



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia de Produção



Trabalho de Conclusão de Curso

SEQUENCIAMENTO DE CAMINHÕES EM UM CENTRO DE *CROSSDOCKING* COM ATRASO NA CHEGADA DE CAMINHÕES

Laura Rodrigues Januzi

**João Monlevade, MG
2020**

Laura Rodrigues Januzi

**SEQUENCIAMENTO DE CAMINHÕES EM UM
CENTRO DE *CROSSDOCKING* COM ATRASO NA
CHEGADA DE CAMINHÕES**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof^ª. M.a Gabriela Braga Fonseca

Coorientador: Prof^ª. D.ra Mônica do Amaral

**Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade
2020**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

J354s Januzi, Laura Rodrigues .
Sequenciamento de caminhões em um centro de crossdocking com
atraso na chegada de caminhões. [manuscrito] / Laura Rodrigues Januzi. -
2020.
42 f.

Orientadora: Profa. Ma. Gabriela Braga Fonseca.
Coorientadora: Profa. Dra. Mônica Amaral.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de
Produção .

1. Caminhões - Rotas. 2. Distribuição de mercadorias. 3. Engenharia
de produção. 4. Logística . 5. Pesquisa Operacional. I. Amaral, Mônica. II.
Fonseca, Gabriela Braga. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV.
Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ICEA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Laura Rodrigues Januzi

Sequenciamento de caminhões em um centro de crossdocking com atraso na chegada dos caminhões

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em 23 de Dezembro de 2020

Membros da banca

MSc. Gabriela Braga Fonseca - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Mônica do Amaral Co-orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva - Universidade Federal de Ouro Preto
Bacharel em Engenharia de Produção Eduardo Sanches da Silva Filho - Universidade Federal de Ouro Preto

Mônica do Amaral, co-orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 07/01/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Monica do Amaral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/01/2021, às 18:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0121603** e o código CRC **22944BF0**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.000161/2021-23

SEI nº 0121603

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

Resumo

Diante do crescimento do *e-commerce* e dos problemas na cadeia logística o uso de centros de *crossdocking* é uma alternativa viável. Nesse trabalho tematiza-se o *crossdocking*, tendo por base o modelo matemático proposto no artigo *O Problema de Sequenciamento de Caminhões em um Centro de Crossdocking com Duas Maquinas*. Objetiva-se criar um novo modelo que seja capaz de incorporar incerteza no tempo de entrada de *jobs* em um centro de distribuição do tipo *crossdocking* com a finalidade de adequar e aproximar o modelo à realidade operacional desses centros. Para tanto, aponta-se os objetivos e justifica-se os passos que se adotam no desenvolvimento da pesquisa. Em seguida, expõe-se a metodologia de pesquisa para conferir clareza e segurança para os passos seguintes. No terceiro passo do trabalho, elucidam-se os conceitos de sequenciamento, *crossdocking* e custos logísticos. No passo seguinte, apresenta-se a fundamentação teórica do artigo e tematiza-se o banco de dados. Em seguida, o problema de sequenciamento é reformulado acrescentando-se incerteza no tempo de chegada dos caminhões e é realizado um teste de robustez de uma instância aleatória. No sexto passo, analisam-se os resultados. Por fim, conclui-se o trabalho afirmando a pertinência da abordagem proposta para o problema de sequenciamento de caminhões em um centro de *crossdocking* com duas máquinas.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, *Crossdocking*, *Flow shop*, Sequenciamento de caminhões.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Processo de Modelagem. Fonte: Morabito e Pureza (2010)	4
Figura 2 – Centro de <i>crossdocking</i> . Fonte: Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017)	17
Figura 3 – Resumo das Instâncias Geradas. Fonte: Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) .	20
Figura 4 – Tempo de Processamento dos <i>Jobs</i> . Fonte: O autor	23
Figura 5 – Precedência dos <i>Jobs</i> . Fonte: O autor	23
Figura 6 – Sequenciamento dos <i>Jobs</i> sem atraso. Fonte: O autor	23
Figura 7 – Sequenciamento dos <i>Jobs</i> com pequeno atraso. Fonte: O autor	23
Figura 8 – Sequenciamento dos <i>Jobs</i> com atraso considerável. Fonte: O autor	23
Figura 9 – Precedência. Fonte: O autor	25
Figura 10 – Tempo 4. Fonte: O autor	25
Figura 11 – Tempo 8. Fonte: O autor	26
Figura 12 – Tempo 12. Fonte: O autor	26
Figura 13 – Tempo 15. Fonte: O autor	27
Figura 14 – Tempo 16. Fonte: O autor	28
Figura 15 – Tempo 18. Fonte: O autor	28
Figura 16 – Tempo 20. Fonte: O autor	28
Figura 17 – Tempo 21. Fonte: O autor	29
Figura 18 – Instância sem atraso. Fonte: O autor	30
Figura 19 – Instância com atraso - $T_n = 2$. Fonte: O autor	31
Figura 20 – Instância com atraso - $T_n = 6$. Fonte: O autor	31
Figura 21 – Instância com atraso e sem novo sequenciamento - $T_n = 6$. Fonte: O autor .	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Remuneração dos profissionais de Logística	15
Tabela 2 – Conjuntos	17
Tabela 3 – Parâmetros	17
Tabela 4 – Variáveis	18
Tabela 5 – Parâmetro	21
Tabela 6 – Banco de Dados	22
Tabela 7 – Resultados	29

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo Geral	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
1.2	Justificativa	2
1.3	Organização do trabalho	3
2	METODOLOGIA DE PESQUISA	4
3	REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1	Sequenciamento	6
3.1.1	Problemas de Sequenciamento Determinísticos	7
3.1.2	Problemas de Sequenciamento Estocásticos	9
3.2	<i>Crossdocking</i>	10
3.3	Custos Logísticos	13
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1	Artigo Base	16
4.1.1	Modelo matemático	16
4.1.1.1	Conjuntos	16
4.1.1.2	Parâmetros	17
4.1.1.3	Variáveis	18
4.1.1.4	Função Objetivo	18
4.1.1.5	Restrições	18
4.2	Banco de dados do Artigo Base	19
5	MODELAGEM MATEMÁTICA E TESTE DE ROBUSTEZ	21
5.1	Transformação da variável determinística em estocástica	21
5.2	Novo Banco de Dados	22
5.3	Teste de Robustez para uma instância aleatória	22
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6.1	Análise dos Resultados	30
7	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	33
	REFERÊNCIAS	34

1 Introdução

Percebe-se que o *e-commerce* é um fenômeno global, que cresce consideravelmente em todos os países. Segundo estudo publicado na Business (2020), o Brasil se consolida como um dos mais desenvolvidos em relação ao comércio eletrônico mundial, ocupando a 10^a posição do *ranking*. De acordo com esse estudo, o Brasil possui um crescimento de 22% no *e-commerce*, movimentando anualmente em torno de 19 bilhões de dólares em vendas online.

Diante dessa realidade, a logística no Brasil supostamente deveria acompanhar esse crescimento. No entanto, a infraestrutura ainda apresenta obstáculos que impedem o avanço do setor. Entre elas, pode-se enumerar atrasos, retrabalhos, ociosidade, roubo de cargas, más condições das estradas, má qualidade da frota em circulação, uso ineficaz de tecnologia especializada, entre outras. Estes e outros problemas atrapalham o desenvolvimento do mercado logístico. Prova disso é um estudo da Confederação Nacional da Indústria (CNI), disponibilizado em E-commerce (2020), que mostra que o Brasil investiu – nos últimos 20 anos - apenas 2,18% do Produto Interno Bruto (PIB) em infraestrutura. Em outras economias emergentes, o investimento realizado é o dobro do brasileiro (entre 4 e 5% do PIB). Além disso, o Brasil apareceu na 169^a posição (entre 189 países analisados) no *ranking* do Banco Mundial na contração de obras (dados de 2015). Países vizinhos como Chile e Peru ocupam a posição 24^a e 48^a, respectivamente. Ainda na análise de 2018 do *Logistics Performance Index and its Indicators* (LPI), o Brasil ocupa a 56^a posição de 167 países, apresentando a nota 3,1 de 5 no quesito “competência logística”.

Assim, os custos logísticos – diante desse cenário – são altos no Brasil. Recentemente, há também um crescimento no ambiente competitivo dada a entrada de grandes *players* no mercado brasileiro, como a *Amazon*, e a criação de novos centros de distribuição de empresas já atuantes, como os do *Mercado Livre*.

O processo logístico consta de várias etapas e quando estas apresentam algum problema, os custos e a qualidade do serviço são impactados. Inclusive, em alguns cenários, gera insatisfação da parte dos motoristas.

Diante do crescimento do *e-commerce*, apontado anteriormente, e dos problemas destacados na cadeia logística, o uso de centros de *crossdocking* é uma alternativa viável. Estes não possuem espaço de estocagem, o que reduz significativamente o custo logístico. No entanto, para realizar o transbordo das mercadorias, é necessário se valer do sequenciamento de caminhões, levando em consideração seus precedentes, de acordo com suas mercadorias.

Na rotina diária de um centro de *crossdocking*, há vários elementos que comprometem a eficiência e o correto andamento dos processos, tais como a indisponibilidade de uma ferramenta em específico ou o atraso do caminhão por trânsito intenso. Para Biegelmeyer et al. (2013), é digno de nota que a maioria de todo agendamento ainda é feito por um processo altamente manual e trabalhoso. Ele estima que mais de 40% do tempo de serviço é gasto ao telefone com transportadores na tentativa de satisfazer pedidos de horários de agendamento.

Este trabalho analisa justamente o problema de sequenciamento em um centro de *cross-docking* que possui duas docas, considerando a aleatoriedade no tempo de entrada dos *jobs* para se adequar à realidade desses centros.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Produção que se desenvolve neste trabalho se relaciona com os conteúdos e métodos da área de *Pesquisa Operacional*, principalmente aqueles relacionados a temática de *Logística e Transporte*. Dada a pluralidade de perspectivas de trabalhos possíveis nesse campo, procura-se uma interface entre o *Planejamento estratégico e Mercadológico* e a *modelagem de sistemas produtivos e logísticos*, delimitando-se – dessa maneira – a questões relacionadas ao conceito de *crossdocking*, objetivo principal da pesquisa. Tendo isto em vista, utiliza-se o modelo matemático proposto por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) no artigo *O Problema de Sequenciamento de Caminhões em um Centro de Crossdocking com Duas Máquinas*¹ como base para aplicação da modelagem. O objetivo geral, dessa maneira, é criar um novo modelo que seja capaz de incorporar incerteza no tempo de entrada de *jobs* em um centro de distribuição do tipo *crossdocking* com a finalidade de adequar e aproximar o modelo a realidade, inicialmente proposto por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o problema de sequenciamento de caminhões em um centro de *crossdocking* com duas máquinas;
- Considerar incertezas nos tempos de entrada dos *jobs* ;
- Propor um modelo de otimização que considere robustez para o problema de *crossdocking* sob incertezas de modo a acomodar as perturbações que afetam o sequenciamento, afim de evitar que o novo sequenciamento desvie muito do sequenciamento inicial;
- Fazer uma análise dos resultados obtidos.

