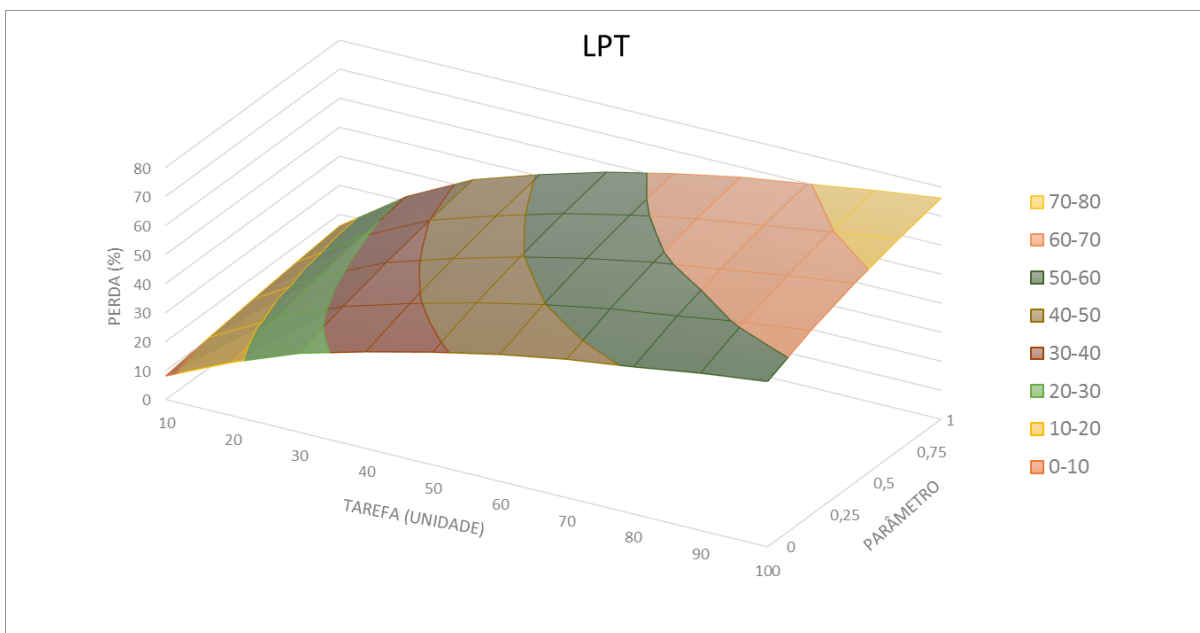
Conforme o gráfico de superfície de m máquinas, para o gráfico de superfície de n tarefas o mesmo se observa que as heurísticas LPT e triangular (Figura 37 e 38) tem as menores perdas de desempenho com a restrição *no-wait*. Em dados numéricos, a porcentagem de perda quando se inicia as n tarefas ($n=10$) é menor do que se comparado com a porcentagem de perda para m máquinas ($m=3$) em todos os parâmetros. Um exemplo é com o parâmetro $\alpha=0,25$, na heurística triangular em que a perda em $n= 8,18\%$ e a perda em $m= 3$ foi de $17,68\%$.

Figura 35 – Gráfico de Gantt da heurística SPT com restrição *no-wait*



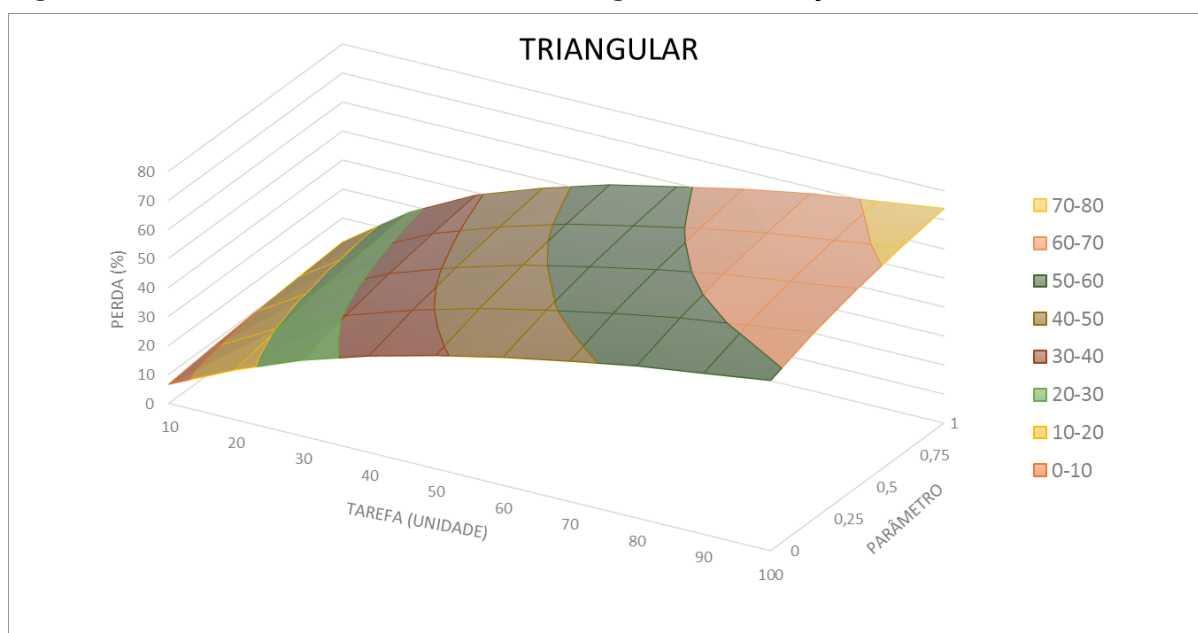
Autor: Aatoria Própria (2017)

Figura 36 – Gráfico de Gantt da heurística LPT com restrição *no-wait*



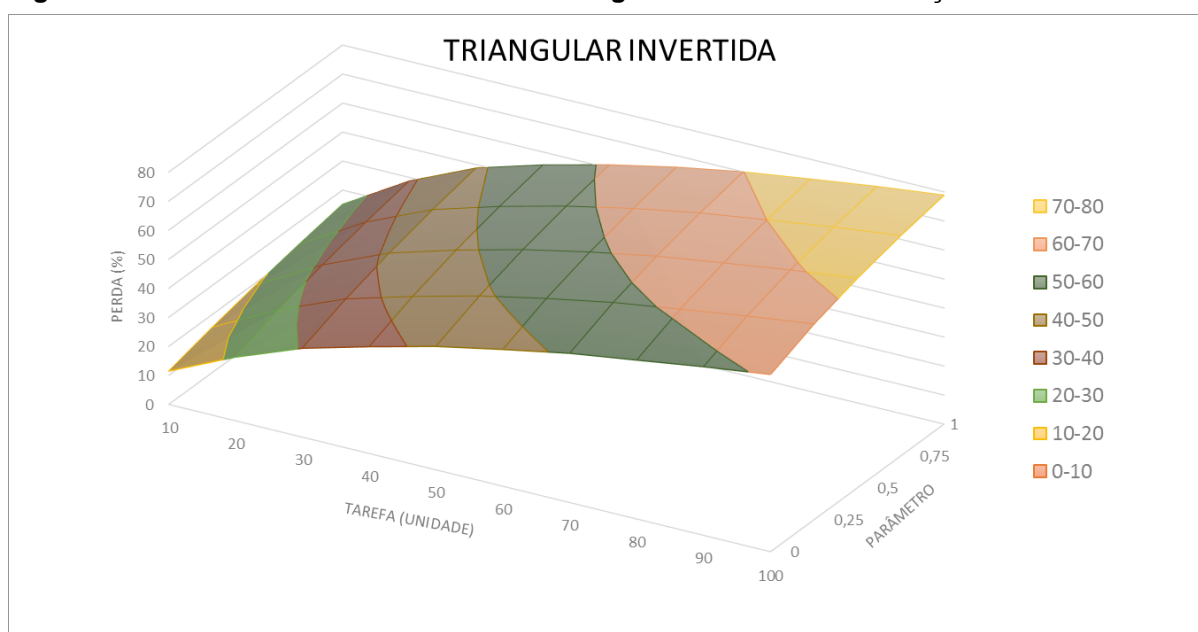
Autor: Aatoria Própria (2017)

Figura 37 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular com restrição *no-wait*



Autor: Aatoria Própria (2017)

Figura 38 – Gráfico de Gantt da heurística Triangular Invertida com restrição *no-wait*



Autor: Aatoria Própria (2017)

Para conclusão dos resultados e análises feitas no presente trabalho, o item 5 abordará as conclusões finais do problema proposto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho efetuou a avaliação de dois modelos de sistemas de produção, o primeiro definido como clássico e o segundo com restrição de produção *no-wait*, realizados com quatro heurísticas (SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida) em um ambiente *Flow Shop* Permutacional em função bi-objetivo entre *makespan* e *mean flowtime*.

Através disso, tornou-se possível a comparação de desempenho para cada sistema com a finalidade de se observar a proporção de perda na FO ao se aplicar a restrição *no-wait* visto que ela é comumente encontrada em processos industriais. Entre as quatro heurísticas, nas classes $n \times m$ e em todos os intervalos de α , pode-se notar que o sistema clássico possui uma FO melhor, como a premissa indica.

