UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Otimização de comprovação fiscal para operação de fim específico exportação de commodities no Brasil

Felipe Guilmo Lourenço

Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria (MECAI)

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

Felipe Guilmo Lourenço

Otimização de comprovação fiscal para operação de fim específico exportação de commodities no Brasil

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria.
VERSÃO REVISADA

Área de Concentração: Matemática, Estatística e Computação

Orientador: Profa. Dra. Maristela Oliveira dos Santos

USP – São Carlos
Agosto de 2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)

L892o Lourenço, Felipe Guilmo
 Otimização de comprovação fiscal para operação de
fim específico exportação de commodities no Brasil /
Felipe Guilmo Lourenço; orientadora Maristela
Oliveira Dos Santos. -- São Carlos, 2019.
 85 p.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Mestrado Profissional em Matemática, Estatística
e Computação Aplicadas à Indústria) -- Instituto de
Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade
de São Paulo, 2019.

 1. Otimização Linear. 2. Exportação de
Commodities. 3. Heurística FIFO. 4. Dimensionamento
de Lotes. 5. Problema da Mochila. I. Dos Santos,
Maristela Oliveira, orient. II. Título.

Felipe Guilmo Lourenço

**Optimization of fiscal proving for specific purpose export of
commodities in Brazil**

Master dissertation submitted to the Institute of Mathematics and Computer Sciences – ICMC-USP, in partial fulfillment of the requirements for the degree of the Master – Professional Masters in Mathematics, Statistics and Computing Applied to Industry. *FINAL VERSION*

Concentration Area: Mathematics, Statistics and Computing

Advisor: Profa. Dra. Maristela Oliveira dos Santos

**USP – São Carlos
August 2019**

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus que me acompanha em todos os momentos de minha vida, iluminando o meu caminho e me guardando de todo mal.

A minha esposa Breila que esta sempre ao meu lado me dando forças, incentivando e me motivando nos momentos bons e difíceis desde que nos conhecemos.

Aos meus pais Alexandre e Edna, que me deram todo o alicerce para a minha formação, me ensinando a ter caráter, valores e a seguir o caminho certo.

As minhas irmãs Lara e Linda por todo o companheirismo.

E aos meus tios e padrinhos Luiz e Sílvia pelo apoio prestado em diversos momentos.

AGRADECIMENTOS

Além de agradecer a todos a quem dedico este trabalho, agradeço também as seguintes pessoas.

A Professora e Orientadora Prof(a). Dr(a). Maristela de Oliveira Santos por toda a ajuda e acompanhamento durante todo o desenvolver deste trabalho, com quem pude contar sempre que as dificuldades apareceram e que não mediu esforços em ajudar a concluir este trabalho.

Ao amigo Dr. Artur Lovato da Cunha, que por muitas vezes pude contar com seu apoio e que acompanhou o desenvolvimento de todo este trabalho.

Ao amigo André Valner Ruis que, comigo, iniciou este mestrado e que em muitos momentos me ajudou.

Ao Prof. Dr. Luis Gustavo Nonato que foi meu orientador durante um período de meu mestrado e a quem eu sou muito grato pelo apoio prestado desde o início.

Aos amigos do trabalho Andrea, Carlos, Pedro e Samuel que me ajudaram nos momentos em que tive que me ausentar para comparecer as disciplinas deste mestrado e aos que também, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse desenvolvido.

E a toda equipe do ICMC-USP.

*“Nenhum mal te atingirá, nenhum flagelo chegará à tua tenda, porque aos seus anjos ele
mandou que te guardem em todos os teus caminhos.”
(Salmo 90, 10:11)*

RESUMO

LOURENÇO, F. G. **Otimização de comprovação fiscal para operação de fim específico exportação de commodities no Brasil.** 2019. 85 p. Dissertação (Mestrado – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2019.