1.2 Justificativa

O problema que se analisa neste estudo se refere ao sequenciamento de caminhões que chegam em um centro de *crossdocking* com duas docas. Dados os elevados custos logísticos em países com dimensões continentais, como é o caso do Brasil, a parte logística é fundamental

¹ Os autores utilizam dados determinísticos para achar o melhor sequenciamento de caminhões para entrar e sair da doca com o objetivo de minimizar o *makespan*.

no orçamento das empresas. De acordo com o Fundo Monetário Internacional (FMI), os custos logísticos representam em média 12% do produto interno bruto mundial (BALLOU, 2007), e dado o valor tão representativo, percebe-se a importância de estudar o tema.

Além disso, segundo Pinedo (2008), para sobreviver e atender as necessidades do atual ambiente competitivo, as empresas precisam cumprir os envios das mercadorias aos clientes nas datas acertadas pois, caso contrário, há o risco de se perder a clientela. Para cumprir o envio das mercadorias nas datas propostas, a empresa deve ter um bom sequenciamento de atividades e uma programação da produção eficaz utilizando-se dos recursos disponíveis.

Tendo isto em vista, o trabalho justifica-se uma vez que propõe uma abordagem que otimiza o sequenciamento dos caminhões visando reduzir o tempo total gasto com as operações de carregamento e descarregamento e por aproximar de um contexto real considerando o tempo de atraso ou antecipação do *job* nos centros de *crossdocking*. Assim, este trabalho contribui para uma melhoria na qualidade do serviço logístico, com entregas mais rápidas e com uma redução nos custos de operação.

1.3 Organização do trabalho

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi concebido em sete passos. No primeiro passo, apresenta-se a introdução do trabalho, apontando-se os objetivos que nos guiam na tecitura do trabalho e justifica-se os passos que se adotam no desenvolvimento da pesquisa. No passo seguinte, expõe-se a metodologia do estudo. Aqui busca-se conferir clareza e segurança para os passos seguintes. No terceiro, elucidam-se os conceitos de sequenciamento (tanto determinístico quanto estocástico), *crossdocking* e custos logísticos. Busca-se respaldo teórico para a pesquisa. A partir do ponto de partida do artigo *O Problema de Sequenciamento de Caminhões em um Centro de Crossdocking com Duas Máquinas*, o quarto passo consiste, precisamente, na fundamentação teórica. Em seguida, o problema de sequenciamento é reformulado acrescentando-se incerteza no tempo de chegada dos caminhões. No sexto passo, analisam-se os resultados. Por fim, conclui-se o trabalho.

2 Metodologia de pesquisa

A abordagem que se utiliza é quantitativa, isto é, “o ato de mensurar variáveis de pesquisa” (MARTINS, 2010), adotando como método de pesquisa a modelagem por “uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema ou de parte de um sistema produtivo” (NAKANO, 2010).

De acordo com Morabito e Pureza (2010), este trabalho trata-se de uma pesquisa axiomática normativa, pois, de acordo com estes autores, nessa pesquisa “novos modelos de otimização ou variações de modelos existentes podem ser propostos para um problema idealizado [...] utilizando métodos de soluções conhecidos da literatura para resolvê-los” e também “podem ser desenvolvidas pesquisas que estudam modelos de otimização conhecidos para o problema idealizado, mas que propõe novos métodos para resolver esses modelos ou variações técnicas de solução já existentes, mas que produzam melhores resultados”.

Para tanto, primeiramente estuda-se o modelo proposto por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017), procurando verificar em qual parte do modelo será acrescentada a incerteza. Em seguida, propõe-se um novo modelo matemático que considera robustez para o problema de *crossdocking* sob incertezas de modo a acomodar as perturbações que afetam o sequenciamento, afim de evitar que o novo sequenciamento desvie muito do sequenciamento inicial. Por fim, analisam-se os resultados.

Na fase de modelagem do sequenciamento de duas máquinas do tipo *flowshop* usa-se como referencial teórico Pinedo (2008) e Baker e Trietsch (2009). Para modelagem do problema, usa-se a metodologia proposta por Morabito e Pureza (2010), representada na Figura 2.

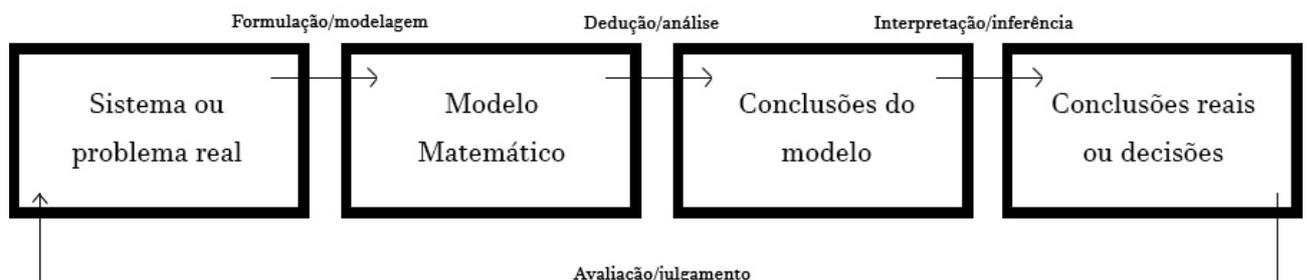


Figura 1 – Processo de Modelagem. Fonte: Morabito e Pureza (2010)

Para construção do novo modelo, utiliza-se inserção da incerteza no tempo de chegada dos *jobs* no modelo matemático proposto por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017). Para solucionar o modelo, utilizam-se algoritmos na linguagem AMPL. As instâncias utilizadas são baseadas nas abordadas por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) no artigo *O Problema de Sequenciamento de*

Caminhões em um Centro de Crossdocking com Duas Máquinas. Para geração das instâncias da incerteza acrescentada no tempo de chegada, utiliza-se uma distribuição normal. Após a construção e solução do novo modelo, analisa-se o tempo total da operação com e sem a incerteza de modo a avaliar até que ponto a perturbação da incerteza no modelo afeta o sequenciamento original dado por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) e verifica-se o ganho de tempo e custo para um operador logístico com esse novo sequenciamento.

3 Revisão de literatura

Apresenta-se a revisão bibliográfica a respeito de sequenciamento, problemas de sequenciamento determinístico e estocástico, *crossdocking* e custos logísticos.

3.1 Sequenciamento

O sequenciamento da produção pode ser entendido como “um processo de tomada de decisão usado regularmente em muitas indústrias e serviços. Este processo lida com alocação de recursos para tarefas em determinados períodos de tempo e seu propósito é otimizar um ou mais objetivos” (*tradução nossa*) (PINEDO, 2008).

Baker e Trietsch (2009) no *Principles of sequencing and scheduling* afirmam que “intuitivamente, pensamos em sequenciamento como o processo de gerar o cronograma, embora raramente paremos para considerar quais seriam os detalhes desse processo”. Eles ainda afirmam que se costuma “abordar o problema em duas etapas: sequenciamento (*sequencing*) e sequenciamento temporal (*scheduling*)”, isto é, primeiramente, se planeja uma sequência ou uma tarefa sequente. Em seguida, planeja-se os horários das tarefas. Vale lembrar que a determinação do tempo de segurança (*safety time*) faz parte dessa segunda etapa.

Além disso, esses autores afirmam que no processo de sequenciamento temporal, é necessário saber i) o tipo e a quantidade de cada recurso, para que se possa determinar quando as tarefas podem ser executadas de maneira viável e ii) descrever quaisquer restrições tecnológicas (restrições de precedência) existentes entre as tarefas. Essas informações sobre recursos e tarefas definem um problema de sequenciamento temporal, que pode ser solucionado valendo-se de abordagens formais de solução visto que problemas de sequenciamento temporal são tomados como problemas de otimização sujeitos a restrições.

Para Baker e Trietsch (2009) a teoria do sequenciamento temporal também inclui uma variedade de metodologias:

De fato, o campo do sequenciamento tornou-se um ponto focal para o desenvolvimento, aplicação e avaliação de procedimentos combinatórios, técnicas de simulação, e abordagens de soluções heurísticas. A seleção de um método apropriado depende principalmente da natureza do modelo e da escolha da função objetivo. Em alguns casos, faz sentido considerar técnicas alternativas. Por este motivo, é importante estudar metodologias, bem como modelos. (*tradução nossa*). (BAKER; TRIETSCH, 2009, p. 5)

Seguindo a mesma perspectiva de Baker e Trietsch (2009), tanto Lawler et al. (1993) quanto Burke e Prosser (1994) identificam os mesmos elementos. Burke e Prosser (1994) definem *scheduling* como “problema relacionado a decisões do tipo o que fazer (operações), quando (durações e tempo) e onde (recursos), partindo de um objetivo primário da maximização do lucro corporativo” (1994, Apud CORREIA; NASCIMENTO, 2016).

Já para Lawler et al. (1993) tanto o sequenciamento e o sequenciamento temporal preocupam-se com a “alocação ideal de recursos escassos para as atividades ao longo do tempo” (*tradução nossa*) (LAWLER et al., 1993). Elas são caracterizadas por “um número praticamente ilimitado de tipos de problemas. Tradicionalmente, a maioria das pesquisas se concentra no sequenciamento temporal determinístico das máquinas [...], mas também é baseado em algumas suposições restritivas”. (*tradução nossa*) (LAWLER et al., 1993).

As suposições restritivas a que Lawler et al. (1993) dizem respeito ao i) tipo de recurso (por ex. uma máquina pode executar no máximo uma atividade a qualquer momento) e ii) à natureza determinística dos problemas.

3.1.1 Problemas de Sequenciamento Determinísticos

Segundo Pinedo (2008), nos últimos cinquenta anos, uma quantidade considerável de esforços de pesquisa concentrou-se no sequenciamento determinístico. O número e a variedade de modelos considerados são surpreendentes. Durante esse período, a notação evoluiu tanto que captura sucintamente a estrutura de muitos (mas com certeza não todos) modelos determinísticos que foram considerados na literatura (PINEDO, 2008). Ainda seguindo a ideia desse mesmo autor, um problema de sequenciamento é descrito por $\alpha|\beta|\gamma$. O campo α descreve o ambiente da máquina e contém apenas uma entrada. O campo β fornece detalhes das características e restrições de processamento e pode não conter nenhuma entrada, uma única entrada ou várias entradas. O campo γ descreve o objetivo a ser minimizado e geralmente contém uma única entrada (PINEDO, 2008).