Os maiores crescentes no percentual em classe $n \times m$ ocorreu na heurística triangular invertida quando o parâmetro α é igual a 1, com o peso atribuído somente ao *makespan*. O mesmo ocorre quando apenas se avalia as m máquinas, é visto que a heurística triangular invertida com o peso α igual a 1 tem sua perda elevada com a restrição. Para a avaliação nas n tarefas, há a mesma conclusão dos casos anteriores, concluindo que a heurística que obteve maior perda ao se aplicar a restrição *no-wait* foi a triangular invertida.

De modo geral, verificando os três critérios ($n \times m$ classes, n tarefas e m máquinas), a heurística recomendada a ser utilizada por se ter menos perda com a restrição *no-wait*, e conseqüentemente melhor atuação no processamento de tarefas foi a heurística triangular, seguida da heurística LPT. Já a heurística SPT demonstrou resultados próximos a pior heurística.

Em relação às classes $n \times m$, pode-se notar que a piora na FO teve influência na quantidade de tarefas e máquinas no processo, é notável como diminui o acréscimo no percentual da FO quando a classe volta a ter $m=3$ (Ex.: 40x3, 70x3, 90x3). Para as n tarefas, pode-se observar que, conforme as tarefas aumentam, maior fica a perda da FO com a restrição *no-wait*. Nas m máquinas a complexidade fica maior à medida que m cresce, o que faz também com que a piora com a restrição suba.

Conclui-se adicionalmente, que quanto maior for o peso que se dá ao *makespan*, ou seja, com o parâmetro α igual a 1, maior será o acréscimo de unidade de tempo na FO em comparação ao sistema clássico.

Apesar da perda na FO ao se aplicar a restrição *no-wait*, fica evidente que por meio de diferentes métodos heurísticos é possível se obter um máximo proveito para resolução de problemas propostos em processamento da produção. A simulação computacional propõe um auxílio para escolha do mais adequado sequenciamento de tarefas, bem como um comparativo de desempenho em que o presente trabalho se baseou.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Caio Soares de. **Métodos heurísticos para programação de flow shop bi critério com datas de liberação e setup independente**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Organizacional, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2014.

BRANCO, Fábio José Ceron. **Avaliação de métodos heurísticos para o problema no-wait flowshop com o critério de minimização da duração total da programação**. 2006. 456 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CORRÊA, Henrique Luiz; GIANESI, Irineu Gustavo Nogueira; CAON, Mauro. **Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRPII/ERP: conceitos, uso e implantação: base para SAP, Oracle Applications e outros softwares integrados de gestão**. 5. ed. São Paulo: Atlas S.a., 2012. 434 p.

CORRÊA, Henrique Luiz; GIANESI, Irineu Gustavo Nogueira. **Just in Time, MRP II e OPT: Um enfoque estratégico**. 2. ed. São Paulo: Atlas S.a., 2011. 192 p.

FERNANDES, Flavio Cesar Faria; GODINHO FILHO, Moacir. **Planejamento, Programação e Controle da Produção: Dos fundamentos ao essencial**. São Paulo: Atlas S.A., 2010. 296 p.

FUCHIGAMI, Hélio Yochihiro. **Métodos heurísticos construtivos para o problema de programação da produção em sistemas flow shop híbridos com tempos de preparação das máquinas assimétricos e dependentes da sequência**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FUCHIGAMI, Hélio Yochihiro. **Flexible flow line com tempos de setup: métodos heurísticos**. 2010. 342 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

GIROTTI, Leonel Jose, NISHIMURA, Viviane Satie e MESQUITA, Marco Aurélio de. **Simulação em planilhas para programação de ordens de produção em sistemas job shop: Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial**. Abepro, 2011. 14 p. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_135_860_17815.pdf>. Acesso em: 20 set 2017.

HALL, Nicholas G.; SRISKANDARAJAH, Chelliah. A survey of machine scheduling problems with blocking and no-wait in process. **Operations Research**, v.44, n 3, p. 510-525, mai a jun, 1996.

LAWRENCE, Stephen R.; SEWELL, Edward C. Heuristic, Optimal, Static and Dynamic schedules when processing times are uncertain. **Journal of Operations Management**, v. 15, p. 71 – 82, 1997.

LUTOSA, Leonardo *et al.*. **Planejamento e Controle da Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 376 p.

MACCARTHY, Bart; LIU, Jiyin. Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling. **International Journal Of Production Research**, [s.l.], v. 31, n. 1, p.59-79, jan. 1993. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207549308956713>.

MOCCELLIN, João Vitor; NAGANO, Marcelo Seido. Uma propriedade estrutural do problema de programação da produção *flow shop* permutacional com tempos de *setup*. **Pesquisa Operacional**, São Carlos, v. 27, n. 3, p.487-515, jul. a dez 200.

MORAIS, Márcia de Fátima; MOCCELLIN, João Vitor. **Métodos heurísticos construtivos para redução do estoque em processo em ambientes de produção *flow shop* híbridos com tempos de *setup* dependentes da sequência**. Gest. Prod., São Carlos, v. 17, n. 2, p. 367-375, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2010000200011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 24 set. 2017.

SANTOS, Alessandra L. dos. **Investigação de heurísticas para problema de programação de tarefas em máquinas em um ambiente *flow shop* com restrição *no-wait***. 2016. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

SCARDOELLI, Lucas Yamada; NAGANO, Marcelo Seido; MOCCELLIN, João Vitor. Programação da produção em sistema *no-wait flow shop* minimização do tempo total de fluxo. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, [s.i.], v. 1, n. 31, p.91-99, mar. 2008.

SILVA, Augusto Almeida da. **Heurística Evolutiva para problemas de programação em *no-wait flowshop* com tempos de *setup***. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da produção**. São Paulo: Atlas S.A., 1999. 525 p.

PINEDO, Michael L.. **Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems**. New York: Springer-verlag New York, 2012. 676 p.

ZHAO, Fuqing et al. A discrete Water Wave Optimization algorithm for no-wait flow shop scheduling problem. **Expert Systems With Applications**, [s.l.], v. 91, p.347-363, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.09.028>.

APÊNDICE A – Tabela de dados da porcentagem de piora da FO para as heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular invertida variando o parâmetro ao aplicar a restrição *no-wait*

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO das heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i> variando o α																			
	SPT					LPT					TRIANGULAR					TRIANGULAR INVERTIDA				
	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$
10x3	6,06%	7,23%	8,04%	8,64%	9,11%	5,36%	6,36%	7,19%	7,90%	8,51%	4,01%	4,60%	5,04%	5,39%	5,67%	8,00%	10,66%	12,79%	14,54%	15,99%
10x6	8,45%	10,68%	12,36%	13,67%	14,73%	8,02%	9,91%	11,54%	12,95%	14,18%	6,42%	7,61%	8,56%	9,34%	9,99%	11,32%	14,91%	17,91%	20,45%	22,64%
10x9	9,24%	11,75%	13,73%	15,33%	16,65%	8,92%	11,15%	13,10%	14,83%	16,36%	7,23%	8,70%	9,91%	10,92%	11,78%	12,16%	16,25%	19,73%	22,74%	25,36%
10x12	9,32%	11,93%	14,03%	15,76%	17,21%	8,86%	11,38%	13,62%	15,62%	17,42%	7,36%	9,26%	10,85%	12,20%	13,37%	12,82%	17,23%	21,06%	24,42%	27,40%
10x15	8,90%	11,70%	14,01%	15,96%	17,62%	8,77%	11,19%	13,36%	15,32%	17,10%	6,97%	8,74%	10,25%	11,55%	12,67%	12,42%	16,76%	20,58%	23,97%	26,99%
10x18	9,10%	11,81%	14,08%	16,01%	17,67%	8,29%	10,87%	13,21%	15,34%	17,28%	7,14%	9,03%	10,66%	12,08%	13,33%	11,95%	16,30%	20,16%	23,60%	26,70%
10x21	8,89%	11,63%	13,95%	15,94%	17,66%	8,71%	11,31%	13,68%	15,86%	17,85%	7,03%	8,73%	10,20%	11,49%	12,64%	12,21%	16,76%	20,84%	24,51%	27,84%
10x24	8,98%	11,81%	14,23%	16,33%	18,17%	8,61%	11,11%	13,40%	15,50%	17,44%	7,11%	8,92%	10,50%	11,91%	13,16%	11,37%	15,59%	19,39%	22,83%	25,96%
10x27	8,16%	11,00%	13,44%	15,57%	17,45%	8,15%	10,61%	12,87%	14,96%	16,90%	6,65%	8,50%	10,14%	11,59%	12,89%	11,39%	15,52%	19,27%	22,68%	25,79%
10x30	8,07%	10,61%	12,81%	14,74%	16,44%	7,66%	10,11%	12,37%	14,46%	16,40%	6,06%	7,76%	9,28%	10,63%	11,84%	11,18%	15,47%	19,37%	22,94%	26,23%
20x3	12,82%	13,96%	14,72%	15,25%	15,66%	9,85%	11,65%	13,10%	14,29%	15,29%	9,52%	10,67%	11,50%	12,14%	12,63%	12,38%	14,72%	16,48%	17,84%	18,94%
20x6	18,26%	20,87%	22,73%	24,12%	25,20%	16,02%	18,90%	21,24%	23,18%	24,82%	14,76%	17,20%	19,05%	20,51%	21,68%	19,35%	22,91%	25,68%	27,90%	29,71%
20x9	20,33%	23,69%	26,18%	28,10%	29,63%	18,37%	21,95%	24,93%	27,45%	29,60%	17,36%	20,42%	22,80%	24,71%	26,28%	22,63%	27,44%	31,28%	34,43%	37,06%
20x12	20,90%	24,83%	27,82%	30,18%	32,08%	19,77%	23,95%	27,47%	30,47%	33,07%	18,15%	21,59%	24,33%	26,55%	28,40%	23,53%	28,87%	33,23%	36,86%	39,94%
20x15	20,05%	24,72%	28,37%	31,32%	33,74%	20,01%	24,40%	28,13%	31,35%	34,15%	18,62%	22,44%	25,53%	28,09%	30,24%	23,71%	29,66%	34,63%	38,83%	42,44%
20x18	21,05%	25,80%	29,58%	32,65%	35,21%	20,28%	24,72%	28,55%	31,87%	34,79%	19,16%	22,91%	25,98%	28,55%	30,73%	23,68%	29,66%	34,68%	38,95%	42,63%
20x21	21,24%	26,02%	29,88%	33,05%	35,71%	20,59%	25,19%	29,18%	32,66%	35,73%	19,04%	22,98%	26,24%	28,99%	31,34%	23,48%	29,46%	34,55%	38,92%	42,72%
20x24	21,20%	26,05%	29,99%	33,25%	36,01%	20,14%	25,05%	29,34%	33,13%	36,49%	18,76%	22,85%	26,27%	29,18%	31,68%	23,54%	30,04%	35,63%	40,47%	44,71%
20x27	20,88%	25,99%	30,19%	33,71%	36,70%	19,87%	24,67%	28,88%	32,62%	35,95%	18,25%	22,31%	25,73%	28,65%	31,17%	23,15%	29,50%	34,98%	39,76%	43,98%
20x30	21,38%	26,66%	31,03%	34,73%	37,88%	20,10%	24,95%	29,23%	33,03%	36,43%	18,47%	22,68%	26,26%	29,33%	32,00%	23,86%	30,31%	35,92%	40,85%	45,21%