Neste trabalho apresentamos dois modelos de otimização e um método heurístico de solução para tratar um problema de comprovação fiscal em exportações de *commodities* no Brasil. Dos modelos de otimização, um foi desenvolvido baseado no Problema de Dimensionamento de Lotes e outro no Problema da Mochila. O governo brasileiro estimula as exportações no país através de alguns benefícios fiscais, alguns desses, sendo possíveis através da comprovação fiscal das exportações de mercadorias acompanhadas de notas fiscais de tipo de operação de fim específico para a exportação. Os benefícios deixam de ser concedidos a partir da perda do prazo da comprovação fiscal da nota fiscal, que é realizado utilizando a Declaração Única de Exportação (DU-E). Cada nota fiscal possui uma data de emissão, dias de isenção fiscal, o percentual da alíquota de ICMS cobrado dependendo do estado emissor, os itens e suas quantidades. As decisões visam estabelecer as combinações de quais notas fiscais devem ser comprovadas em cada embarque de produtos para o mercado exterior, obedecendo às suas datas de isenção de modo a minimizar os impostos pagos devido aos vencimentos dos prazos de despachos das notas. Os resultados obtidos por meio do modelo matemático mostram que a política otimizada de embarque dos produtos das notas fiscais apresenta uma redução dos custos em aproximadamente 39% em determinadas situações.

Palavras-chave: Otimização Linear. Exportação de Commodities. Heurística FIFO. Dimensionamento de Lotes. Problema da Mochila.

ABSTRACT

LOURENÇO, F. G. **Optimization of fiscal proving for specific purpose export of commodities in Brazil**. 2019. 85 p. Dissertação (Mestrado – Mestrado Profissional em Matemática, Estatística e Computação Aplicadas à Indústria) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2019.

In this paper we present two optimization models and a heuristic method to deal with a problem of export tax on Brazilian commodities. Regarding the optimization models, one was developed based on the lot-sizing problem and an other on the knapsack problem. The Brazilian government encourages local exportation through tax benefits, some of them being possible by the taxation of exported goods being accompanied by invoices of an operation type that is specific for the purpose of the export. These benefits cease to be granted as a result of exceeding the tax invoice verification period, which is granted using the Single Export Declaration (DU-E). Each invoice has a date issue, days of tax exemption, the percentage of the ICMS tax rate charged depending on the issuing state, the items and their quantities. The decisions aim to establish the combinations of which invoices must be presented for each shipment of products to the foreign market, obeying their exemption dates in order to minimize the taxes paid due the maturity of the delivery times on the documents. The results obtained using the mathematical model show that the optimized shipping policy for invoiced products presents a 39% reduction in costs in certain situations.

Keywords: Linear Optimization. Commodities Exports. FIFO Heuristics. Lot Sizing Problem. Knapsack Problem.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exportações Brasileiras do Agronegócio por mês: anos 2014- 2018	20
Figura 2 – Exportações Brasileiras do Agronegócio por Mercados/UF/Setores em 2018	21
Figura 3 – Balança Comercial do Agronegócio Brasileiro - Histórico de 10 Anos	22
Figura 4 – Distribuição dos meios de transporte de mercadorias no Brasil e no mundo	23
Figura 5 – Fluxo de Grãos no Brasil	25
Figura 6 – Comparação em número de dados do Antigo x Novo Processo	28
Figura 7 – Antigo e novo fluxo de exportação	29
Figura 8 – Tabela de ICMS 2019	33
Figura 9 – Modelo de Nota Fiscal Eletrônica - DANFE	36
Figura 10 – Horizonte de Tempo x Período de Isenção de Notas Fiscais	50
Figura 11 – Imposto Pago / Meses (Modelo A - Instância A)	51
Figura 12 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo A - Instância A)	51
Figura 13 – Imposto Pago / Mês (Modelo A - Instância B)	52
Figura 14 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo A - Instância B)	52
Figura 15 – Imposto Pago / Mês (Modelo A - Instância C)	53
Figura 16 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo A - Instância C)	53
Figura 17 – Imposto Pago / Meses (Modelo A - Instância D)	54
Figura 18 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo A - Instância D)	54
Figura 19 – Imposto Pago / Meses (Modelo B - Instância A)	55
Figura 20 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo B - Instância A)	55
Figura 21 – Imposto Pago / Meses (Modelo B - Instância B)	56
Figura 22 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo B - Instância B)	56
Figura 23 – Imposto Pago / Meses (Modelo B - Instância C)	56
Figura 24 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo B - Instância C)	57
Figura 25 – Imposto Pago / Meses (Modelo B - Instância D)	57
Figura 26 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo B - Instância D)	57
Figura 27 – Imposto Pago / Meses (Método Heurístico - Instância A)	58
Figura 28 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Método Heurístico - Instância A)	58
Figura 29 – Imposto Pago / Meses (Método Heurístico - Instância B)	59
Figura 30 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Método Heurístico - Instância B)	59
Figura 31 – Imposto Pago / Meses (Método Heurístico - Instância C)	60
Figura 32 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Método Heurístico - Instância C)	60
Figura 33 – Imposto Pago / Meses (Método Heurístico - Instância D)	60