Pinedo (2008) classifica os modelos determinísticos de acordo com os possíveis ambientes de máquina especificados no campo α , são eles:

- **Sequenciamento em uma máquina (*single-machine*) (1):** O caso de uma única máquina é o mais simples de todos os ambientes. Considera-se a existência de uma única máquina e todas as tarefas são processadas nesta máquina (PINEDO, 2008);
- **Sequenciamento em máquinas paralelas (*parallel machines*) (P_m):** Existem m máquinas idênticas em paralelo. A tarefa j requer uma única operação e pode ser processada em qualquer uma das m máquinas ou em qualquer uma que pertença a um determinado subconjunto. Se o trabalho j não puder ser processado em qualquer máquina, mas somente em alguma pertencente a um subconjunto específico M_j , então a entrada M_j aparecerá no campo β (PINEDO, 2008);
- **Máquinas em paralelo com diferentes velocidades (Q_m):** Existem m máquinas em paralelo com diferentes velocidades. A velocidade da máquina i é indicada por v_i . O tempo p_{ij} que o trabalho j gasta na máquina i é igual a p_j / v_i (assumindo que o trabalho j receba todo o processamento da máquina i). Esse ambiente é chamado de máquinas uniformes.

Se todas as máquinas tiverem a mesma velocidade, ou seja, $v_i = 1$ para todos os i e $p_{ij} = p_j$, o ambiente será idêntico ao anterior (PINEDO, 2008);

- **Máquinas não relacionadas em paralelo (R_m):** Esse ambiente é uma generalização adicional do anterior. Existem m máquinas diferentes em paralelo. A máquina i processa o trabalho j na velocidade v_{ij} . O tempo p_{ij} que o trabalho j gasta na máquina i é igual a p_j / v_{ij} (novamente assumindo que o trabalho j recebe todo o seu processamento da máquina i). Se as velocidades das máquinas são independentes dos trabalhos, ou seja, $v_{ij} = v_i$ para todos os i e j , então o ambiente é idêntico ao anterior (PINEDO, 2008);
- **Flow shop (F_m):** Existem m máquinas em série. Cada trabalho deve ser processado em cada uma das m máquinas. Todas as tarefas precisam seguir a mesma rota, ou seja, precisam ser processadas primeiro na máquina 1, depois na máquina 2 e assim por diante. Após a conclusão em uma máquina, o trabalho ingressa na fila na próxima máquina. Geralmente, supõe-se que todas as filas operem sob a disciplina FIFO (*First In First Out*), ou seja, o trabalho não pode "passar" outro enquanto aguarda em uma fila. Se a disciplina FIFO estiver em vigor, o *Flow shop* é referido como *permutation Flow shop* e o campo β inclui a entrada $prmu$ (PINEDO, 2008); Este é o ambiente de máquinas utilizado neste trabalho, as m máquinas são as docas do centro de distribuição e os trabalhos citados, são os caminhões a serem processados nas docas. Aqui também se aplica a disciplina FIFO, isto é, o primeiro caminhão a entrar é o primeiro a sair. Dessa maneira, um caminhão (trabalho) não pode "passar" outro enquanto aguarda em uma fila e este necessariamente deve ser processado na doca 1 e depois ele ingressa na fila na próxima doca.
- **Flexible flow shop (FF_c):** O *Flexible flow shop* é uma generalização do *Flow shop* e do ambiente de máquinas paralelas. Em vez de m máquinas em série, existem c estágios em série, com um número de máquinas em paralelo em cada estágio. Cada trabalho deve ser processado primeiro no estágio 1, depois no estágio 2 e assim por diante. Um estágio funciona como um banco de máquinas paralelas; em cada estágio, o trabalho j requer processamento em apenas uma máquina e qualquer máquina pode fazê-lo. As filas entre os vários estágios podem ou não funcionar de acordo com a disciplina FIFO. (Às vezes, na literatura *Flexible flow shop* também são conhecidas como *hybrid flow shops* e como *multi-processor flow shops*) (PINEDO, 2008);
- **Job Shop (J_m):** Em um *Job Shop* com m máquinas, cada tarefa tem sua própria rota predeterminada a seguir. É feita uma distinção entre *Job Shop* nas quais cada trabalho visita cada máquina no máximo uma vez e *Job Shop* nas quais um trabalho pode visitar cada máquina mais de uma vez. Neste último caso, o campo β contém a entrada $rcrc$ para recirculação (PINEDO, 2008);
- **Flexible job shop (FJ_c):** Uma *Flexible job shop* é uma generalização *job shop* e do ambiente de máquinas em paralelo. Em vez de m máquinas em série, existem c centros de

trabalho com um número de máquinas idênticas em paralelo em cada centros de trabalho. Cada trabalho tem seu próprio caminho a seguir pela linha; o trabalho j requer em cada centro de trabalho processamento em apenas uma máquina e qualquer máquina poderá fazê-lo. Se um trabalho em sua rota através da linha puder visitar um centro de trabalho mais de uma vez, o campo β conterà a entrada *rcrc* para recirculação (PINEDO, 2008);

- **Open Shop (O_m):** Existem m máquinas. Cada trabalho deve ser processado novamente em cada uma das m máquinas. No entanto, alguns desses tempos de processamento podem ser zero. Não há restrições com relação ao roteamento de cada trabalho pelo ambiente da máquina. O sequenciador tem permissão para determinar uma rota para cada trabalho e trabalhos diferentes podem ter rotas diferentes (PINEDO, 2008).

Para Pinedo (2008) as restrições de processamento especificadas no campo β podem incluir várias entradas. As entradas possíveis no campo β são: *release dates* (r_j), *preemptions* (*prmp*), *precedence constraints* (*prec*), *sequence dependent setup times* (s_{jk}), *job families* (*fmls*), *batch processing* (*batch(b)*), *breakdowns* (*brkdwn*), *machine eligibility restrictions* (M_j), *permutation* (*prmu*), *blocking* (*block*), *no-wait* (*nwt*) e *recirculation* (*rcrc*) (PINEDO, 2008). Neste estudo, usa-se a entrada *permutation* (*prmu*) no ambiente *flow shop*, onde segundo Pinedo (2008) neste ambiente, por operar com a disciplina FIFO (primeiro a entrar, primeiro a sair), a ordem (ou permutação) na qual os trabalhos passam pela primeira máquina é mantida em todo o sistema (PINEDO, 2008).

As possíveis funções objetivo, campo γ , segundo Pinedo (2008), são: *makespan* (C_{max}), *maximum lateness* (L_{max}), *total weighted completion time* ($w_j C_j$), *discounted total weighted completion time* ($w_j(1-e^{-r}C_j)$), *total weighted tardiness* ($w_j T_j$) e *weighted number of tardy jobs* ($w_j U_j$) (PINEDO, 2008). A função objetivo do modelo do presente estudo é minimizar o *makespan* (C_{max}), onde para Pinedo (2008), o *makespan*, definido como $\max(C_1, \dots, C_n)$, é equivalente ao tempo de conclusão do último trabalho ao deixar o sistema. O *makespan* mínimo usualmente implica em uma boa utilização das máquinas (PINEDO, 2008). Sendo assim, o problema tratado neste trabalho, pode ser classificado como $F_m | prmu | C_{max}$.

3.1.2 Problemas de Sequenciamento Estocásticos

Segundo Pinedo (2008), os ambientes de produção no mundo real estão sujeitos a muitas fontes de incerteza ou aleatoriedade. As fontes de incerteza que podem ter um grande impacto incluem quebras de máquinas e liberações inesperadas de trabalhos de alta prioridade. Outra fonte de incerteza reside nos tempos de processamento e nos tempos de entrada, que muitas vezes não são precisamente conhecidos com antecedência. Nosso estudo considera a incerteza no tempo de chegada dos caminhões, pela consideração da possibilidade de atraso na chegada dos mesmos. O tempo de chegada dos caminhões na doca altera significativamente a distribuição dos produtos nas máquinas, altera o agendamento de entrada nas docas, entre outras. Assim é necessário reordenar os caminhões para que o impacto do carregamento/descarregamento, por exemplo do atraso de um caminhão, seja o menor possível. Além disso, atrasos costumam gerar

irritação nos caminhoneiros. Um bom modelo para um problema de sequenciamento deve tratar dessas formas de incerteza (PINEDO, 2008). Existem várias maneiras pelas quais essas formas de aleatoriedade podem ser modeladas. Para Pinedo (2008), um exemplo seria:

Poder modelar a possibilidade de quebras da máquina como parte integrante dos tempos de processamento. Isso pode ser feito modificando a distribuição dos tempos de processamento para levar em consideração a possibilidade de falhas. Como alternativa, pode-se modelar quebras como um processo estocástico separado, que determina quando uma máquina está disponível e quando não está. (*tradução nossa*) (PINEDO, 2008)

Já Baker e Trietsch (2009), definem que modelos estocásticos, casos mais comuns, são uma contraparte de modelos determinísticos, por exemplo, “a contraparte estocástica do F-problem é um problema de planejamento estocástico no qual a função objetivo é o tempo de fluxo total esperado, $E(F)$ ”. Ainda segundo esses mesmo autores, de maneira mais geral, “para modelos determinísticos que buscam minimizar o custo total ou o custo máximo, as contrapartes estocásticas buscam minimizar o custo total esperado ou o custo máximo esperado” (BAKER; TRIETSCH, 2009).

3.2 *Crossdocking*

Segundo Ching (2010), ao longo dos anos, o mercado competitivo estava seguindo dois tipos de padrões para distribuição de mercadorias. O primeiro padrão é a distribuição baseada na fonte, onde "empresas centralizam estoques e despacham para as localidades dos clientes por meio de entregas parceladas ou menor que a carga do caminhão (*Less-Than-Truckload - LTL*)" (CHING, 2010). Já o segundo padrão de distribuição é a distribuição baseada no mercado, onde "as empresas estocam localmente, atendem aos pedidos do cliente por meio do depósito local e despacham aos clientes da região" (CHING, 2010).

No atual cenário logístico, com a entrada do *e-commerce*, essas duas distribuições não conseguem mais atender as necessidades do mercado e do cliente, pois "a distribuição baseada no mercado tem altos custos de manuseio, padrões de demanda instáveis e exigências de volumes altos de estoque" (CHING, 2010) e a distribuição baseada na fonte não funciona bem quando "ciclos curtos de entrega são exigidos e/ou quando um montante considerável de frete se move via LTL e entregas parceladas" (CHING, 2010).

Logo, para eliminar os altos custos de manuseio de produtos, decorridos da distribuição baseada no mercado e eliminar os longos ciclos de tempo, originados da distribuição baseada na fonte, o *crossdocking* surge para suprir as necessidades do mercado e dos clientes. Segundo Ching (2010), o *crossdocking* pode ser definido como "uma operação do sistema de distribuição em que os produtos são recebidos, selecionados e encaminhados para outro veículo. No entanto, essa operação necessita de grande exatidão quanto ao tempo de entrada e saída de produtos" (CHING, 2010).

Ainda segundo Ching (2010), no *crossdocking* "os ativos (estoques e armazéns) são substituídos por informações"(CHING, 2010) e, dessa maneira, observa-se "quão crítico e importante é ter o uso de sistemas de informação de alto nível e capacidade de planejamento, de modo a evitar gargalos no tempo de entrada e saída de produtos de um veículo para o outro"(CHING, 2010). Além disso, no *crossdocking*, "o investimento no estoque é substancialmente reduzido pela eliminação de múltiplos locais de estocagem e a sincronização é obtida com a otimização da utilização dos recursos do armazém"(CHING, 2010).