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO das heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i> variando o α																			
	SPT					LPT					TRIANGULAR					TRIANGULAR INVERTIDA				
	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$
30x3	15,37%	16,32%	16,93%	17,37%	17,69%	12,98%	15,03%	16,64%	17,95%	19,03%	13,34%	14,95%	16,09%	16,95%	17,62%	16,43%	18,27%	19,61%	20,63%	21,44%
30x6	25,04%	27,64%	29,44%	30,76%	31,77%	22,12%	25,61%	28,39%	30,66%	32,55%	21,70%	24,29%	26,21%	27,69%	28,87%	25,08%	29,07%	32,09%	34,46%	36,37%
30x9	27,70%	31,25%	33,80%	35,73%	37,24%	25,97%	30,21%	33,62%	36,43%	38,79%	25,55%	28,91%	31,45%	33,45%	35,05%	28,93%	33,96%	37,87%	40,98%	43,53%
30x12	30,34%	34,81%	38,12%	40,67%	42,70%	27,85%	32,81%	36,87%	40,25%	43,11%	26,84%	31,10%	34,40%	37,03%	39,18%	31,96%	37,63%	42,10%	45,73%	48,72%
30x15	31,47%	36,48%	40,28%	43,26%	45,65%	29,13%	34,52%	38,97%	42,71%	45,89%	28,03%	32,60%	36,20%	39,10%	41,50%	32,75%	39,28%	44,54%	48,86%	52,47%
30x18	31,78%	37,47%	41,86%	45,36%	48,21%	31,03%	36,69%	41,42%	45,43%	48,87%	28,72%	33,74%	37,74%	41,01%	43,72%	34,08%	40,78%	46,23%	50,76%	54,57%
30x21	32,46%	38,32%	42,90%	46,58%	49,61%	30,68%	36,61%	41,60%	45,86%	49,54%	29,14%	34,40%	38,64%	42,14%	45,07%	33,92%	40,98%	46,79%	51,66%	55,79%
30x24	32,42%	38,41%	43,14%	46,97%	50,13%	30,60%	36,70%	41,86%	46,29%	50,14%	29,65%	35,08%	39,50%	43,18%	46,27%	34,19%	41,72%	47,99%	53,30%	57,84%
30x27	32,50%	39,17%	44,51%	48,87%	52,51%	31,44%	37,67%	42,99%	47,59%	51,61%	29,50%	35,19%	39,87%	43,79%	47,11%	34,57%	42,12%	48,44%	53,81%	58,43%
30x30	32,17%	38,89%	44,34%	48,84%	52,62%	30,17%	36,68%	42,29%	47,17%	51,45%	29,17%	34,92%	39,68%	43,68%	47,10%	33,93%	41,79%	48,43%	54,12%	59,06%
40x3	18,75%	19,42%	19,86%	20,16%	20,38%	14,27%	16,29%	17,86%	19,12%	20,15%	15,61%	17,02%	18,02%	18,77%	19,34%	17,17%	19,07%	20,44%	21,47%	22,28%
40x6	29,57%	32,04%	33,73%	34,96%	35,90%	24,73%	28,18%	30,89%	33,06%	34,85%	25,03%	27,59%	29,45%	30,87%	31,99%	27,96%	31,66%	34,40%	36,51%	38,20%
40x9	34,81%	38,53%	41,16%	43,13%	44,65%	30,43%	34,91%	38,46%	41,34%	43,72%	31,49%	35,02%	37,65%	39,69%	41,31%	34,34%	39,20%	42,87%	45,76%	48,08%
40x12	37,52%	42,22%	45,64%	48,25%	50,31%	33,93%	39,05%	43,15%	46,50%	49,31%	33,46%	37,77%	41,04%	43,61%	45,69%	37,54%	43,43%	47,99%	51,62%	54,59%
40x15	38,33%	43,74%	47,76%	50,87%	53,34%	35,60%	41,40%	46,10%	49,98%	53,24%	35,57%	40,53%	44,36%	47,41%	49,89%	39,65%	46,34%	51,60%	55,85%	59,36%
40x18	40,33%	46,41%	51,01%	54,62%	57,52%	37,78%	44,09%	49,24%	53,54%	57,17%	37,51%	43,02%	47,33%	50,79%	53,63%	41,30%	48,55%	54,33%	59,04%	62,96%
40x21	41,16%	47,69%	52,70%	56,68%	59,90%	38,11%	44,94%	50,58%	55,31%	59,33%	38,16%	44,15%	48,90%	52,75%	55,93%	41,66%	49,24%	55,33%	60,35%	64,54%
40x24	40,22%	47,14%	52,50%	56,79%	60,29%	38,80%	45,49%	51,06%	55,76%	59,78%	37,65%	43,86%	48,82%	52,87%	56,23%	42,47%	50,41%	56,87%	62,23%	66,75%
40x27	41,50%	49,04%	54,97%	59,75%	63,70%	39,94%	47,23%	53,34%	58,53%	63,00%	39,22%	45,79%	51,09%	55,45%	59,11%	43,07%	51,40%	58,24%	63,96%	68,82%
40x30	41,84%	49,16%	54,96%	59,65%	63,53%	39,72%	47,31%	53,70%	59,17%	63,90%	38,58%	45,02%	50,24%	54,55%	58,18%	42,51%	51,20%	58,39%	64,43%	69,57%