Figura 34 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Método Heurístico - Instância D)	61
Figura 35 – Comparativo de Imposto Pago / Meses (Instância A)	64
Figura 36 – Comparativo dos Totais de Impostos Pagos (Instância A)	64
Figura 37 – Comparativo de Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Instância A)	65
Figura 38 – Valor Médio de Imposto Pago por Tonelada de NF Vencida / Modelo (Instância A)	65
Figura 39 – Comparativo de Imposto Pago / Meses (Instância B)	65
Figura 40 – Comparativo dos Totais de Impostos Pagos (Instância B)	66
Figura 41 – Comparativo de Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Instância B)	66
Figura 42 – Valor Médio de Imposto Pago por Tonelada de NF Vencida / Modelo (Instância B)	67
Figura 43 – Comparativo de Imposto Pago / Meses (Instância C)	67
Figura 44 – Comparativo dos Totais de Impostos Pagos (Instância C)	67
Figura 45 – Comparativo de Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Instância C)	68
Figura 46 – Valor Médio de Imposto Pago por Tonelada de NF Vencida / Modelo (Instância C)	68
Figura 47 – Comparativo de Imposto Pago / Meses (Instância D)	69
Figura 48 – Comparativo dos Totais de Impostos Pagos (Instância D)	69
Figura 49 – Comparativo de Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Instância D)	69
Figura 50 – Valor Médio de Imposto Pago por Tonelada de NF Vencida / Modelo (Instância D)	70
Figura 51 – Problema da Mochila	76
Figura 52 – Problema da Mochila Múltipla	80
Figura 53 – Problema da Mochila Fracionária	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Notas Fiscais	46
Tabela 2 – Embarques	48
Tabela 3 – Embarques X Notas Fiscais	49
Tabela 4 – Memória em Byte	61
Tabela 5 – Tempo de execução em segundos	62
Tabela 6 – Valores das funções objetivos	62
Tabela 7 – Valor Total (somando sobra de notas) das instâncias / modelos	63
Tabela 8 – Percentual de redução de imposto pago por instância / Modelo	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACD	Apresentação da Carga para Despacho
BRICS	Brasil, Rússia, Índia e China
CA	Conferência Aduaneira
CCT	Controle de Carga e Trânsito
CIF	Cost, Insurance and Freight
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CPF	Cadastro de Pessoa Física
DANFE	Documento Auxiliar da Nota Fiscal Eletrônica
DE	Declaração de Exportação
DSE	Declaração Simplificada de Exportação
DU-E	Declaração Única de Exportação
FIFO	First in first out
FOB	Free On Board
GR	Gerenciamento de Risco
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços
IPI	Imposto de Produtos Industrializados
LPCO	Licenças, Permissões, Certificados e Outros Documentos à Exportação
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NFE	Nota Fiscal Eletrônica
ONU	Organização das Nações Unidas
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PIS	Contribuição para o Programa de Integração Social
PROCOMEX	Aliança Pró Modernização de Comércio Exterior
RADAR	Registro e Rastreamento da Atuação dos Intervenientes Aduaneiros
RE	Registro de Exportação
RFB	Receita Federal do Brasil
SISCOMEX	Sistema Integrado de Comércio Exterior
SRF	Secretaria da Receita Federal
TA	Tratamento Administrativo
URF	Unidade da Receita Federal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	História da Exportação no Brasil	16
1.2	Objetivos	17
1.3	Organização do Trabalho	18
2	EXPORTAÇÃO NO BRASIL	20
2.1	Comércio Externo Brasileiro	20
2.2	Logística	21
2.3	Alfândega	26
2.4	Despacho de Exportação por Declaração Única de Exportação (DU-E)	28
2.5	Tipos de Operações na Exportação	31
2.6	Regras Fiscais	32
3	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E ABORDAGENS DE SOLUÇÃO	35
3.1	Modelo Matemático A	39
3.1.1	Índices	39
3.1.2	Parâmetros	39
3.1.3	Subconjuntos	39
3.1.4	Variáveis contínuas	39
3.1.5	Função Objetivo	40
3.1.6	Restrições	40
3.2	Modelo Matemático B	40
3.2.1	Índices	41
3.2.2	Subconjuntos	41
3.2.3	Parâmetros	41
3.2.4	Variáveis contínuas	41
3.2.5	Função Objetivo	41
3.2.6	Restrições	42
3.3	Método Heurístico	42
4	RESULTADOS COMPUTACIONAIS	45
4.1	Dados Utilizados	45
4.1.1	Notas Fiscais	45
4.1.2	Embarques	48