No *crossdocking* trabalha-se com pedidos de ordens dos clientes em menores quantidades e ritmo frequente de entrega. Procura-se, dessa maneira, manter o nível de serviços aos clientes. No entanto, procura-se diminuir os custos através da redução do manuseio de matérias e da redução do nível de estoque. Isto proporciona tanto vantagens quanto desvantagens e desafios. As vantagens identificadas por EAN International (2000) *apud* Oliveira e Pizzolato (2002) são a redução de custos (de estoque e de distribuição), pois o transporte é feito em FTL (*Full TruckLoad* e de forma mais frequente; a redução da área física necessária no Centro de Distribuição, pois o estoque é reduzido; a redução da falta de estoque na lojas varejistas, pois o ressurgimento é contínuo; a redução do número de estoque em toda a cadeia de suprimentos, pois os produtos não são estocados durante as várias etapas; a redução da complexidade das entregas nas lojas, pois as entregas, de diversos fornecedores, são entregues em um único caminhão; o aumento do *turn-over* no Centro de Distribuição, pois há aumento da rotatividade.

Além destas vantagens, ainda podem ser identificadas o aumento da *shelf-life* do produto, o aumento da disponibilidade de produtos, a suavização do fluxo de bens e a acessibilidade aos dados sobre o produto, devido "ao uso de tecnologias de informação que proporcionam a intercomunicação entre os elos da cadeia, como por exemplo o EDI que unifica a base de dados" (OLIVEIRA, 2002).

Já a desvantagem se encontra justamente nos custos e esforços necessários, para os membros da cadeia de suprimentos, para que o sistema de *crossdocking* alcance sucesso. Oliveira (2002) recorda que "esses esforços estariam voltados para a implementação de melhorias em seus sistemas com o objetivo de fornecer a base necessária para o funcionamento efetivo" do *crossdocking*. Ribeiro (2017) afirma que - para que o sistema *crossdocking* apresente resultados positivos - "é necessário que todas as operações internas no ponto de apoio sejam adequadamente dimensionadas, tanto sob o ponto de vista de recursos humanos, como também no que se refere a equipamentos e Tecnologia da Informação (TI)".

É válido apontar que em um Centro de Distribuição algumas variações podem acontecer, tais como atrasos dos *jobs* devido a engarrafamentos, pneus furados entre outros e também a adiantamentos dos *jobs*, e que não faria sentido esperar até o momento sequenciado para começar o carregamento e descarregamento nas docas. No artigo analisado, *O Problema de Sequenciamento de Caminhões em um Centro de Crossdocking com Duas Maquinas* dos autores Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017), as incertezas na operação não foram tematizadas. Isto pode acarretar, como apontou-se, problemas no funcionamento da operação, gerando atrasos.

Além do *crossdocking* há outras configurações logísticas que se valem de instalações intermediárias, que não mantêm estoque e permitem um rápido fluxo de produtos, com o intuito de reduzir os custos de transporte. Elucidam-se aqui, sinteticamente, as configurações conhecidas por *milk run*, *merge in transit* e *transit point*. Sustenta-se que ao ter uma noção destas configurações logísticas, compreende-se - com maior clareza - as especificidades do *crossdocking*.

O sistema de coleta programada *milk run* (traduzido como “corrida do leite”) é “uma prática logística de abastecimento (*inbound*) com origem atribuída aos tradicionais sistemas de abastecimento das usinas pasteurizadoras de leite” (RöHM ETHEL SILVA, 2010), cuja “lógica consiste em ter um sistema de abastecimento com roteiros e horários predeterminados para as coletas de materiais junto aos fornecedores” (AMARAL SAMUEL BONATO, 2018). O objetivo principal é “reduzir os custos logísticos de abastecimento através das economias de escala e racionalização das rotas, além de aumentar a confiabilidade do processo como um todo” (RöHM ETHEL SILVA, 2010). A principal vantagem desse método é melhor aproveitamento “da capacidade de carga do veículo e da rota, já que os fornecedores próximos um do outro, podem utilizar-se de um único veículo, que passaria coletando o material, e levando uma única vez para a indústria” (AMARAL SAMUEL BONATO, 2018). Inicialmente o método era utilizado para não azedar o leite. O produtor colocava os galões de leite na entrada de sua propriedade próximo do horário de coleta do caminhão. O caminhão, seguindo uma rota preestabelecida, coletava o leite e deixava os galões vazios para serem usados no dia seguinte. Este tipo de operação é utilizado em diversas áreas nas quais é necessário agendamento roteirizado para entrega/retirada de produtos, como é o caso de farmácias ou de linhas de produção de fábricas.

Já o *merge in transit* “pode ser considerada uma extensão do *crossdocking*, associado a técnicas de qualidade como o *Just-in-Time*” (FILHO, 2012). Ele também pode ser identificado como “uma variante do *milk run* (processo logístico onde se eliminam as várias entregas de fornecedores através de coleta sequenciada (sic) utilizando-se o mesmo transporte), onde os itens são coletados nos diferentes fornecedores e enviados ao cliente em um embarque único” (JUVELLA, 2002). Nesse caso, a diferença entre o *merge in transit* para o *milk run* é que no *milk run*

há uma coleta programada de materiais nos fornecedores com destino à área de produção, tendo ênfase na redução de custos de transporte através da otimização em uma estrutura de entregas *just in time*. Já no *merge in transit*, há o objetivo da entrega ao cliente e após a coleta dos materiais eles são direcionados para o ponto de consolidação. (JUVELLA, 2002)

Por fim, as instalações do tipo *transit point* são similares aos centros de distribuição avançados, mas, como lembra FILHO (2012), não mantêm estoques. A principal diferença do *crossdocking* para o *transit point* é que o modelo de *crossdocking* atende a múltiplos fornecedores. Sobre este tipo de instalação pode-se afirmar:

O *Transit Point* é localizado de forma a atender uma determinada área de mercado distante dos armazéns centrais e opera como uma instalação de passagem, recebendo carregamentos consolidados e separando-os para entregas locais a clientes individuais. Uma característica básica dos sistemas tipo *Transit Point*

é que os produtos recebidos já têm os destinos definidos, ou seja já, estão pré-locados aos clientes e podem ser imediatamente expedidos para entrega local. Não há espera pela colocação dos pedidos. Esta é uma diferença fundamental em relação às instalações de armazenagem tradicionais, onde os pedidos são atendidos a partir do seu estoque.(FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F, 2000)

Vale recordar que, as instalações desse tipo são estruturalmente simples, necessitando de baixo investimento na sua instalação. FILHO (2012) admite que o gerenciamento de *transit points* é “facilitado, pois não são executadas atividades de estocagem e *picking*, que exigem grande nível de controle gerencial. Seu custo de manutenção, portanto, é relativamente baixo”, mas também adverte que esse tipo de operação “é dependente da existência de volume suficiente para viabilizar o transporte de cargas consolidadas com uma frequência (sic) regular” (FILHO, 2012).

3.3 Custos Logísticos

Existem diversos custos que afetam diretamente a saúde financeira de grandes empresas e que devem ser constantemente reavaliados de forma a otimizar o máximo com novas tecnologias e descobertas. O custo logístico é um deles. Fleury afirma que nesse cenário empresarial “os custos logísticos representam cerca de 19% da receita total, ou seja, mais do que o dobro da margem líquida (8%)”. Diante desse dado, percebe-se a importância e o impacto que a redução nos custos logísticos pode gerar nas margens e no lucro da organização (FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F, 2000). A Confederação Nacional do Transporte, CNT (2020) define o custo logístico como a "soma dos gastos com transporte, estoque, armazenagem e serviços administrativos".

Para Farias (2005) *apud* Biegelmeier *et al.* (2013) "a análise do custo logístico total envolve a minimização dos custos de transporte, armazenagem e movimentação de materiais /produtos, embalagem, manutenção de inventário, tecnologia de informação, tributários e dos custos decorrentes de lotes"(BIEGELMEYER *et al.*, 2013). Já para Christopher (1997) *apud* Biegelmeier *et al.* (2013) "o custeio logístico tem três princípios: 1) Um sistema que deve refletir o fluxo de materiais, isto é, ele deve ser capaz de identificar os custos resultantes do fornecimento de serviço ao cliente. 2) Possibilitar uma análise separada de custos e receitas, por tipo de cliente e por segmento de mercado ou canal e distribuição. 3) Risco do uso dos custos médios."

Por sua vez, o Institute of Management Accountants – IMA (1992) *apud* Biegelmeier *et al.* (2013) identifica os custos logísticos como sendo "os custos de planejar, implementar e controlar todo o inventário de entrada (*inbound*) em processo e de saída (*outbound*), desde o ponto de origem até o ponto de consumo. Por fim, Kobayashi (2000) *apud* Biegelmeier *et al.* (2013) lembra que "os custos variam proporcionalmente ao nível do serviço e é necessário conhecer o custo logístico para cada pedido, para cada cliente e por produto. Para reduzir os custos são necessários os métodos de elaboração das informações.

Assim, aprofundando um pouco mais nos custos logísticos, têm-se os custos de armazenagem que são "o conjunto de custos para manter fisicamente estoques, envolvendo questões referentes à localização, dimensionamento da área, arranjo físico, alocação dos estoques, projeto de docas e configuração dos armazéns"(FARIA, 2004). Ao se detalhar os custos para manter fisicamente os estoques, destacam-se o aluguel, os impostos, os seguros, a energia elétrica, a água, as telecomunicações, a segurança e a limpeza. Além disso, segundo Faria (2004), também pode-se incluir o custo com "tecnologia de movimentação interna, estocagem, sistemas, manutenção dos ativos logísticos e depreciação de equipamentos de movimentação e instalações". De acordo com a Confederação Nacional do Transporte, estima-se que o custo de armazenagem represente em média 0,9% do PIB ou R\$ 53 bilhões.

Além disso, é necessário levar em consideração que o custo de manutenção de estoques é um componente importante quando se leva em consideração o custo da operação logística como um todo, visto que os estoques incorrem em custos, ocupam espaço, oneram o capital e também necessitam de gerenciamento. Segundo Martim, P. G.; Campos, P. R (2000) os custos para manutenção dos estoques podem ser agrupados em 3 categorias. Os custos diretamente proporcionais, que ocorrem quando os custos crescem com o aumento da quantidade média estocada, os custos inversamente proporcionais, que são os custos ou fatores de custos que diminuem com o aumento do estoque médio, e, por fim, os custos independentes, que são aqueles que independem do estoque médio mantido pela empresa. Assim, a soma desses fatores geram os custos totais de estocagem (MARTIM, P. G.; CAMPOS, P. R, 2000, p. 141). De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT), o custo médio de estoque representa cerca de 4,5% do PIB, ou seja, aproximadamente R\$ 268 bilhões.