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO das heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i> variando o α																			
	SPT					LPT					TRIANGULAR					TRIANGULAR INVERTIDA				
	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$
50x3	20,97%	21,35%	21,60%	21,77%	21,90%	16,47%	18,57%	20,19%	21,49%	22,54%	17,33%	18,85%	19,92%	20,71%	21,32%	19,32%	21,10%	22,37%	23,31%	24,04%
50x6	32,79%	35,05%	36,57%	37,67%	38,49%	28,34%	31,94%	34,73%	36,96%	38,78%	29,52%	32,47%	34,61%	36,22%	37,49%	32,07%	35,41%	37,84%	39,69%	41,15%
50x9	39,78%	43,21%	45,61%	47,38%	48,74%	35,13%	39,81%	43,47%	46,40%	48,81%	36,11%	39,84%	42,58%	44,69%	46,36%	38,58%	43,64%	47,43%	50,37%	52,73%
50x12	42,78%	47,32%	50,58%	53,03%	54,95%	38,87%	44,28%	48,57%	52,04%	54,91%	39,19%	43,70%	47,09%	49,71%	51,82%	42,89%	48,80%	53,31%	56,87%	59,74%
50x15	45,60%	50,98%	54,92%	57,94%	60,33%	41,63%	47,86%	52,84%	56,90%	60,28%	42,23%	47,67%	51,81%	55,07%	57,70%	46,09%	52,83%	58,05%	62,21%	65,60%
50x18	46,75%	52,69%	57,11%	60,52%	63,23%	43,63%	50,44%	55,92%	60,44%	64,23%	43,27%	48,89%	53,22%	56,65%	59,44%	46,71%	53,99%	59,68%	64,26%	68,03%
50x21	47,66%	53,97%	58,72%	62,43%	65,40%	44,80%	51,93%	57,72%	62,52%	66,56%	44,15%	50,49%	55,44%	59,40%	62,65%	48,49%	56,27%	62,43%	67,42%	71,54%
50x24	48,82%	55,81%	61,14%	65,34%	68,74%	45,78%	53,32%	59,49%	64,63%	68,99%	45,63%	52,35%	57,64%	61,91%	65,43%	49,43%	57,71%	64,31%	69,71%	74,19%
50x27	48,98%	56,51%	62,32%	66,96%	70,74%	46,23%	54,05%	60,49%	65,89%	70,47%	45,89%	53,11%	58,85%	63,52%	67,40%	50,19%	58,74%	65,61%	71,27%	76,00%
50x30	49,74%	57,78%	64,05%	69,09%	73,22%	47,55%	55,94%	62,91%	68,79%	73,82%	46,91%	54,45%	60,49%	65,44%	69,56%	51,14%	60,16%	67,47%	73,53%	78,63%
60x3	22,29%	22,45%	22,55%	22,63%	22,69%	17,29%	19,26%	20,76%	21,95%	22,92%	18,69%	19,80%	20,58%	21,15%	21,59%	19,64%	21,40%	22,65%	23,58%	24,29%
60x6	36,38%	38,54%	39,99%	41,02%	41,80%	31,49%	35,06%	37,80%	39,97%	41,74%	32,49%	35,15%	37,05%	38,48%	39,59%	35,11%	38,75%	41,40%	43,42%	45,00%
60x9	43,08%	46,62%	49,09%	50,90%	52,29%	39,00%	43,84%	47,60%	50,60%	53,05%	38,46%	42,15%	44,85%	46,91%	48,54%	42,48%	47,39%	51,03%	53,83%	56,06%
60x12	48,26%	52,74%	55,91%	58,29%	60,13%	43,79%	49,43%	53,83%	57,36%	60,26%	44,98%	49,75%	53,30%	56,04%	58,21%	47,39%	53,22%	57,60%	61,02%	63,76%
60x15	50,81%	56,09%	59,92%	62,82%	65,09%	46,99%	53,34%	58,36%	62,42%	65,77%	47,11%	52,60%	56,73%	59,96%	62,55%	50,61%	57,39%	62,58%	66,67%	69,98%
60x18	53,46%	59,70%	64,29%	67,82%	70,61%	49,54%	56,52%	62,06%	66,58%	70,33%	49,25%	55,18%	59,70%	63,26%	66,14%	53,31%	60,77%	66,54%	71,13%	74,87%
60x21	53,85%	60,66%	65,75%	69,69%	72,83%	50,92%	58,19%	64,01%	68,77%	72,75%	51,07%	57,64%	62,70%	66,72%	69,98%	54,17%	62,07%	68,23%	73,17%	77,22%
60x24	54,82%	62,18%	67,74%	72,07%	75,56%	52,06%	59,84%	66,11%	71,27%	75,60%	51,85%	58,69%	64,01%	68,26%	71,73%	55,38%	63,84%	70,52%	75,91%	80,37%
60x27	55,49%	63,37%	69,38%	74,13%	77,97%	52,56%	60,99%	67,86%	73,56%	78,37%	52,80%	60,11%	65,84%	70,45%	74,24%	55,63%	64,78%	72,05%	77,98%	82,90%
60x30	56,92%	65,09%	71,37%	76,35%	80,41%	53,10%	61,78%	68,88%	74,80%	79,81%	53,51%	61,14%	67,15%	72,01%	76,03%	56,98%	66,40%	73,95%	80,14%	85,30%

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO das heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i> variando o α																			
	SPT					LPT					TRIANGULAR					TRIANGULAR INVERTIDA				
	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$
70x3	24,47%	24,46%	24,46%	24,47%	24,48%	18,63%	20,85%	22,55%	23,90%	24,99%	20,64%	22,04%	23,02%	23,75%	24,30%	21,61%	23,33%	24,54%	25,43%	26,13%
70x6	38,79%	40,46%	41,57%	42,36%	42,95%	32,57%	36,17%	38,93%	41,10%	42,85%	34,34%	36,94%	38,78%	40,16%	41,24%	36,37%	39,63%	41,97%	43,74%	45,13%
70x9	46,87%	49,85%	51,90%	53,40%	54,54%	41,35%	46,25%	50,02%	53,00%	55,43%	42,57%	46,33%	49,06%	51,12%	52,75%	45,22%	50,09%	53,67%	56,41%	58,57%
70x12	51,27%	55,58%	58,61%	60,87%	62,61%	46,67%	52,31%	56,68%	60,16%	63,00%	47,62%	52,41%	55,94%	58,64%	60,79%	50,69%	56,26%	60,41%	63,63%	66,20%
70x15	54,95%	60,39%	64,31%	67,27%	69,59%	49,81%	56,39%	61,54%	65,68%	69,08%	51,33%	56,91%	61,08%	64,32%	66,90%	54,70%	61,46%	66,57%	70,58%	73,80%
70x18	58,96%	65,17%	69,69%	73,15%	75,86%	54,14%	61,33%	67,00%	71,59%	75,37%	54,63%	60,71%	65,29%	68,87%	71,74%	57,77%	65,15%	70,78%	75,22%	78,82%
70x21	59,92%	66,87%	72,00%	75,96%	79,10%	56,25%	63,98%	70,12%	75,12%	79,26%	55,75%	62,55%	67,73%	71,81%	75,11%	59,74%	67,86%	74,13%	79,13%	83,21%
70x24	61,22%	68,50%	73,93%	78,15%	81,52%	57,61%	65,85%	72,44%	77,84%	82,33%	57,15%	64,62%	70,37%	74,94%	78,66%	61,36%	69,90%	76,56%	81,90%	86,27%
70x27	61,99%	70,12%	76,26%	81,07%	84,94%	59,31%	67,84%	74,70%	80,33%	85,05%	59,72%	67,45%	73,46%	78,25%	82,17%	62,65%	71,73%	78,87%	84,62%	89,37%
70x30	63,39%	71,76%	78,13%	83,15%	87,20%	60,18%	69,14%	76,37%	82,34%	87,35%	59,45%	67,59%	73,96%	79,08%	83,29%	63,72%	73,31%	80,91%	87,08%	92,18%
80x3	25,71%	25,66%	25,63%	25,62%	25,61%	19,07%	21,20%	22,83%	24,12%	25,16%	21,28%	22,50%	23,35%	23,98%	24,46%	21,63%	23,29%	24,46%	25,32%	25,98%
80x6	41,03%	42,30%	43,14%	43,74%	44,18%	33,54%	37,25%	40,07%	42,28%	44,06%	35,86%	38,43%	40,25%	41,61%	42,66%	37,88%	41,19%	43,57%	45,36%	46,75%
80x9	49,42%	52,49%	54,58%	56,11%	57,27%	42,91%	47,75%	51,45%	54,37%	56,72%	44,99%	48,73%	51,42%	53,45%	55,03%	46,87%	51,42%	54,73%	57,26%	59,24%
80x12	56,02%	60,25%	63,22%	65,41%	67,11%	49,21%	55,01%	59,47%	63,02%	65,89%	51,55%	56,27%	59,72%	62,36%	64,45%	53,30%	59,05%	63,31%	66,59%	69,19%
80x15	58,75%	63,88%	67,54%	70,28%	72,41%	53,57%	60,14%	65,24%	69,30%	72,62%	55,36%	60,95%	65,10%	68,30%	70,85%	58,37%	64,74%	69,50%	73,20%	76,16%
80x18	62,30%	68,36%	72,74%	76,06%	78,67%	57,63%	64,86%	70,50%	75,03%	78,74%	58,93%	65,30%	70,06%	73,77%	76,73%	61,58%	68,91%	74,47%	78,82%	82,33%
80x21	64,97%	71,52%	76,31%	79,97%	82,85%	60,02%	67,78%	73,89%	78,82%	82,88%	61,82%	68,89%	74,25%	78,45%	81,83%	64,61%	72,65%	78,80%	83,65%	87,58%
80x24	66,70%	74,13%	79,63%	83,87%	87,23%	62,37%	70,87%	77,61%	83,09%	87,62%	63,55%	70,81%	76,33%	80,68%	84,19%	66,16%	74,96%	81,76%	87,19%	91,61%
80x27	68,34%	76,25%	82,16%	86,75%	90,42%	63,91%	72,95%	80,16%	86,05%	90,94%	63,77%	71,78%	77,94%	82,83%	86,81%	67,60%	76,89%	84,12%	89,91%	94,66%
80x30	69,61%	78,09%	84,50%	89,52%	93,54%	64,45%	73,95%	81,58%	87,84%	93,07%	66,21%	74,56%	81,02%	86,19%	90,40%	68,75%	78,72%	86,55%	92,86%	98,05%