4.2	Resultados dos Modelos de Otimização e Método Heurístico	50
4.2.1	Resultados Modelo A	51
4.2.1.1	<i>Instância A</i>	51
4.2.1.2	<i>Instância B</i>	52
4.2.1.3	<i>Instância C</i>	53
4.2.1.4	<i>Instância D</i>	54
4.2.2	Resultados Modelo B	54
4.2.2.1	<i>Instância A</i>	54
4.2.2.2	<i>Instância B</i>	55
4.2.2.3	<i>Instância C</i>	56
4.2.2.4	<i>Instância D</i>	57
4.2.3	Resultados Método Heurístico	58
4.2.3.1	<i>Instância A</i>	58
4.2.3.2	<i>Instância B</i>	59
4.2.3.3	<i>Instância C</i>	59
4.2.3.4	<i>Instância D</i>	60
4.3	Comparação dos Resultados	61
4.3.0.1	<i>Instância A</i>	64
4.3.0.2	<i>Instância B</i>	65
4.3.0.3	<i>Instância C</i>	66
4.3.0.4	<i>Instância D</i>	68
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	71
	REFERÊNCIAS	73
APÊNDICE A	MOCHILA E SUAS VARIAÇÕES	76
A.1	Problema da mochila	76
A.1.1	<i>Mochila Booleana</i>	77
A.1.2	<i>Mochila Compartimentada</i>	78
A.1.3	<i>Mochilas Múltiplas</i>	80
A.1.4	<i>Mochila Fracionária</i>	81
APÊNDICE B	DIMENSIONAMENTO DE LOTES	83
B.1	Modelo de Dimensionamento de Lotes Monoestágio	83
B.1.1	<i>Índices</i>	83
B.1.2	<i>Parâmetros</i>	84
B.1.3	<i>Função Objetivo</i>	84
B.1.4	<i>Restrições</i>	84

INTRODUÇÃO

O termo exportar refere-se ao ato de remeter ou vender algo para outro país, cidade, município ou região diferente do que o produziu, compreendendo como saída definitiva ou temporária do local de origem, a título gratuito ou oneroso.