Já os custos de serviços administrativos, o Relatório Analítico do Perfil dos Operadores Logísticos no Brasil realizado pela FDC – Fundação Dom Cabral, sob demanda da ABOL (2020) – Associação Brasileira de Operadores Logísticos, publicado em 2018, aponta que 88% das empresas pagaram até 20% de sua Receita Operacional Bruta (ROB) em encargos trabalhistas. Desta maneira, inclusive pelo fato do setor possuir intensivo uso de mão-de-obra, os encargos trabalhistas são bastante representativos. Como mostra o relatório citado acima, os custos trabalhistas são fatores importantes na saúde financeira das empresas. A tabela abaixo indica, a partir de dados reais, remunerações do setor.

Tabela 1 – Remuneração dos profissionais de Logística

Órgão	Profissão	Salário
Catho	Supervisor de Operações	R\$ 2.267
	Assistente de Logística	R\$ 1.697
	Técnico em Logística	R\$ 2.071
	Encarregado de Logística	R\$ 2.466
	Analista de Logística	R\$ 2.637
	Supervisor de Logística	R\$ 3.683
	Coordenador de Logística	R\$ 4.040
	Consultor de Logística	R\$ 4.619
	Gerente de Logística	R\$ 7.070
	Diretor de Logística	R\$ 10.904
Sine	Mestre de Logística	R\$ 2.000 a R\$ 4.300
	Agente de Logística	R\$ 1.300 a R\$ 3.300
	Chefe de Logística	R\$ 1.600 a R\$ 10.200
	Analista de Logística	R\$ 1.600 a R\$ 6.800
	Consultor de Logística	R\$ 1.800 a R\$ 11.700
	Supervisor de Logística	R\$ 1.600 a R\$ 10.200
	Diretor de Logística	R\$ 5.200 a R\$ 33.600

Fonte: Catho e Sine, 2018

4 Fundamentação teórica

Para realização deste trabalho, utiliza-se o artigo *O Problema de Sequenciamento de Caminhões em um Centro de Crossdocking com Duas Máquinas* dos autores Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) como base para alcançar o objetivo principal, mostrar até que ponto uma incerteza em um problema de sequenciamento pode afetar a solução inicial e qual é o ganho temporal e monetário para o operador logístico. Para aproximar o máximo do objetivo, utiliza-se o banco de dados do artigo base, mas em uma versão reduzida.

4.1 Artigo Base

O artigo resolve o problema de sequenciamento – do tipo *flowshop* com duas máquinas - de caminhões em um centro de *crossdocking* com restrições. A pesquisa intenta resolver esse problema de forma eficiente implementando uma Relaxação Langrangeana com Algoritmo do Volume na equação de precedência dos caminhões do modelo original (programação linear inteira) buscando minimizar o *makespan* com as variáveis indexadas no tempo. Para melhorar a Relaxação Lagrangeana, os autores valeram-se de heurísticas polinomiais. Por fim, avaliaram as soluções analisando testes em 500 instâncias.

No presente estudo, utiliza-se apenas o modelo original, linear inteiro, sem a Relaxação Lagrangeana e as heurísticas polinomiais.

4.1.1 Modelo matemático

Existem 2 conjuntos de *jobs*, os n *jobs* de descarregamento, sequenciados na máquina 1 (M1) e os m *jobs* de carregamento, sequenciados na máquina 2 (M2) conforme Figura 2. O objetivo do modelo é fazer o sequenciamento de *jobs* nas máquinas correspondentes de forma a minimizar o *makespan* (C_{max}), ou seja, minimizar o tempo total de processamento na máquina 2. Este problema é considerado como NP-difícil (CHEN; LEE, 2009).

O modelo proposto por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) considera que todos os *jobs* sequenciados nas máquinas irão descarregar no momento exato do sequenciamento, sem atrasos de chegada ou de processamento do *job*.

4.1.1.1 Conjuntos

Além dos conjuntos apresentados na Tabela 2, segundo Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017), existem as restrições de *crossdocking*, onde considera que o caminhão a ser sequenciado na máquina 2 só pode ser sequenciado se os caminhões precedentes na máquina 1, tiverem sido processados. Essas restrições são representadas pela seguinte condição: "para cada *job* $j_j^2 \in J^2$, existe um subconjunto S_j de *jobs* em J_1 , tal que j_j^2 só pode ser processado em M2 se todos os

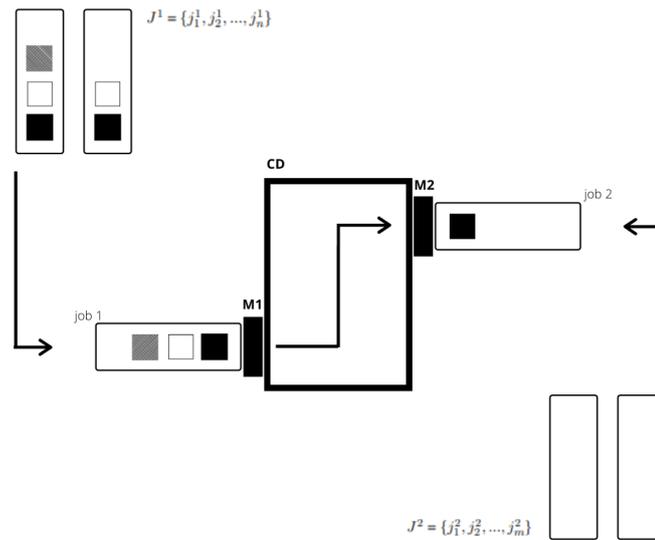


Figura 2 – Centro de *crossdocking*. Fonte: Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017)

jobs em S_j tiverem sido concluídos em M1. Considera-se que cada elemento do subconjunto S_j apresente pelo menos um elemento, ou seja, um determinado $job\ j \in J^2$ possui ao menos um $job\ j \in J^1$ como precedente". (FONSECA; NOGUEIRA; RAVETTI, 2017)

Tabela 2 – Conjuntos

Conjunto	Descrição
$J^1 = \{j_1^1, j_2^1, \dots, j_n^1\}$	Caminhões de chegada a serem processados em M1.
$J^2 = \{j_1^2, j_2^2, \dots, j_m^2\}$	Caminhões de saída a serem processados em M2.

Fonte: adaptado de (FONSECA; NOGUEIRA; RAVETTI, 2017)

4.1.1.2 Parâmetros

Os parâmetros de entrada do problema proposto por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) são determinísticos e os dados apresentados por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) foram gerados através do *software* MATLAB, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros

Parâmetro	Descrição
n	Número de <i>jobs</i> a serem processados na máquina 1
m	Número de <i>jobs</i> a serem processados na máquina 2
p_{ij}	Tempo de processamento do <i>job j</i> na máquina <i>i</i>
T	Horizonte de tempo considerado

Fonte: adaptado de (FONSECA; NOGUEIRA; RAVETTI, 2017)

4.1.1.3 Variáveis

As variáveis de decisão utilizadas no problema proposto por Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis

Variável	Descrição
$x_{jt} (\forall j \in J^1, \forall t \in T)$	1, se o <i>job</i> j começar no instante t . 0, caso contrário
$y_{jt} (\forall j \in J^2, \forall t \in T)$	1, se o <i>job</i> j começar no instante t . 0, caso contrário

Fonte: adaptado de (FONSECA; NOGUEIRA; RAVETTI, 2017)

4.1.1.4 Função Objetivo

O objetivo consiste em maximizar o *makespan* (C_{max}), ou seja, minimizar a data de conclusão do último *job* (caminhão) processado pela máquina 2.

$$\min Z = C_{max} \quad (4.1)$$

4.1.1.5 Restrições

Segundo Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017) as restrições do modelo são:

- (4.2) Cada *job* $j_{1j} \in J^1$ deve iniciar seu processamento em uma e somente uma data dentro do horizonte de planejamento T .
- (4.3) Cada *job* $j_{2j} \in J^2$ deve iniciar seu processamento em uma e somente uma data dentro do horizonte de planejamento T .
- (4.4) Garante que um *job* $j_{1j} \in J^1$ não inicia seu processamento enquanto outro *job* estiver sendo processado na máquina 1.
- (4.5) Garante que um *job* $j_{2j} \in J^2$ não inicia seu processamento enquanto outro *job* estiver sendo processado na máquina 2.
- (4.6) Para cada relação de precedência existente na instância, cria-se uma restrição desse conjunto, na qual a data de início do *job* $j_{2j} \in J^2$ deve ser maior ou igual a data de conclusão de seu precedente $j_{1k} \in S_j$.
- (4.7) Indica que a variável C_{max} , *makespan*, deve ser a máxima data de conclusão dos *jobs* processados na máquina 2.
- (4.8) (4.9) (4.10) Definem o domínio das variáveis do modelo.

$$\sum_{t=0}^{T-p_{1j}} x_{jt} = 1, \forall j \in J^1, \quad (4.2)$$

$$\sum_{t=0}^{T-p_{2j}} y_{jt} = 1, \forall j \in J^2, \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in J^1} \sum_{s=\max(0; t-p_{1j}+1)} x_{js} \leq 1, \forall t \in T, \quad (4.4)$$

$$\sum_{j \in J^2} \sum_{s=\max(0; t-p_{2j}+1)} y_{js} \leq 1, \forall t \in T, \quad (4.5)$$

$$\sum_{t=0}^{T-p_{2j}} ty_{jt} - \sum_{t=0}^{T-p_{1k}} (t+p_{1k})x_{kt} \geq 0, \forall j \in J^2 \wedge \forall k \in S_j^2, \quad (4.6)$$

$$C_{max} \geq p_{2j} + \sum_{t=0}^{T-p_{2j}} ty_{jt}, \forall j \in J^2, \quad (4.7)$$

$$x_{jt} \in \{0, 1\} \forall j \in J^1 \wedge \forall t \in T, \quad (4.8)$$

$$y_{jt} \in \{0, 1\} \forall j \in J^2 \wedge \forall t \in T, \quad (4.9)$$

$$C_{max} \geq 0. \quad (4.10)$$

4.2 Banco de dados do Artigo Base

O artigo base gerou as instâncias através do *software MATLAB*, utilizando uma Distribuição Uniforme para gerar o número de precedentes e os tempos de processamento dos *jobs*.

Na Figura 3, presente no artigo base, podemos verificar que as instâncias foram separadas em 2 grupos. Dentro dos grupos, temos o número de *jobs* a serem sequenciados na máquina 1 (*JobsM1(n)*), o número de *jobs* a serem sequenciados na máquina 2 (*JobsM2(m)*), o número máximo de precedentes do *job* $j \in J^2$ (*NP*), o tempo de processamento dos *jobs* (*TP*) e o código da instância (*Código*) (FONSECA; NOGUEIRA; RAVETTI, 2017).

O banco de dados é composto por 500 instâncias, sendo 50 instâncias por linha representadas na Figura 3. É importante destacar que, para cada n , cinco instâncias de m são consideradas e para cada (n, m) , foram gerados 10 problemas diferentes (FONSECA; NOGUEIRA; RAVETTI, 2017).