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO das heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i> variando o α																			
	SPT					LPT					TRIANGULAR					TRIANGULAR INVERTIDA				
	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$
90x3	26,50%	26,19%	26,02%	25,90%	25,82%	19,80%	21,94%	23,57%	24,86%	25,89%	21,98%	23,10%	23,87%	24,44%	24,87%	22,82%	24,40%	25,50%	26,32%	26,94%
90x6	43,23%	44,64%	45,57%	46,23%	46,72%	35,71%	39,26%	41,95%	44,04%	45,73%	38,21%	40,84%	42,69%	44,07%	45,14%	39,77%	43,01%	45,33%	47,06%	48,41%
90x9	51,87%	54,62%	56,49%	57,84%	58,86%	45,67%	50,46%	54,10%	56,96%	59,26%	47,02%	50,82%	53,54%	55,60%	57,20%	49,24%	53,67%	56,88%	59,32%	61,23%
90x12	59,10%	63,04%	65,78%	67,80%	69,35%	52,56%	58,47%	63,00%	66,59%	69,49%	53,99%	58,84%	62,38%	65,07%	67,19%	56,82%	62,41%	66,52%	69,68%	72,17%
90x15	63,70%	68,51%	71,92%	74,46%	76,42%	56,86%	63,44%	68,50%	72,51%	75,77%	58,46%	63,79%	67,71%	70,71%	73,09%	61,90%	68,49%	73,40%	77,21%	80,24%
90x18	67,06%	72,93%	77,15%	80,33%	82,81%	61,41%	68,93%	74,77%	79,43%	83,25%	62,46%	68,78%	73,49%	77,14%	80,05%	65,25%	72,54%	78,02%	82,29%	85,71%
90x21	69,00%	75,63%	80,46%	84,13%	87,01%	64,20%	72,14%	78,33%	83,29%	87,37%	65,51%	72,54%	77,82%	81,94%	85,24%	68,10%	76,00%	82,00%	86,71%	90,50%
90x24	71,52%	78,91%	84,34%	88,51%	91,81%	66,73%	75,29%	82,01%	87,44%	91,91%	67,38%	74,82%	80,46%	84,88%	88,43%	70,28%	78,87%	85,44%	90,64%	94,85%
90x27	72,48%	80,35%	86,18%	90,68%	94,25%	68,05%	76,97%	84,03%	89,75%	94,48%	68,45%	76,57%	82,76%	87,65%	91,60%	72,29%	81,82%	89,19%	95,06%	99,85%
90x30	73,79%	82,46%	88,96%	94,03%	98,08%	70,45%	79,87%	87,36%	93,47%	98,54%	70,54%	79,12%	85,72%	90,95%	95,21%	73,69%	83,50%	91,13%	97,25%	102,25%
100x3	28,15%	27,68%	27,41%	27,22%	27,09%	20,28%	22,46%	24,12%	25,42%	26,48%	22,21%	23,32%	24,09%	24,65%	25,07%	23,34%	24,91%	25,99%	26,79%	27,41%
100x6	44,32%	45,59%	46,42%	47,01%	47,44%	37,46%	41,12%	43,89%	46,05%	47,79%	39,09%	41,67%	43,49%	44,84%	45,88%	40,76%	43,80%	45,96%	47,57%	48,82%
100x9	54,41%	57,05%	58,84%	60,13%	61,10%	47,77%	52,56%	56,18%	59,02%	61,30%	50,70%	54,35%	56,95%	58,90%	60,42%	52,17%	56,63%	59,85%	62,29%	64,19%
100x12	61,89%	65,77%	68,47%	70,44%	71,95%	54,85%	60,77%	65,28%	68,83%	71,70%	56,69%	61,37%	64,76%	67,34%	69,36%	59,47%	64,90%	68,88%	71,92%	74,31%
100x15	66,85%	71,67%	75,06%	77,58%	79,52%	60,53%	67,47%	72,79%	77,01%	80,43%	61,45%	67,00%	71,07%	74,18%	76,64%	64,84%	71,15%	75,81%	79,40%	82,24%
100x18	70,57%	76,42%	80,59%	83,73%	86,16%	64,50%	72,04%	77,87%	82,49%	86,26%	66,48%	72,68%	77,26%	80,79%	83,59%	68,64%	75,91%	81,34%	85,55%	88,92%
100x21	73,08%	79,72%	84,52%	88,15%	91,00%	67,89%	76,08%	82,44%	87,54%	91,70%	69,86%	76,91%	82,18%	86,28%	89,54%	72,12%	80,27%	86,41%	91,20%	95,05%
100x24	75,63%	83,01%	88,40%	92,52%	95,77%	69,92%	78,50%	85,20%	90,59%	95,01%	71,43%	79,01%	84,72%	89,18%	92,75%	73,94%	82,68%	89,34%	94,58%	98,82%
100x27	77,39%	85,20%	90,96%	95,39%	98,89%	72,08%	81,07%	88,12%	93,80%	98,48%	73,19%	81,34%	87,52%	92,37%	96,28%	76,33%	85,53%	92,57%	98,15%	102,66%
100x30	78,86%	87,24%	93,47%	98,29%	102,13%	73,69%	83,34%	90,97%	97,15%	102,26%	74,75%	83,49%	90,18%	95,47%	99,75%	78,20%	87,90%	95,38%	101,33%	106,17%

APÊNDICE B – Tabela de dados da porcentagem de piora da FO para os parâmetros 0, 0.25, 0.5, 0.75 e 1 nas heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular invertida ao aplicar a restrição *no-wait*

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO em $\alpha = 0, 0,25, 0,5, 0,75$ e 1 nas heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i>																			
	$\alpha = 0$				$\alpha = 0,25$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,75$				$\alpha = 1$			
	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV
10x3	6,06%	5,36%	4,01%	8,00%	7,23%	6,36%	4,60%	10,66%	8,04%	7,19%	5,04%	12,79%	8,64%	7,90%	5,39%	14,54%	9,11%	8,51%	5,67%	15,99%
10x6	8,45%	8,02%	6,42%	11,32%	10,68%	9,91%	7,61%	14,91%	12,36%	11,54%	8,56%	17,91%	13,67%	12,95%	9,34%	20,45%	14,73%	14,18%	9,99%	22,64%
10x9	9,24%	8,92%	7,23%	12,16%	11,75%	11,15%	8,70%	16,25%	13,73%	13,10%	9,91%	19,73%	15,33%	14,83%	10,92%	22,74%	16,65%	16,36%	11,78%	25,36%
10x12	9,32%	8,86%	7,36%	12,82%	11,93%	11,38%	9,26%	17,23%	14,03%	13,62%	10,85%	21,06%	15,76%	15,62%	12,20%	24,42%	17,21%	17,42%	13,37%	27,40%
10x15	8,90%	8,77%	6,97%	12,42%	11,70%	11,19%	8,74%	16,76%	14,01%	13,36%	10,25%	20,58%	15,96%	15,32%	11,55%	23,97%	17,62%	17,10%	12,67%	26,99%
10x18	9,10%	8,29%	7,14%	11,95%	11,81%	10,87%	9,03%	16,30%	14,08%	13,21%	10,66%	20,16%	16,01%	15,34%	12,08%	23,60%	17,67%	17,28%	13,33%	26,70%
10x21	8,89%	8,71%	7,03%	12,21%	11,63%	11,31%	8,73%	16,76%	13,95%	13,68%	10,20%	20,84%	15,94%	15,86%	11,49%	24,51%	17,66%	17,85%	12,64%	27,84%
10x24	8,98%	8,61%	7,11%	11,37%	11,81%	11,11%	8,92%	15,59%	14,23%	13,40%	10,50%	19,39%	16,33%	15,50%	11,91%	22,83%	18,17%	17,44%	13,16%	25,96%
10x27	8,16%	8,15%	6,65%	11,39%	11,00%	10,61%	8,50%	15,52%	13,44%	12,87%	10,14%	19,27%	15,57%	14,96%	11,59%	22,68%	17,45%	16,90%	12,89%	25,79%
10x30	8,07%	7,66%	6,06%	11,18%	10,61%	10,11%	7,76%	15,47%	12,81%	12,37%	9,28%	19,37%	14,74%	14,46%	10,63%	22,94%	16,44%	16,40%	11,84%	26,23%
20x3	12,82%	9,85%	9,52%	12,38%	13,96%	11,65%	10,67%	14,72%	14,72%	13,10%	11,50%	16,48%	15,25%	14,29%	12,14%	17,84%	15,66%	15,29%	12,63%	18,94%
20x6	18,26%	16,02%	14,76%	19,35%	20,87%	18,90%	17,20%	22,91%	22,73%	21,24%	19,05%	25,68%	24,12%	23,18%	20,51%	27,90%	25,20%	24,82%	21,68%	29,71%
20x9	20,33%	18,37%	17,36%	22,63%	23,69%	21,95%	20,42%	27,44%	26,18%	24,93%	22,80%	31,28%	28,10%	27,45%	24,71%	34,43%	29,63%	29,60%	26,28%	37,06%
20x12	20,90%	19,77%	18,15%	23,53%	24,83%	23,95%	21,59%	28,87%	27,82%	27,47%	24,33%	33,23%	30,18%	30,47%	26,55%	36,86%	32,08%	33,07%	28,40%	39,94%
20x15	20,05%	20,01%	18,62%	23,71%	24,72%	24,40%	22,44%	29,66%	28,37%	28,13%	25,53%	34,63%	31,32%	31,35%	28,09%	38,83%	33,74%	34,15%	30,24%	42,44%
20x18	21,05%	20,28%	19,16%	23,68%	25,80%	24,72%	22,91%	29,66%	29,58%	28,55%	25,98%	34,68%	32,65%	31,87%	28,55%	38,95%	35,21%	34,79%	30,73%	42,63%
20x21	21,24%	20,59%	19,04%	23,48%	26,02%	25,19%	22,98%	29,46%	29,88%	29,18%	26,24%	34,55%	33,05%	32,66%	28,99%	38,92%	35,71%	35,73%	31,34%	42,72%
20x24	21,20%	20,14%	18,76%	23,54%	26,05%	25,05%	22,85%	30,04%	29,99%	29,34%	26,27%	35,63%	33,25%	33,13%	29,18%	40,47%	36,01%	36,49%	31,68%	44,71%
20x27	20,88%	19,87%	18,25%	23,15%	25,99%	24,67%	22,31%	29,50%	30,19%	28,88%	25,73%	34,98%	33,71%	32,62%	28,65%	39,76%	36,70%	35,95%	31,17%	43,98%
20x30	21,38%	20,10%	18,47%	23,86%	26,66%	24,95%	22,68%	30,31%	31,03%	29,23%	26,26%	35,92%	34,73%	33,03%	29,33%	40,85%	37,88%	36,43%	32,00%	45,21%