Exportação refere-se aquela atividade comercial através da qual um produto ou um serviço se vende no exterior, isto é, a outro país ou países. Ou seja, a exportação é uma atividade comercial legal que um país realiza com outro que justamente pretende, seja para usar ou consumir, algum produto ou serviço que se produz em outra nação. ([QUECONCEITO, 2019](#)).

Commodity é uma palavra originada da língua inglesa que, em português, significa mercadoria, porém é mais utilizada nas transações de produtos primários (matérias-primas) na bolsa de valores. Produtos classificados como *commodities* possuem como característica a fungibilidade, sendo uniformes, não podendo ser diferenciados por quem os produziu e possuem, na maioria das vezes, uma alta durabilidade, podendo ser trocados por outros do mesmo tipo e, ainda assim, manter o mesmo valor. Em outras palavras, não são diferenciados por quem os produziu ou pela origem, sendo o seu valor no mercado determinado pela oferta e procura no comércio mundial.

Alguns tipos de *commodities*:

- agrícola: café, trigo, soja, arroz, feijão, algodão;
- mineral: ouro, petróleo, minério de ferro, prata, aço, cobre;
- financeira: dólar, euro, real;
- recursos energéticos: energia elétrica;
- recursos pesqueiros: peixes, lulas, crustáceos, ostras.

A importância dos *commodities* se deve ao fato de serem matérias-primas para muitos outros produtos, um exemplo disso é a soja, sendo um *commodity* amplamente produzido no Brasil que está presente no molho shoyu e em diversos outros produtos industrializados.

Como muitas vezes os produtos finais não são produzidos pelas mesmas empresas que produzem estas matérias-primas, atualmente existem os mercados de *commodities* que possibilitam o comércio entre os produtores, comerciantes e consumidores dos produtos, resultando no surgimento de várias empresas que realizam exportações de *commodities* em grande escala para vários países do mundo.

1.1 História da Exportação no Brasil

Esta seção está fortemente baseada no artigo [MINIWEB \(2004\)](#), que aborda pontos da história da exportação no Brasil.

No período colonial, à economia brasileira estava acoplada a expansão mundial do capitalismo mercantil, no qual Portugal detinha a exclusividade de comerciar com a sua colônia. As técnicas agrícolas da época eram tão exaustivas que provocavam um desgaste muito grande na terra, onde estas práticas eram executadas, especificamente em grandes latifúndios de terras com mãos de obra indígenas e de escravos negros.

O Pau-Brasil foi o primeiro produto amplamente explorado e exportado do nosso país. Esse produto, na maior parte, era enviado para o continente europeu, onde extraíam a sua pigmentação e utilizavam nas tinturarias de tecidos da época.

No período Brasil Imperial, o café era o principal produto brasileiro destinado à exportação e, na última década do império, chegou a representar 60% de toda a exportação do país, aproveitando-se de um período de crise na produção de açúcar, que era o forte da época Brasil colônia.

Durante o século XIX, as regiões produtoras de café foram se deslocando e concentrando-se na região de Campinas, no estado de São Paulo. Isso ocorreu porque o solo da região do Vale da Paraíba já não tinha mais qualidade, pois, na época, não eram utilizadas técnicas de proteção de solo, o que resultou em erosões. Os plantios, a partir desta época, começaram a seguir para o oeste paulista, que possuía um espaço maior, a terra era de maior qualidade e conhecida como terra vermelha. Após começarem a perceber que a escravidão não continuaria, os agricultores do oeste paulista começaram a investir na mão de obra de imigrantes. Já os antigos cafeicultores do Vale do Paraíba não se adaptaram às mudanças e foram reduzidos quando ocorreu a abolição da escravidão.

De 1850 até o fim do período da monarquia, o país entrou em um período de modernização nas áreas financeiras e de comunicações, por meio do avanço do sistema bancário e no de transporte com a criação das ferrovias. Grande parte da conexão ferroviária estava em São Paulo

e no Rio de Janeiro, para levar o café até os portos para ser exportado para outros países. Neste mesmo período, surgiram novas culturas agrícolas, sendo elas a borracha, o cacau e o algodão. Em 1860, o algodão atingiu o segundo lugar na exportação nacional.