Grupo	Jobs M1(n)	Jobs M2(m)	NP	TP	Código
1	5	3-4-5-6-7	U(1,4)	U(1,10)	5-m-np-1
	10	6-8-10-12-14	U(1,9)	U(1,10)	10-m-np-1
	20	12-16-20-24-28	U(1,19)	U(1,10)	20-m-np-1
	40	24-32-40-48-56	U(1,39)	U(1,10)	40-m-np-1
	60	36-48-60-72-84	U(1,59)	U(1,10)	60-m-np-1
2	5	3-4-5-6-7	U(1,4)	U(10,100)	5-m-np-2
	10	6-8-10-12-14	U(1,9)	U(10,100)	10-m-np-2
	20	12-16-20-24-28	U(1,19)	U(10,100)	20-m-np-2
	40	24-32-40-48-56	U(1,39)	U(10,100)	40-m-np-2
	60	36-48-60-72-84	U(1,59)	U(10,100)	60-m-np-2

Figura 3 – Resumo das Instâncias Geradas. Fonte: Fonseca, Nogueira e Ravetti (2017)

5 Modelagem matemática e Teste de Robustez

5.1 Transformação da variável determinística em estocástica

Para aproximar da realidade, foi adicionado ao modelo um novo parâmetro, que representa o tempo de chegada dos *jobs* na M1.

Tabela 5 – Parâmetro

Parâmetro	Descrição
Tn	Tempo de chegada do <i>job</i> n na máquina 1

Fonte: O autor (2020)

Com a adição desse parâmetro, acrescenta-se o *release date* no modelo. Assim, é possível realizar um sequenciamento mais fiel pois agora é possível considerar agendamento e atraso de chegada para descarregamento no centro de distribuição.

Após a criação do novo parâmetro, adequa-se o modelo matemático original de forma a suportar a mudança realizada. Essa mudança foi incorporada nas restrições 5.2, 5.4 e 5.6 substituindo, onde antes começava em 0 ou logo após o término de descarregamento do *job* anterior, para Tn . Ou seja, incorpora-se o horário real que o caminhão chega na doca 2 no modelo.

$$\min Z = C_{max} \quad (5.1)$$

$$\sum_{t=Tn}^{T-p_{1j}} x_{jt} = 1, \forall j \in J^1, \quad (5.2)$$

$$\sum_{t=0}^{T-p_{2j}} y_{jt} = 1, \forall j \in J^2, \quad (5.3)$$

$$\sum_{j \in J^1} \sum_{s=\max(Tn; t-p_{1j}+1)} x_{js} \leq 1, \forall t \in T, \quad (5.4)$$

$$\sum_{j \in J^2} \sum_{s=\max(0; t-p_{2j}+1)} y_{js} \leq 1, \forall t \in T, \quad (5.5)$$

$$\sum_{t=0}^{T-p_{2j}} ty_{jt} - \sum_{t=Tn}^{T-p_{1k}} (t+p_{1k})x_{kt} \geq 0, \forall j \in J^2 \wedge \forall k \in S_j^2, \quad (5.6)$$

$$C_{max} \geq p_{2j} + \sum_{t=0}^{T-p_{2j}} ty_{jt}, \forall j \in J^2, \quad (5.7)$$

$$x_{jt} \in \{0,1\} \forall j \in J^1 \wedge \forall t \in T, \quad (5.8)$$

$$y_{jt} \in \{0,1\} \forall j \in J^2 \wedge \forall t \in T, \quad (5.9)$$

$$C_{max} \geq 0. \quad (5.10)$$

5.2 Novo Banco de Dados

Para cálculo do novo parâmetro, roda-se o sequenciamento a primeira vez. Coloca-se uma distribuição uniforme que dê valores com uma margem de 10 tempos para cima no tempo de chegada do *job* de acordo com o sequenciamento inicial de forma a simular um possível atraso do *job* naquela doca.

Para geração de todas as instâncias, utiliza-se a linguagem *Python* com exportação de dados em *.txt* para leitura no *Software AMPL*, utilizado para sequenciamento dos caminhões.

Tabela 6 – Banco de Dados

<i>Jobs</i> M1(<i>n</i>)	<i>Jobs</i> M2(<i>m</i>)	NP	TP	<i>T_n</i>
5	3-4-5-6-7	U(1,4)	U(1,10)	U(0,10)
10	6-8-10-12-14	U(1,9)	U(1,10)	U(0,10)

Fonte: O autor, 2020

É válido ressaltar que esta adição de incerteza não altera o comportamento, ou seja, não há aumento no porte do modelo. Continua-se tendo um modelo NP-difícil. Isso ocorre pelo fato de se ter a mesma quantidade de variáveis binárias e número de restrições.

As análises foram executadas em uma máquina com processador Intel(R) Core(TM) i5-6300U CPU @ 2.50 GHz com 4,00 GB de RAM, SSD de 120 GB e sistema operacional Windows 10. Foi utilizada a linguagem de programação Python 3.7.3, compilada através do *software* PyCharm 2019.1.2 (*Community Edition*) e o *software* de otimização AMPL Optimization Inc, versão 3.6.1.201912161614.

5.3 Teste de Robustez para uma instância aleatória

Considerando 2 *jobs* de entrada em M1 e 6 *jobs* de saída em M2, têm-se os seguintes tempos de processamento para cada *job* representado na Figura 4 e os precedentes representados na Figura 5.

$$P^1 = \{p_1^1 = 4, p_2^1 = 2\}$$

$$P^2 = \{p_1^2 = 1, p_2^2 = 1, p_3^2 = 2, p_4^2 = 2, p_5^2 = 1, p_6^2 = 2\}$$

Figura 4 – Tempo de Processamento dos *Jobs*. Fonte: O autor

$$j_1^2 = \{j_1^1\}, j_2^2 = \{j_1^1\}, j_3^2 = \{j_1^1, j_2^1\}, j_4^2 = \{j_2^1\}, j_5^2 = \{j_2^1\}, j_6^2 = \{j_1^1, j_2^1\}$$

Figura 5 – Precedência dos *Jobs*. Fonte: O autor

Considerando estes tempos de processamento e precedências, têm-se o seguinte sequenciamento em M1 e em M2 (Figura 6). É válido lembrar que, neste primeiro momento, não é considerado nenhum tempo de atraso ou antecipação de nenhum *job* em nenhuma doca.

$$M1 = \{j_2^1, j_1^1\}$$

$$M2 = \{j_4^2, j_5^2, j_6^2, j_3^2, j_1^2, j_2^2\}$$

Figura 6 – Sequenciamento dos *Jobs* sem atraso. Fonte: O autor

Neste sequenciamento, têm-se o *makespan* igual a 12 tempos.

Considerando as mesmas instâncias, porém, agora com um atraso de 2 tempos no j_2^1 da M1, têm-se o seguinte sequenciamento:

$$M1 = \{j_2^1, j_1^1\}$$

$$M2 = \{j_4^2, j_5^2, j_1^2, j_2^2, j_3^2, j_6^2\}$$

Figura 7 – Sequenciamento dos *Jobs* com pequeno atraso. Fonte: O autor

Neste sequenciamento, têm-se o *makespan* igual a 14 tempos.

É válido ressaltar que, para manter o melhor tempo de processamento de todos os caminhões, o modelo gerou um novo sequenciamento para os caminhões em M2, porém manteve o mesmo sequenciamento em M1.

Considerando as mesmas instâncias, porém, agora com um atraso considerável de 6 tempos no j_2^1 em M1, têm-se o seguinte sequenciamento:

$$M1 = \{j_1^1, j_2^1\}$$

$$M2 = \{j_1^2, j_2^2, j_3^2, j_4^2, j_5^2, j_6^2\}$$

Figura 8 – Sequenciamento dos *Jobs* com atraso considerável. Fonte: O autor

Já neste caso, considerando um atraso de 6 tempos, têm-se um novo sequenciamento tanto em M1 quanto em M2. Além disso, o *makespan* deste sequenciamento é igual a 15 tempos e, caso não ocorresse este novo sequenciamento, teríamos o *makespan* igual a 18 tempos. É importante

ressaltar que temos um ganho de tempo considerável neste caso, e, estamos considerando apenas um conjunto de carregamento e descarregamento.

6 Resultados e discussões

Para analisarmos melhor o modelo e os resultados apresentados com um atraso de 6 tempos, têm-se:

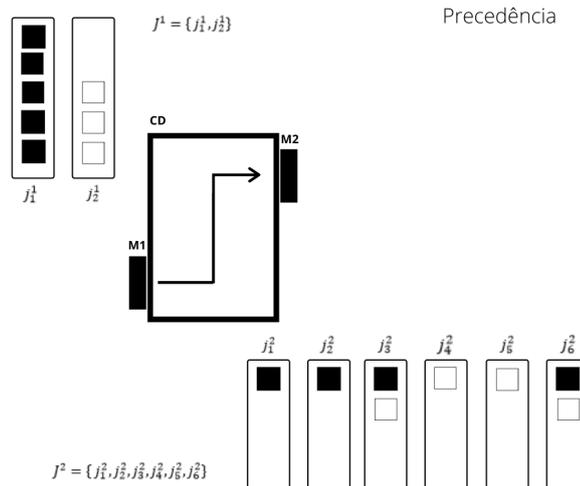


Figura 9 – Precedência. Fonte: O autor

Apresenta-se uma instância com 2 jobs em M1 e 6 jobs em M2. Para mostrar as precedências dos jobs, representa-se em mercadorias compatíveis aos seus respectivos jobs, ou seja, caso o job em M2 tenha uma mercadoria na cor preta, ele tem o j_1^1 em M1 como precedente e caso tenha uma mercadoria na cor branca, ele possui o j_2^1 em M1 como precedente.

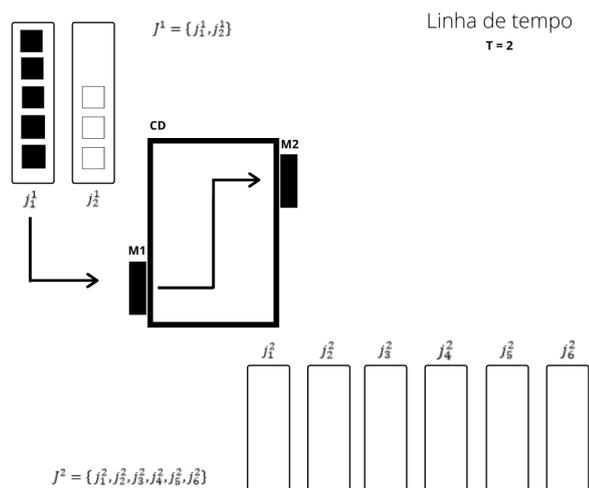


Figura 10 – Tempo 4. Fonte: O autor

Considerando que o j_2^1 tenha 6 tempos de atraso, sequencia-se o j_1^1 para entrar em M1 e começar o descarregamento. O j_1^1 começa em M1 no tempo 2 pois esse é o tempo agendado inicialmente sem atraso. Tempo de descarregamento do j_1^1 é de 4 tempos.