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO em $\alpha = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ e 1 nas heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i>																			
	$\alpha = 0$				$\alpha = 0,25$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,75$				$\alpha = 1$			
	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV
30x3	15,37%	12,98%	13,34%	16,43%	16,32%	15,03%	14,95%	18,27%	16,93%	16,64%	16,09%	19,61%	17,37%	17,95%	16,95%	20,63%	17,69%	19,03%	17,62%	21,44%
30x6	25,04%	22,12%	21,70%	25,08%	27,64%	25,61%	24,29%	29,07%	29,44%	28,39%	26,21%	32,09%	30,76%	30,66%	27,69%	34,46%	31,77%	32,55%	28,87%	36,37%
30x9	27,70%	25,97%	25,55%	28,93%	31,25%	30,21%	28,91%	33,96%	33,80%	33,62%	31,45%	37,87%	35,73%	36,43%	33,45%	40,98%	37,24%	38,79%	35,05%	43,53%
30x12	30,34%	27,85%	26,84%	31,96%	34,81%	32,81%	31,10%	37,63%	38,12%	36,87%	34,40%	42,10%	40,67%	40,25%	37,03%	45,73%	42,70%	43,11%	39,18%	48,72%
30x15	31,47%	29,13%	28,03%	32,75%	36,48%	34,52%	32,60%	39,28%	40,28%	38,97%	36,20%	44,54%	43,26%	42,71%	39,10%	48,86%	45,65%	45,89%	41,50%	52,47%
30x18	31,78%	31,03%	28,72%	34,08%	37,47%	36,69%	33,74%	40,78%	41,86%	41,42%	37,74%	46,23%	45,36%	45,43%	41,01%	50,76%	48,21%	48,87%	43,72%	54,57%
30x21	32,46%	30,68%	29,14%	33,92%	38,32%	36,61%	34,40%	40,98%	42,90%	41,60%	38,64%	46,79%	46,58%	45,86%	42,14%	51,66%	49,61%	49,54%	45,07%	55,79%
30x24	32,42%	30,60%	29,65%	34,19%	38,41%	36,70%	35,08%	41,72%	43,14%	41,86%	39,50%	47,99%	46,97%	46,29%	43,18%	53,30%	50,13%	50,14%	46,27%	57,84%
30x27	32,50%	31,44%	29,50%	34,57%	39,17%	37,67%	35,19%	42,12%	44,51%	42,99%	39,87%	48,44%	48,87%	47,59%	43,79%	53,81%	52,51%	51,61%	47,11%	58,43%
30x30	32,17%	30,17%	29,17%	33,93%	38,89%	36,68%	34,92%	41,79%	44,34%	42,29%	39,68%	48,43%	48,84%	47,17%	43,68%	54,12%	52,62%	51,45%	47,10%	59,06%
40x3	18,75%	14,27%	15,61%	17,17%	19,42%	16,29%	17,02%	19,07%	19,86%	17,86%	18,02%	20,44%	20,16%	19,12%	18,77%	21,47%	20,38%	20,15%	19,34%	22,28%
40x6	29,57%	24,73%	25,03%	27,96%	32,04%	28,18%	27,59%	31,66%	33,73%	30,89%	29,45%	34,40%	34,96%	33,06%	30,87%	36,51%	35,90%	34,85%	31,99%	38,20%
40x9	34,81%	30,43%	31,49%	34,34%	38,53%	34,91%	35,02%	39,20%	41,16%	38,46%	37,65%	42,87%	43,13%	41,34%	39,69%	45,76%	44,65%	43,72%	41,31%	48,08%
40x12	37,52%	33,93%	33,46%	37,54%	42,22%	39,05%	37,77%	43,43%	45,64%	43,15%	41,04%	47,99%	48,25%	46,50%	43,61%	51,62%	50,31%	49,31%	45,69%	54,59%
40x15	38,33%	35,60%	35,57%	39,65%	43,74%	41,40%	40,53%	46,34%	47,76%	46,10%	44,36%	51,60%	50,87%	49,98%	47,41%	55,85%	53,34%	53,24%	49,89%	59,36%
40x18	40,33%	37,78%	37,51%	41,30%	46,41%	44,09%	43,02%	48,55%	51,01%	49,24%	47,33%	54,33%	54,62%	53,54%	50,79%	59,04%	57,52%	57,17%	53,63%	62,96%
40x21	41,16%	38,11%	38,16%	41,66%	47,69%	44,94%	44,15%	49,24%	52,70%	50,58%	48,90%	55,33%	56,68%	55,31%	52,75%	60,35%	59,90%	59,33%	55,93%	64,54%
40x24	40,22%	38,80%	37,65%	42,47%	47,14%	45,49%	43,86%	50,41%	52,50%	51,06%	48,82%	56,87%	56,79%	55,76%	52,87%	62,23%	60,29%	59,78%	56,23%	66,75%
40x27	41,50%	39,94%	39,22%	43,07%	49,04%	47,23%	45,79%	51,40%	54,97%	53,34%	51,09%	58,24%	59,75%	58,53%	55,45%	63,96%	63,70%	63,00%	59,11%	68,82%
40x30	41,84%	39,72%	38,58%	42,51%	49,16%	47,31%	45,02%	51,20%	54,96%	53,70%	50,24%	58,39%	59,65%	59,17%	54,55%	64,43%	63,53%	63,90%	58,18%	69,57%

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO em $\alpha = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ e 1 nas heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i>																			
	$\alpha = 0$				$\alpha = 0,25$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,75$				$\alpha = 1$			
	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV
50x3	20,97%	16,47%	17,33%	19,32%	21,35%	18,57%	18,85%	21,10%	21,60%	20,19%	19,92%	22,37%	21,77%	21,49%	20,71%	23,31%	21,90%	22,54%	21,32%	24,04%
50x6	32,79%	28,34%	29,52%	32,07%	35,05%	31,94%	32,47%	35,41%	36,57%	34,73%	34,61%	37,84%	37,67%	36,96%	36,22%	39,69%	38,49%	38,78%	37,49%	41,15%
50x9	39,78%	35,13%	36,11%	38,58%	43,21%	39,81%	39,84%	43,64%	45,61%	43,47%	42,58%	47,43%	47,38%	46,40%	44,69%	50,37%	48,74%	48,81%	46,36%	52,73%
50x12	42,78%	38,87%	39,19%	42,89%	47,32%	44,28%	43,70%	48,80%	50,58%	48,57%	47,09%	53,31%	53,03%	52,04%	49,71%	56,87%	54,95%	54,91%	51,82%	59,74%
50x15	45,60%	41,63%	42,23%	46,09%	50,98%	47,86%	47,67%	52,83%	54,92%	52,84%	51,81%	58,05%	57,94%	56,90%	55,07%	62,21%	60,33%	60,28%	57,70%	65,60%
50x18	46,75%	43,63%	43,27%	46,71%	52,69%	50,44%	48,89%	53,99%	57,11%	55,92%	53,22%	59,68%	60,52%	60,44%	56,65%	64,26%	63,23%	64,23%	59,44%	68,03%
50x21	47,66%	44,80%	44,15%	48,49%	53,97%	51,93%	50,49%	56,27%	58,72%	57,72%	55,44%	62,43%	62,43%	62,52%	59,40%	67,42%	65,40%	66,56%	62,65%	71,54%
50x24	48,82%	45,78%	45,63%	49,43%	55,81%	53,32%	52,35%	57,71%	61,14%	59,49%	57,64%	64,31%	65,34%	64,63%	61,91%	69,71%	68,74%	68,99%	65,43%	74,19%
50x27	48,98%	46,23%	45,89%	50,19%	56,51%	54,05%	53,11%	58,74%	62,32%	60,49%	58,85%	65,61%	66,96%	65,89%	63,52%	71,27%	70,74%	70,47%	67,40%	76,00%
50x30	49,74%	47,55%	46,91%	51,14%	57,78%	55,94%	54,45%	60,16%	64,05%	62,91%	60,49%	67,47%	69,09%	68,79%	65,44%	73,53%	73,22%	73,82%	69,56%	78,63%
60x3	22,29%	17,29%	18,69%	19,64%	22,45%	19,26%	19,80%	21,40%	22,55%	20,76%	20,58%	22,65%	22,63%	21,95%	21,15%	23,58%	22,69%	22,92%	21,59%	24,29%
60x6	36,38%	31,49%	32,49%	35,11%	38,54%	35,06%	35,15%	38,75%	39,99%	37,80%	37,05%	41,40%	41,02%	39,97%	38,48%	43,42%	41,80%	41,74%	39,59%	45,00%
60x9	43,08%	39,00%	38,46%	42,48%	46,62%	43,84%	42,15%	47,39%	49,09%	47,60%	44,85%	51,03%	50,90%	50,60%	46,91%	53,83%	52,29%	53,05%	48,54%	56,06%
60x12	48,26%	43,79%	44,98%	47,39%	52,74%	49,43%	49,75%	53,22%	55,91%	53,83%	53,30%	57,60%	58,29%	57,36%	56,04%	61,02%	60,13%	60,26%	58,21%	63,76%
60x15	50,81%	46,99%	47,11%	50,61%	56,09%	53,34%	52,60%	57,39%	59,92%	58,36%	56,73%	62,58%	62,82%	62,42%	59,96%	66,67%	65,09%	65,77%	62,55%	69,98%
60x18	53,46%	49,54%	49,25%	53,31%	59,70%	56,52%	55,18%	60,77%	64,29%	62,06%	59,70%	66,54%	67,82%	66,58%	63,26%	71,13%	70,61%	70,33%	66,14%	74,87%
60x21	53,85%	50,92%	51,07%	54,17%	60,66%	58,19%	57,64%	62,07%	65,75%	64,01%	62,70%	68,23%	69,69%	68,77%	66,72%	73,17%	72,83%	72,75%	69,98%	77,22%
60x24	54,82%	52,06%	51,85%	55,38%	62,18%	59,84%	58,69%	63,84%	67,74%	66,11%	64,01%	70,52%	72,07%	71,27%	68,26%	75,91%	75,56%	75,60%	71,73%	80,37%
60x27	55,49%	52,56%	52,80%	55,63%	63,37%	60,99%	60,11%	64,78%	69,38%	67,86%	65,84%	72,05%	74,13%	73,56%	70,45%	77,98%	77,97%	78,37%	74,24%	82,90%
60x30	56,92%	53,10%	53,51%	56,98%	65,09%	61,78%	61,14%	66,40%	71,37%	68,88%	67,15%	73,95%	76,35%	74,80%	72,01%	80,14%	80,41%	79,81%	76,03%	85,30%