O período da Primeira República, que foi dos anos de 1889 até 1930, teve como sua característica a agricultura de exportação, sendo o café o produto mais importante seguido pela borracha da Amazônia. Os principais motivos que fizeram a cultura da borracha superar a cultura do açúcar foram a utilização de pneus de borracha em bicicletas e o início da produção de automóveis com pneus de borracha.

No ano de 1931 foi criado o Conselho Nacional do Café e também ocorreu o reinício da política de sua valorização. Por conta das supersafras do café, o governo chegou a comprar 80 milhões de sacas e destruí-las, pelo motivo da queda no valor do produto no mercado externo. Com a crise no mercado de café, a agricultura brasileira buscou a exploração de outros tipos de produtos, como algodão, óleos, frutas, minérios e vegetais, porém, os lucros obtidos com estes produtos não supriram o balanço financeiro do país. Com a Segunda Guerra Mundial em curso, o país deixou de fornecer alguns produtos como o algodão para países do eixo, o qual era fornecido em larga escala para a Alemanha e Japão até 1939. Durante os anos de 1930 e 1945, o Brasil passou por um surto no desenvolvimento industrial, com crescimento de 125% ao ano na década de 30 e no setor da agricultura 20%. No período da Segunda Guerra, o setor industrial sofreu um revés de 5,4% ao ano, porém, após o término da guerra, na década de 50, a indústria superou a agricultura na composição do produto interno bruto do país.

No período da ditadura militar (1964), a inflação no Brasil chegou a 80% e o Produto Nacional Bruto manteve margens baixíssimas. O governo, diante desta situação, adotou medidas com a finalidade de reduzir a inflação, sendo uma das medidas a utilização de cerca de 90% dos lucros obtidos com exportações para pagar juros de dívidas adquiridas.

Após o período da ditadura militar no Brasil, o país passou por um momento de grande parada econômica, sendo os anos 80 considerado como a década perdida. Com a abertura de mercado e a economia mundial em processo de globalização, o Brasil pode voltar a fase de crescimento.

1.2 Objetivos

Considerado um tema complexo dentro de empresas e países, as exportações têm um papel fundamental na economia de cada um e, muitas vezes, processos acabam criando barreiras que dificultam ou até mesmo impedem pequenos e grandes negócios de criarem oportunidades vantajosas para o nosso país. É por este motivo que esse projeto tem como finalidade, desenvolver um modelo matemático que visa minimizar o custo de empresas exportadores com impostos cobrados pelo governo, esse cobrado pela perda de prazos na comprovação fiscal de notas fiscais nas operações de compra com fim específico exportação.

Este modelo possui um conceito de segurança que em determinadas situações em que um exportador qualquer acabe tendo alguns imprevistos, possa realizar da melhor maneira possível para o exportador uma combinação otimizada de sua comprovação fiscal, reduzindo os prejuízos por conta de imprevistos.

1.3 Organização do Trabalho

Esta dissertação de mestrado está estruturada da seguinte maneira:

- **Capítulo 1 (INTRODUÇÃO):** de modo geral, um pouco sobre a história da exportação no Brasil de como foram iniciadas as atividades relacionadas e os produtos que mais se destacaram na época. Também estão resumidos os principais objetivos deste trabalho e a forma como está estruturado o texto.

- **Capítulo 2 (EXPORTAÇÃO NO BRASIL):** estão resumidos, separados por seções os principais pontos que compõem uma exportação no Brasil, sendo eles, sistemas logísticos, comércio, alfândega, sistemas de tecnologias utilizados no controle, tipos de operações e o ponto que este trabalho visa otimizar, que é a comprovação fiscal para tipos de operações de compra com fim específico exportação.