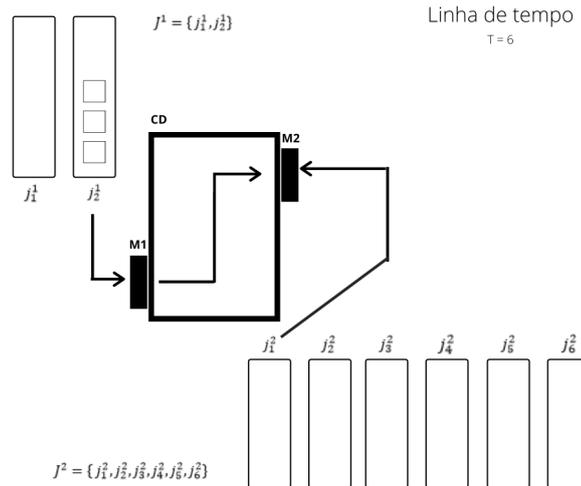


Figura 11 – Tempo 8. Fonte: O autor

O j_2^1 chega no tempo 6, entra na M1 e começa o seu descarregamento. Como no tempo 6, já temos o descarregamento completo do j_1^1 em M1 e por isso, em M2, o *job* que apenas tenha ele como precedente, é suscetível a entrar na doca, e é o que ocorre. O j_1^2 do conjunto J^2 entra para carregamento.

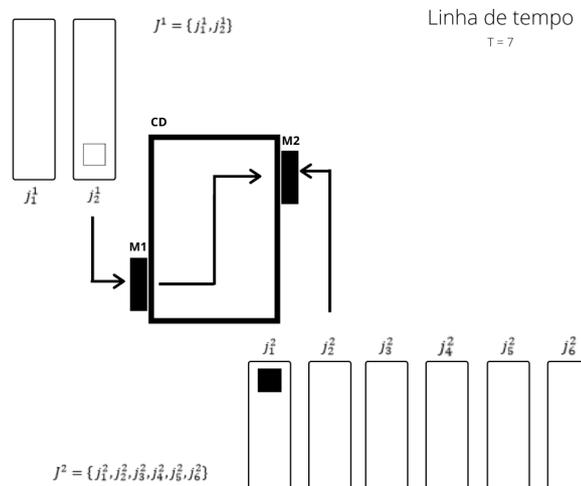


Figura 12 – Tempo 12. Fonte: O autor

No tempo 7, o descarregamento do j_2^1 em M1 ainda está em processo e a M2 está livre, visto que o j_1^2 já carregou completamente até este tempo. Neste momento, sequencia o j_2^2 em M2. Este *job* possui tempo de carregamento igual a 1 tempo.

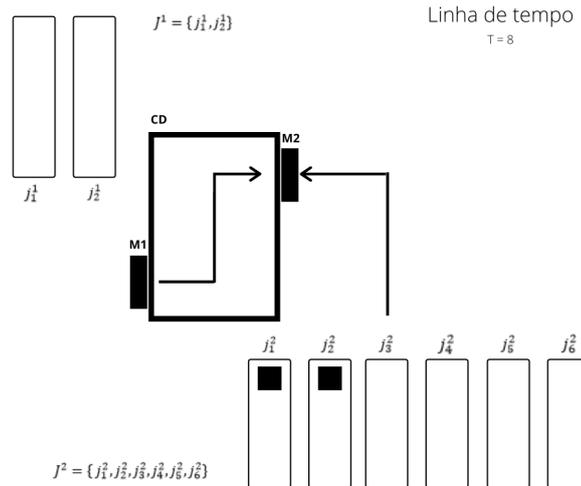


Figura 13 – Tempo 15. Fonte: O autor

Neste momento, o j_2^1 finaliza o descarregamento e, por isso, têm-se todos os *jobs* do conjunto J^1 descarregados e dois *jobs* do conjunto J^2 carregados. Segue restante do sequenciamento:

- No tempo 8, representado pela Figura 13, o j_3^2 é sequenciado a entrar em M2 e começar o carregamento. Este *job* possui tempo de carregamento igual a 2 tempos.
- No tempo 10, representado pela Figura 14, o j_4^2 é sequenciado a entrar em M2. Seu tempo de carregamento é igual a 2 tempos.
- No tempo 12, representado pela Figura 15, o j_5^2 é sequenciado a entrar em M2. Seu tempo de carregamento é igual a 1 tempo.
- No tempo 13, representado pela Figura 16, o j_6^2 é sequenciado a entrar em M2. Seu tempo de carregamento é igual a 1 tempo
- Por fim, representado pela Figura 17, no tempo igual a 15, temos o fim de todo o processo em todas as máquinas.

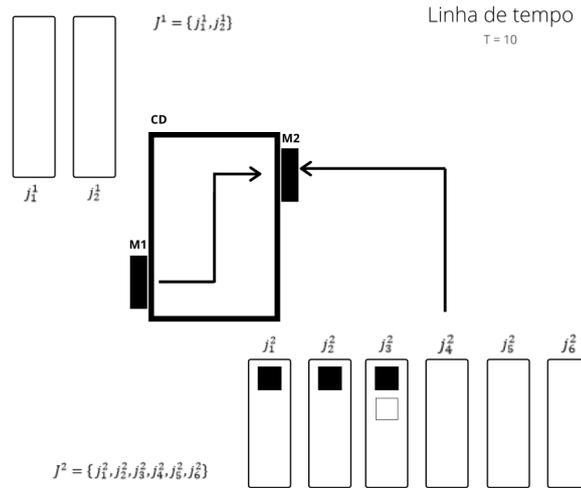


Figura 14 – Tempo 16. Fonte: O autor

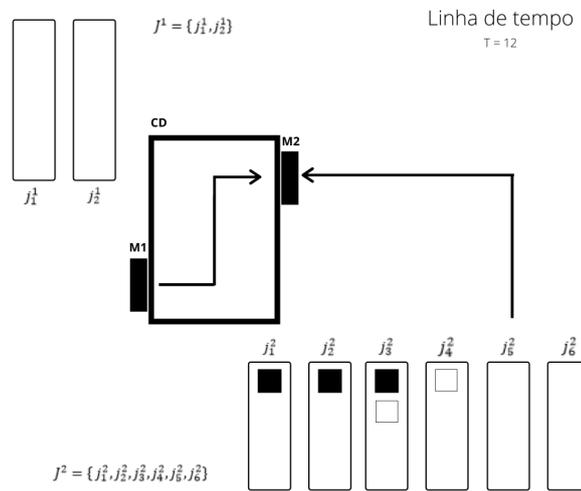


Figura 15 – Tempo 18. Fonte: O autor

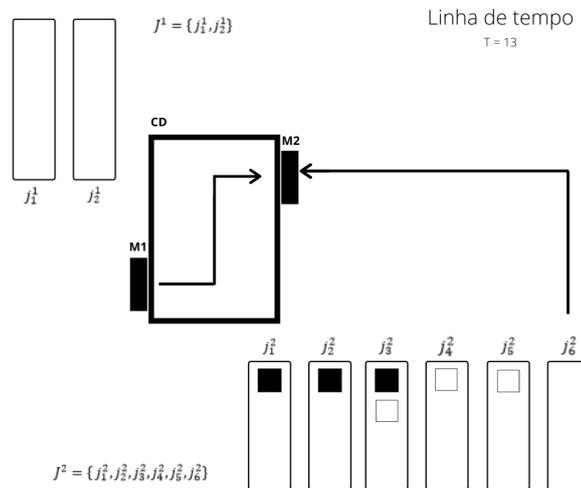


Figura 16 – Tempo 20. Fonte: O autor

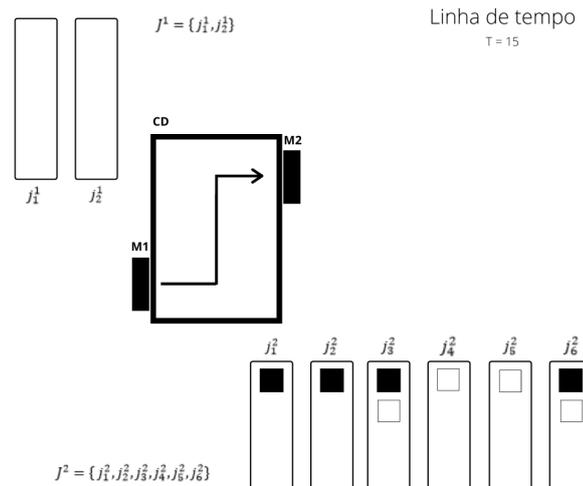


Figura 17 – Tempo 21. Fonte: O autor

Apresenta-se outros resultados que abrangem demais casos que podem ocorrer em um centro de *crossdocking*.

Tabela 7 – Resultados

Modelo	M1(4)	M2(3)	TP(j1=4)	Makespan
Sem atraso sem sequenciamento	1-2-3-4	1-2-3	0	21
Sem atraso com sequenciamento	1-4-3-2	1-2-3	0	15
Com atraso sem novo sequenciamento	1-4-3-2	1-2-3	3	18
Com atraso com novo sequenciamento	1-3-4-2	2-1-3	3	17
Modelo	M1(4)	M2(6)	TP(j1=2)	Makespan
Sem atraso sem sequenciamento	1-2-3-4	1-2-3-4-5-6	0	28
Sem atraso com sequenciamento	4-2-3-1	1-2-3-6-5-4	0	20
Com atraso sem novo sequenciamento	1-4-3-2	1-2-3-6-5-4	4	24
Com atraso com novo sequenciamento	4-3-1-2	1-3-5-6-4-2	4	23
Modelo	M1(3)	M2(3)	TP(j1=2)	Makespan
Sem atraso sem sequenciamento	1-2-3	1-2-3	0	24
Sem atraso com sequenciamento	2-3-1	3-2-1	0	15
Com atraso sem novo sequenciamento	1-4-3-2	3-2-1	7	22
Com atraso com novo sequenciamento	3-2-1	2-3-1	7	19
Modelo	M1(5)	M2(6)	TP(j1=5)	Makespan
Sem atraso sem sequenciamento	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5-6	0	39
Sem atraso com sequenciamento	1-5-3-4-2	4-2-1-3-6-5	0	27
Com atraso sem novo sequenciamento	1-5-3-4-2	4-2-1-3-6-5	4	31
Com atraso com novo sequenciamento	1-3-4-5-2	4-1-3-2-6-5	4	29

Fonte: O autor, 2020

Na Tabela 8, temos i. Modelo, que representa qual é o tipo de caso a ser tratado; ii. M1(n), que representa quantos *jobs* foram sequenciados em M1 e sua ordem; iii. M2(m), que representa quantos *jobs* foram sequenciados em M2 e sua ordem; iv. TP(j1=x), em que x equivale ao *job* em M1 no qual foi adicionado o atraso; v. *Makespan*, que representa o tempo total do processo.

A base de comparação dos *jobs* sem atraso e sem sequenciamento gera um tempo maior de sequenciamento pois os *jobs* do conjunto J^2 esperam todos os *jobs* do conjunto J^1 descarregarem para começar o descarregamento. Já a base sem atraso e com sequenciamento, leva em consideração o melhor sequenciamento na máquina 2, porém não considera incerteza no tempo de chegada dos caminhões. A base de comparação com atraso e sem novo sequenciamento tem o maior tempo total de processamento pois cria-se uma folga entre o sequenciamento do *job* com atraso para o próximo *job* da linha. E, por último, a base com atraso e com novo sequenciamento minimiza a influencia do atraso na máquina 1, gerando assim uma economia de tempo.