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO em $\alpha = 0, 0.25, 0.5, 0.75$ e 1 nas heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i>																			
	$\alpha = 0$				$\alpha = 0,25$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,75$				$\alpha = 1$			
	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV
70x3	24,47%	18,63%	20,64%	21,61%	24,46%	20,85%	22,04%	23,33%	24,46%	22,55%	23,02%	24,54%	24,47%	23,90%	23,75%	25,43%	24,48%	24,99%	24,30%	26,13%
70x6	38,79%	32,57%	34,34%	36,37%	40,46%	36,17%	36,94%	39,63%	41,57%	38,93%	38,78%	41,97%	42,36%	41,10%	40,16%	43,74%	42,95%	42,85%	41,24%	45,13%
70x9	46,87%	41,35%	42,57%	45,22%	49,85%	46,25%	46,33%	50,09%	51,90%	50,02%	49,06%	53,67%	53,40%	53,00%	51,12%	56,41%	54,54%	55,43%	52,75%	58,57%
70x12	51,27%	46,67%	47,62%	50,69%	55,58%	52,31%	52,41%	56,26%	58,61%	56,68%	55,94%	60,41%	60,87%	60,16%	58,64%	63,63%	62,61%	63,00%	60,79%	66,20%
70x15	54,95%	49,81%	51,33%	54,70%	60,39%	56,39%	56,91%	61,46%	64,31%	61,54%	61,08%	66,57%	67,27%	65,68%	64,32%	70,58%	69,59%	69,08%	66,90%	73,80%
70x18	58,96%	54,14%	54,63%	57,77%	65,17%	61,33%	60,71%	65,15%	69,69%	67,00%	65,29%	70,78%	73,15%	71,59%	68,87%	75,22%	75,86%	75,37%	71,74%	78,82%
70x21	59,92%	56,25%	55,75%	59,74%	66,87%	63,98%	62,55%	67,86%	72,00%	70,12%	67,73%	74,13%	75,96%	75,12%	71,81%	79,13%	79,10%	79,26%	75,11%	83,21%
70x24	61,22%	57,61%	57,15%	61,36%	68,50%	65,85%	64,62%	69,90%	73,93%	72,44%	70,37%	76,56%	78,15%	77,84%	74,94%	81,90%	81,52%	82,33%	78,66%	86,27%
70x27	61,99%	59,31%	59,72%	62,65%	70,12%	67,84%	67,45%	71,73%	76,26%	74,70%	73,46%	78,87%	81,07%	80,33%	78,25%	84,62%	84,94%	85,05%	82,17%	89,37%
70x30	63,39%	60,18%	59,45%	63,72%	71,76%	69,14%	67,59%	73,31%	78,13%	76,37%	73,96%	80,91%	83,15%	82,34%	79,08%	87,08%	87,20%	87,35%	83,29%	92,18%
80x3	25,71%	19,07%	21,28%	21,63%	25,66%	21,20%	22,50%	23,29%	25,63%	22,83%	23,35%	24,46%	25,62%	24,12%	23,98%	25,32%	25,61%	25,16%	24,46%	25,98%
80x6	41,03%	33,54%	35,86%	37,88%	42,30%	37,25%	38,43%	41,19%	43,14%	40,07%	40,25%	43,57%	43,74%	42,28%	41,61%	45,36%	44,18%	44,06%	42,66%	46,75%
80x9	49,42%	42,91%	44,99%	46,87%	52,49%	47,75%	48,73%	51,42%	54,58%	51,45%	51,42%	54,73%	56,11%	54,37%	53,45%	57,26%	57,27%	56,72%	55,03%	59,24%
80x12	56,02%	49,21%	51,55%	53,30%	60,25%	55,01%	56,27%	59,05%	63,22%	59,47%	59,72%	63,31%	65,41%	63,02%	62,36%	66,59%	67,11%	65,89%	64,45%	69,19%
80x15	58,75%	53,57%	55,36%	58,37%	63,88%	60,14%	60,95%	64,74%	67,54%	65,24%	65,10%	69,50%	70,28%	69,30%	68,30%	73,20%	72,41%	72,62%	70,85%	76,16%
80x18	62,30%	57,63%	58,93%	61,58%	68,36%	64,86%	65,30%	68,91%	72,74%	70,50%	70,06%	74,47%	76,06%	75,03%	73,77%	78,82%	78,67%	78,74%	76,73%	82,33%
80x21	64,97%	60,02%	61,82%	64,61%	71,52%	67,78%	68,89%	72,65%	76,31%	73,89%	74,25%	78,80%	79,97%	78,82%	78,45%	83,65%	82,85%	82,88%	81,83%	87,58%
80x24	66,70%	62,37%	63,55%	66,16%	74,13%	70,87%	70,81%	74,96%	79,63%	77,61%	76,33%	81,76%	83,87%	83,09%	80,68%	87,19%	87,23%	87,62%	84,19%	91,61%
80x27	68,34%	63,91%	63,77%	67,60%	76,25%	72,95%	71,78%	76,89%	82,16%	80,16%	77,94%	84,12%	86,75%	86,05%	82,83%	89,91%	90,42%	90,94%	86,81%	94,66%
80x30	69,61%	64,45%	66,21%	68,75%	78,09%	73,95%	74,56%	78,72%	84,50%	81,58%	81,02%	86,55%	89,52%	87,84%	86,19%	92,86%	93,54%	93,07%	90,40%	98,05%