- **Capítulo 3 (DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E ABORDAGENS DE SOLUÇÃO):** este capítulo apresenta o problema detalhadamente e como é realizado a operação na maioria dos casos, em que não existe a otimização desenvolvida neste trabalho. É apresentado o modelo desenvolvido para resolver o problema e os seus critérios de utilização.

- **Capítulo 4 (RESULTADOS COMPUTACIONAIS):** são apresentados os dados utilizados e os resultados obtidos, sendo eles comparados com os resultados que se obtém pelo processo não otimizado. Comparações ilustram as vantagens financeiras de se utilizar o processo otimizado e as situações em que o modelo irá agregar maior valor para o negócio.

- **Capítulo 5 (CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS):** na conclusão está descrito o que obteve-se com o modelo otimizado, quais as vantagens e as motivações de seu uso. Também serão descritas as dificuldades encontradas e o conhecimento agregado após a pesquisa. Comentários sobre possíveis trabalhos futuros e quais segmentos despertam o interesse para a busca de uma melhoria contínua de processos que possam agregar ao trabalho das pessoas e criar novas oportunidades no ramo das exportação brasileiras.

- **Apêndice A (MOCHILA E SUAS VARIAÇÕES):** pelo fato do problema possuir como estrutura de combinação de notas fiscais e o estudo proposto é de otimizar esta combinação, este apêndice apresenta uma revisão bibliográfica sobre as variações do Problema da Mochila, presente na literatura matemática e que algumas de suas variações, fazem parte dos conceitos envolvidos no modelo B deste trabalho.

- **Apêndice B (DIMENSIONAMENTO DE LOTES):** este capítulo apresenta o problema

existente na literatura matemática chamado de Dimensionamento de Lotes ou em inglês *lot sizing*, que serve como inspiração para o desenvolvimento do modelo A deste trabalho.

EXPORTAÇÃO NO BRASIL

2.1 Comércio Externo Brasileiro

De acordo com o Ministério da Agricultura Brasileira, o setor do agronegócio brasileiro apresentou um aumento recorde, conforme exibido na Figura 1 na quantidade exportada no ano de 2018, tendo atingido em valores 101,7 bilhões de dólares, um crescimento em relação ao ano anterior de 5.9%. Esse aumento está relacionado ao interesse do mercado chinês pelos produtos do agronegócio brasileiro (REUTERS, 2019).

A Figura 1 demonstra os valores das exportações brasileiras mensalmente em bilhões de dólares para os anos de 2014 até 2018.

Figura 1 – Exportações Brasileiras do Agronegócio por mês: anos 2014- 2018

Fonte: MAPA (2018).

O Brasil é o maior exportador do mundo de suco de laranja, soja, café e açúcar. Atualmente, em primeiro lugar em quantidades na exportação brasileira, está a soja, com um volume recorde de exportação em 2018 de 83,6 milhões de toneladas (REUTERS, 2019).

Os gráficos representados na Figura 2 foram retirados do site do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), ilustrando três visões diferentes sobre as exportações do agronegócio brasileiro.

Figura 2 – Exportações Brasileiras do Agronegócio por Mercados/UF/Setores em 2018

Fonte: MAPA (2018).

O gráfico à esquerda na Figura 2 está segregando as exportações brasileiras por mercados, ficando evidente que o mercado chinês, o maior consumidor de produtos agrícolas do Brasil, equivale a mais de um terço das exportações do agronegócio brasileiro. Já o gráfico localizado no centro na Figura 2, define quais os estados que mais exportam produtos do agronegócio brasileiro, sendo o estado de São Paulo, seguido pelo Mato Grosso, Paraná, etc. Por último, no lado direito da imagem, o gráfico segrega as exportações brasileiras do agronegócio em setores, no qual de forma discrepante, a soja é o produto agrícola mais exportado do Brasil.