No melhor caso das instâncias acima, no terceiro modelo com 3 *jobs* em M1 e 3 *jobs* em M2, têm-se um ganho de 3 tempos. Este ganho representa uma diminuição de 15,7% no processamento total do processo. Além da instância analisada, estes resultados mostram o ganho proposto no trabalho.

6.1 Análise dos Resultados

Ao analisar a instância ilustrada, representado na Figura 18, pode-se perceber o sequenciamento ótimo quando não se considera atraso.

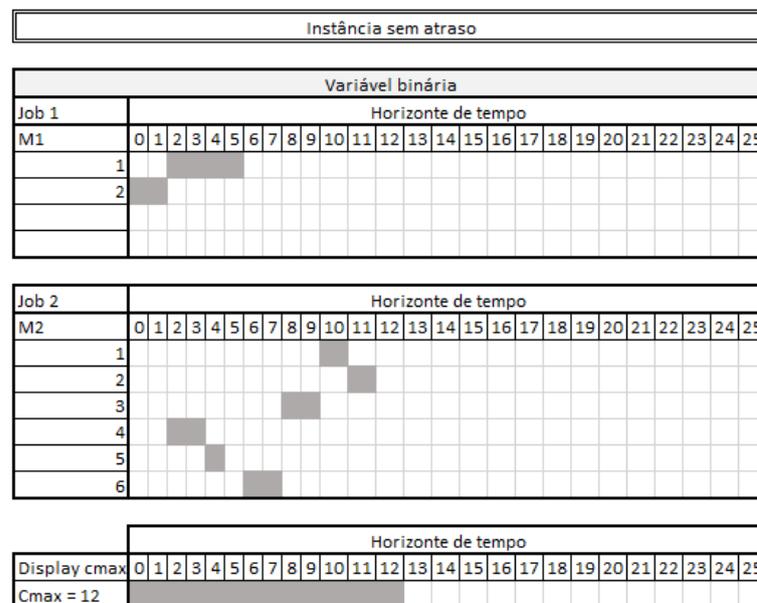


Figura 18 – Instância sem atraso. Fonte: O autor

O sequenciamento ótimo apresentado acima nos dá o tempo total de toda o operação, igual a 12 tempos.

Aqui cabe uma análise mais completa. Como é possível visualizar, têm-se o j_1^1 sequenciado em M1 pois, ele estava agendado para chegar no CD no tempo 2 logo após o descarregamento do j_2^1 . Se o sequenciamento inicial fosse mantido, o j_1^1 teria que esperar até o tempo 8 para começar o descarregamento, aumentando em 6 tempos o *makespan* do processo. Para melhor exemplificar, apresenta-se este sequenciamento na Figura 21.

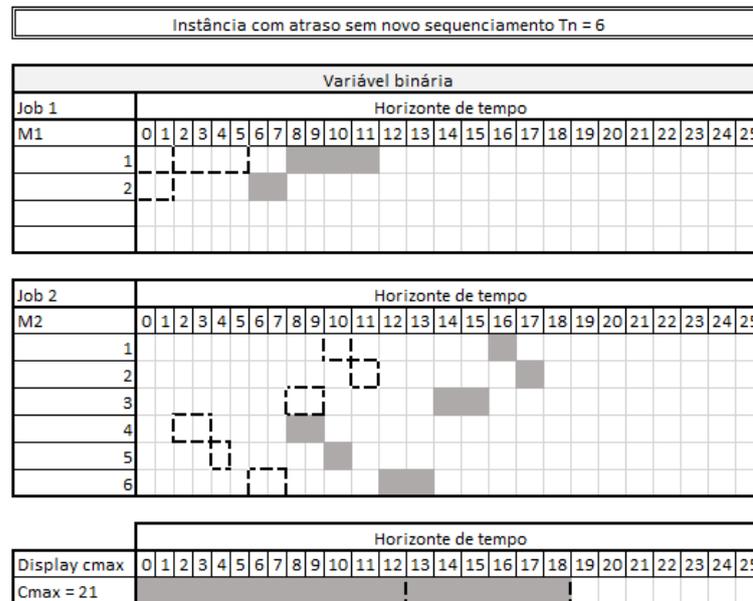


Figura 21 – Instância com atraso e sem novo sequenciamento - Tn = 6. Fonte: O autor

Considerando essa instância analisada, pode-se concluir a importância do agendamento e da adequação do sequenciamento durante o processo de *crossdocking* em um Centro de Distribuição. Neste caso, tivemos um ganho de 3 tempos, o que representa 20% do tempo total do processo. Levando isso para os custos do operador do centro, é uma economia considerável para manter toda a operação.

Para cálculo do que representa a redução de 20% no tempo total de operação, considera-se o i) menor salário da categoria de acordo com a Catho em 2018 (assistente de logística); ii) uma rotina de trabalho com 40 horas semanais no centro de distribuição iii) e que os 15 tempos sejam equivalentes a 8 horas. Dessa maneira, a economia mensal para o operador logístico com um único funcionário seria de R\$ 339,40.

7 Conclusão e trabalhos futuros

Este estudo apresentou e analisou o sequenciamento de *jobs* em um centro de *crossdocking* com o objetivo de auxiliar o operador logístico na tomada de decisão e na minimização do *makespan*. Dadas as instâncias analisadas, conseguiu-se atingir o objetivo do trabalho.

A contribuição do modelo proposto é justificado pela consideração das incertezas inerentes à realidade do trabalho logístico, mais especificamente, atrasos que ocorrem durante o dia e que impactam no agendamento prévio realizado. A formulação proposta tem apenas a adição de um parâmetro estocástico e, por não ter aumento de variáveis binárias e restrições, essa adição não aumenta a complexidade do modelo inicial.

Em centros de distribuição do tipo *crossdocking*, critérios de desempenho são mais importantes que comparados a centros de distribuições tradicionais. Uma contribuição secundária do estudo, além da diminuição de custos operacionais, é a agilidade da entrega, a qualidade do serviço prestado, e a diminuição no nível de complexidade gerencial em toda a cadeia de suprimentos.

Este estudo comprovou que o sequenciamento de caminhões em um centro de *crossdocking* pode melhorar significativamente o desempenho no centro de distribuição. Para trabalhos futuros, é importante acrescentar, além de atrasos, adiantamentos dos *jobs* em M1 e datas de entrega em M2. Além disso, pode-se, na função objetivo, considerar *early date*, isto é, a priorização dos *jobs*.

Ainda, pode-se tematizar a minimização i) de atrasos máximos dos *jobs* em M2, ii) das somas de atrasos de saída dos *jobs* em M2, iii) das somas de atrasos e avanços dos *jobs* em M2 e iv) dos *jobs* de saída e atrasos em M2.

É válida uma análise completa de custos logísticos, abrangendo todos os custos citados neste trabalho e, se possível, comparar com dados reais de uma empresa, para mensurar o total impacto monetário na operação. Ademais, é oportuno um estudo continuado para melhor exploração das instâncias propostas pelo modelo base e considerar outra distribuição de probabilidade no parâmetro adicionado no modelo.

Referências

- ABOL. *Perfil dos Operadores Logísticos no Brasil - Relatório Analítico*. 2020. Acesso em: 12-10-2020. Disponível em: <<https://old.abolbrasil.org.br/pdf/1554746504.pdf>>.
- AMARAL SAMUEL BONATO, E. J. E. A. S. N. A. I. O método milk-run como estratégia para redução de custos logísticos: um estudo de caso. XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil, p. 1–12, 10 2018.
- BAKER, K. R.; TRIETSCH, D. *Principles of Sequencing and Scheduling*. [S.l.]: Wiley Publishing, 2009. ISBN 0470391650, 9780470391655.
- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: logística empresarial*. [S.l.]: Porto Alegre: Bookman, 2007.
- BIEGELMEYER, U. H. et al. Gestão dos custos de distribuição física: Modelo conceitual de análise e aplicação em duas empresas industriais. XIII Mostra de Iniciação Científica, Pós-graduação, Pesquisa e Extensão, p. 1–13, 2013.
- BURKE, P. G.; PROSSER, P. The distributed asynchronous scheduler. In: . [S.l.: s.n.], 1994.
- BUSINESS. *The 10 Largest E-commerce Markets in the World by Country*. 2020. Acesso em: 22-11-2020. Disponível em: <<https://www.business.com/articles/10-of-the-largest-ecommerce-markets-in-the-world-b/>>.
- CHEN, F.; LEE, C.-Y. Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem. *European Journal of Operational Research*, v. 193, p. 59–72, 02 2009.
- CHING, Y. H. *Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada*. 4rd. ed. [S.l.]: São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- CNT. *Custo logístico consome 12,7% do PIB do Brasil*. 2020. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/custo-logistico-consome-12-do-pib-do-brasil,note={Acessoem:12-10-202}.>>>.
- E-COMMERCE. *Por que a logística é um problema no Brasil?* 2020. Acesso em: 22-11-2020. Disponível em: <<https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/porque-logistica-problema-brasil/>>.
- FARIA, A. C. de. Custos logísticos: Discussão sob uma ótica diferenciada. XI Congresso Brasileiro de Custos, p. 1–22, 10 2004.
- FILHO, J. *Gestão da Logística em um Centro de Armazenagem e Distribuição de Bebidas*. 2012. Monografia (Especialização em Logística Estratégica e Sistemas de Transportes), UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), Belo Horizonte, Brazil.
- FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. Armazenagem estratégica: Analisando novos conceitos. In: _____. *Logística empresarial*. Atlas: São Paulo, 2000.

- FONSECA, G.; NOGUEIRA, T.; RAVETTI, M. O problema de sequenciamento de caminhões em um centro de crossdocking com duas máquinas. XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2017.
- JUVELLA, R. V. S. Uma nova ferramenta logística. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 1–8, 10 2002.
- LAWLER, E. L. et al. Chapter 9 sequencing and scheduling: Algorithms and complexity. In: *Logistics of Production and Inventory*. [S.l.]: Elsevier, 1993, (Handbooks in Operations Research and Management Science, v. 4). p. 445 – 522.
- MARTIM, P. G.; CAMPOS, P. R. *Administração de materiais e recursos patrimoniais*. São Paulo: Saraiva, 2000.
- MARTINS, R. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 45–61.
- MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 165–194.
- NAKANO, D. Métodos de pesquisa adotados na engenharia de produção e gestão de operações. In: *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. [S.l.]: Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 63–72.
- OLIVEIRA, N. P. P. A eficiência da distribuição através da prática do cross docking. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 1–8, 10 2002.
- PINEDO, M. L. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. 3rd. ed. [S.l.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2008. ISBN 0387789340, 9780387789347.
- RIBEIRO, L. da S. *Implantação de um ponto de crossdocking móvel em área urbana para uma empresa de distribuição de bebidas do Rio de Janeiro*. 103 p. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2017.
- RÖHM ETHEL SILVA, J. H. C. P. D. A utilização do milk run em um sistema de abastecimento: Um estudo de caso. XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente, p. 1–12, 10 2010.