Classe (n x m)	Porcentagem de piora da FO em $\alpha = 0, 0,25, 0,5, 0,75$ e 1 nas heurísticas SPT, LPT, Triangular e Triangular Invertida com a restrição <i>no-wait</i> para classe <i>n x m</i>																			
	$\alpha = 0$				$\alpha = 0,25$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,75$				$\alpha = 1$			
	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV	SPT	LPT	TRI	TRI INV
90x3	26,50%	19,80%	21,98%	22,82%	26,19%	21,94%	23,10%	24,40%	26,02%	23,57%	23,87%	25,50%	25,90%	24,86%	24,44%	26,32%	25,82%	25,89%	24,87%	26,94%
90x6	43,23%	35,71%	38,21%	39,77%	44,64%	39,26%	40,84%	43,01%	45,57%	41,95%	42,69%	45,33%	46,23%	44,04%	44,07%	47,06%	46,72%	45,73%	45,14%	48,41%
90x9	51,87%	45,67%	47,02%	49,24%	54,62%	50,46%	50,82%	53,67%	56,49%	54,10%	53,54%	56,88%	57,84%	56,96%	55,60%	59,32%	58,86%	59,26%	57,20%	61,23%
90x12	59,10%	52,56%	53,99%	56,82%	63,04%	58,47%	58,84%	62,41%	65,78%	63,00%	62,38%	66,52%	67,80%	66,59%	65,07%	69,68%	69,35%	69,49%	67,19%	72,17%
90x15	63,70%	56,86%	58,46%	61,90%	68,51%	63,44%	63,79%	68,49%	71,92%	68,50%	67,71%	73,40%	74,46%	72,51%	70,71%	77,21%	76,42%	75,77%	73,09%	80,24%
90x18	67,06%	61,41%	62,46%	65,25%	72,93%	68,93%	68,78%	72,54%	77,15%	74,77%	73,49%	78,02%	80,33%	79,43%	77,14%	82,29%	82,81%	83,25%	80,05%	85,71%
90x21	69,00%	64,20%	65,51%	68,10%	75,63%	72,14%	72,54%	76,00%	80,46%	78,33%	77,82%	82,00%	84,13%	83,29%	81,94%	86,71%	87,01%	87,37%	85,24%	90,50%
90x24	71,52%	66,73%	67,38%	70,28%	78,91%	75,29%	74,82%	78,87%	84,34%	82,01%	80,46%	85,44%	88,51%	87,44%	84,88%	90,64%	91,81%	91,91%	88,43%	94,85%
90x27	72,48%	68,05%	68,45%	72,29%	80,35%	76,97%	76,57%	81,82%	86,18%	84,03%	82,76%	89,19%	90,68%	89,75%	87,65%	95,06%	94,25%	94,48%	91,60%	99,85%
90x30	73,79%	70,45%	70,54%	73,69%	82,46%	79,87%	79,12%	83,50%	88,96%	87,36%	85,72%	91,13%	94,03%	93,47%	90,95%	97,25%	98,08%	98,54%	95,21%	102,25%
100x3	28,15%	20,28%	22,21%	23,34%	27,68%	22,46%	23,32%	24,91%	27,41%	24,12%	24,09%	25,99%	27,22%	25,42%	24,65%	26,79%	27,09%	26,48%	25,07%	27,41%
100x6	44,32%	37,46%	39,09%	40,76%	45,59%	41,12%	41,67%	43,80%	46,42%	43,89%	43,49%	45,96%	47,01%	46,05%	44,84%	47,57%	47,44%	47,79%	45,88%	48,82%
100x9	54,41%	47,77%	50,70%	52,17%	57,05%	52,56%	54,35%	56,63%	58,84%	56,18%	56,95%	59,85%	60,13%	59,02%	58,90%	62,29%	61,10%	61,30%	60,42%	64,19%
100x12	61,89%	54,85%	56,69%	59,47%	65,77%	60,77%	61,37%	64,90%	68,47%	65,28%	64,76%	68,88%	70,44%	68,83%	67,34%	71,92%	71,95%	71,70%	69,36%	74,31%
100x15	66,85%	60,53%	61,45%	64,84%	71,67%	67,47%	67,00%	71,15%	75,06%	72,79%	71,07%	75,81%	77,58%	77,01%	74,18%	79,40%	79,52%	80,43%	76,64%	82,24%
100x18	70,57%	64,50%	66,48%	68,64%	76,42%	72,04%	72,68%	75,91%	80,59%	77,87%	77,26%	81,34%	83,73%	82,49%	80,79%	85,55%	86,16%	86,26%	83,59%	88,92%
100x21	73,08%	67,89%	69,86%	72,12%	79,72%	76,08%	76,91%	80,27%	84,52%	82,44%	82,18%	86,41%	88,15%	87,54%	86,28%	91,20%	91,00%	91,70%	89,54%	95,05%
100x24	75,63%	69,92%	71,43%	73,94%	83,01%	78,50%	79,01%	82,68%	88,40%	85,20%	84,72%	89,34%	92,52%	90,59%	89,18%	94,58%	95,77%	95,01%	92,75%	98,82%
100x27	77,39%	72,08%	73,19%	76,33%	85,20%	81,07%	81,34%	85,53%	90,96%	88,12%	87,52%	92,57%	95,39%	93,80%	92,37%	98,15%	98,89%	98,48%	96,28%	102,66%
100x30	78,86%	73,69%	74,75%	78,20%	87,24%	83,34%	83,49%	87,90%	93,47%	90,97%	90,18%	95,38%	98,29%	97,15%	95,47%	101,33%	102,13%	102,26%	99,75%	106,17%

APÊNDICE C – Tabela de dados da porcentagem da média de piora da FO ao aplicar a restrição *no-wait* para n tarefas e m máquinas

Tarefa (n)	Porcentagem da média de piora da FO com a restrição <i>no-wait</i> para n tarefas																			
	SPT					LPT					TRIANGULAR					TRIANGULAR INVERTIDA				
	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$
10	8,52%	11,01%	13,07%	14,79%	16,27%	8,13%	10,40%	12,44%	14,27%	15,94%	6,60%	8,19%	9,54%	10,71%	11,73%	11,48%	15,54%	19,11%	22,27%	25,09%
20	19,81%	23,86%	27,05%	29,64%	31,78%	18,50%	22,54%	26,01%	29,00%	31,63%	17,21%	20,60%	23,37%	25,67%	27,62%	21,93%	27,26%	31,71%	35,48%	38,73%
30	29,12%	33,88%	37,53%	40,44%	42,81%	27,20%	32,25%	36,46%	40,03%	43,10%	26,16%	30,52%	33,98%	36,80%	39,15%	30,58%	36,56%	41,41%	45,43%	48,82%
40	36,40%	41,54%	45,43%	48,49%	50,95%	33,33%	38,89%	43,44%	47,23%	50,45%	33,23%	37,98%	41,69%	44,68%	47,13%	36,77%	43,05%	48,05%	52,12%	55,51%
50	42,39%	47,47%	51,26%	54,21%	56,57%	38,84%	44,81%	49,63%	53,61%	56,94%	39,02%	44,18%	48,16%	51,33%	53,92%	42,49%	48,86%	53,85%	57,86%	61,17%
60	47,54%	52,74%	56,60%	59,57%	61,94%	43,67%	49,82%	54,73%	58,73%	62,06%	44,02%	49,22%	53,19%	56,32%	58,86%	47,07%	53,60%	58,66%	62,69%	65,98%
70	52,18%	57,31%	61,09%	63,98%	66,28%	47,65%	54,01%	59,03%	63,10%	66,47%	48,32%	53,76%	57,87%	61,09%	63,69%	51,38%	57,87%	62,84%	66,77%	69,97%
80	56,28%	61,29%	64,95%	67,73%	69,93%	50,67%	57,18%	62,28%	66,39%	69,77%	52,33%	57,82%	61,95%	65,16%	67,74%	54,68%	61,18%	66,13%	70,02%	73,16%
90	59,82%	64,73%	68,29%	70,99%	73,11%	54,14%	60,68%	65,76%	69,83%	73,17%	55,40%	60,92%	65,04%	68,24%	70,80%	58,02%	64,47%	69,34%	73,15%	76,22%
100	63,12%	67,93%	71,41%	74,04%	76,11%	56,90%	63,54%	68,69%	72,79%	76,14%	58,59%	64,11%	68,22%	71,40%	73,93%	60,98%	67,37%	72,15%	75,88%	78,86%
Máquina (m)	Porcentagem da média de piora da FO com a restrição <i>no-wait</i> para m máquinas																			
	SPT					LPT					TRIANGULAR					TRIANGULAR INVERTIDA				
	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$	$\alpha=0$	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,75$	$\alpha=1$
3	20,11%	20,47%	20,72%	20,90%	21,04%	15,40%	17,36%	18,88%	20,10%	21,10%	16,46%	17,68%	18,55%	19,19%	19,69%	18,23%	20,12%	21,48%	22,52%	23,34%
6	31,79%	33,78%	35,15%	36,15%	36,92%	27,00%	30,34%	32,94%	35,03%	36,74%	27,74%	30,22%	32,02%	33,38%	34,45%	30,57%	34,03%	36,61%	38,62%	40,22%
9	37,75%	40,91%	43,14%	44,80%	46,10%	33,55%	37,89%	41,29%	44,04%	46,30%	34,15%	37,53%	40,02%	41,94%	43,47%	37,26%	41,97%	45,53%	48,34%	50,61%
12	41,74%	45,85%	48,82%	51,07%	52,84%	37,64%	42,75%	46,79%	50,08%	52,82%	37,98%	42,21%	45,38%	47,86%	49,84%	41,64%	47,18%	51,44%	54,83%	57,60%
15	43,94%	48,82%	52,41%	55,17%	57,37%	40,29%	46,01%	50,58%	54,32%	57,43%	40,51%	45,32%	48,98%	51,87%	54,20%	44,50%	50,81%	55,73%	59,68%	62,93%
18	46,14%	51,68%	55,81%	59,02%	61,59%	42,82%	49,05%	54,05%	58,17%	61,63%	42,76%	48,02%	52,07%	55,29%	57,91%	46,43%	53,26%	58,62%	62,96%	66,55%
21	47,22%	53,20%	57,72%	61,26%	64,11%	44,21%	50,81%	56,15%	60,57%	64,30%	44,15%	49,93%	54,41%	58,00%	60,93%	47,85%	55,16%	60,95%	65,67%	69,60%
24	48,15%	54,59%	59,50%	63,38%	66,52%	45,26%	52,20%	57,85%	62,55%	66,53%	45,01%	51,10%	55,86%	59,70%	62,85%	48,81%	56,57%	62,78%	67,88%	72,14%
27	48,77%	55,70%	61,04%	65,29%	68,76%	46,15%	53,40%	59,34%	64,31%	68,52%	45,74%	52,22%	57,32%	61,46%	64,88%	49,69%	57,80%	64,33%	69,72%	74,25%
30	49,58%	56,77%	62,36%	66,84%	70,51%	46,71%	54,31%	60,57%	65,82%	70,30%	46,36%	53,07%	58,40%	62,73%	66,34%	50,40%	58,88%	65,75%	71,45%	76,26%