A Figura 3 mostra os valores em dólares da balança comercial brasileira do agronegócio dos anos de 2009 até 2018. Através do gráfico, podemos verificar o aumento expressivo das exportações entre os anos 2017 e 2018, o que pode ter sido influenciado pela guerra comercial entre os EUA e China. Também fica evidente uma queda brusca nos valores das exportações de 2014 a 2015, caindo ainda mais em 2016.

2.2 Logística

Nos Estados Unidos, em meados da década de 1960, a área de transporte logístico empresarial começou a chamar atenção para uma forma de pensar mais gerencial. As empresas observaram que, para atender um determinado cliente na hora, quantidade e destino certo, envolvia muito mais do que o transporte. A partir dessa percepção, a logística das empresas se tornou mais complexa, pois, com a intenção de reduzir os custos cada vez mais, as empresas começaram a gerenciar de forma mais otimizada o seu estoque, compras, produção, comunicações e informações (MACHLINE, 2011).

No período da Segunda Guerra Mundial, o termo logística foi vastamente utilizado, pois os militares se preocupavam com o abastecimento de munições e suprimentos. Estas preocupações logísticas e técnicas utilizadas foram fundamentais na vitória dos aliados e isso serviu como influência para as empresas aceitarem e adotarem as técnicas desenvolvidas como as de pesquisa

Figura 3 – Balança Comercial do Agronegócio Brasileiro - Histórico de 10 Anos

Fonte: MAPA (2018).

operacional. As técnicas de pesquisa operacional utilizadas baseavam-se principalmente na confecção de modelos matemáticos com o objetivo de resolver problemas complexos (MACHLINE, 2011).

O processo logístico é um dos pontos mais importantes em um ciclo de exportação, pois é responsável por toda a movimentação de mercadorias, que, no caso do agronegócio, acontece desde o campo até o consumidor final. Tornar o processo logístico mais eficiente é fundamental para reduzir custos com transporte e distribuição, diminuir a quantidade de ciclos utilizados para fabricar o produto e agilizar o atendimento de demandas de clientes (GOEBEL, 2002).

A distribuição, no contexto da exportação, possui diversas maneiras de ser realizada, podendo ser através de rotas marítimas, rodoviárias, ferroviárias, aéreas e fluviais. Conforme Goebel (2002), é através das vias marítimas que são realizadas cerca de 95% de toda a exportação brasileira, portanto, toda a mercadoria acaba sendo transportada até os portos do país.

Historicamente, o Brasil é o país que tem a maior concentração rodoviária de transporte de cargas e passageiros. Além disso, de acordo com o Índice de Competitividade Global 2018 do World Economic Forum (WEF), que compara 140 economias em diversos aspectos, o Brasil encontra-se no 84º lugar no quesito de infraestrutura do transporte, atrás de todos os demais parceiros do BRICS (além do Brasil, o grupo inclui Rússia, Índia, China e África do Sul) e de países como Namíbia, Quênia e Vietnã. As deficiências enfrentadas no Brasil nas áreas de logística e infraestrutura configuram-se como entraves para as vendas ao exterior (BONFANTI, 2018).

A Figura 4, exemplifica a fala de Bonfanti (2018), demonstrando graficamente as quantidades percentuais de utilização dos meios de transporte de mercadorias no Brasil comparado

com o mundo.

Figura 4 – Distribuição dos meios de transporte de mercadorias no Brasil e no mundo

Fonte: Bonfanti (2018).

Os transportes marítimos possuem algumas categorias, sendo elas:

- navegação de longo curso: quando o transporte é realizado entre portos internacionalmente;
- navegação de cabotagem: ocorre quando o transporte é realizado entre portos de uma mesma nação;
- navegação interior: é quando o transporte é através de hidrovias interiores, sendo por rotas internacionais ou nacionais.

As cargas transportadas durante toda a cadeia logística podem variar em seu formato e, muitas vezes, o meio de transporte acaba sendo definido de acordo com o tipo de acondicionamento das cargas. Sobre os conceitos de classificação e unitização de cargas, a primeira realiza o agrupamento da mercadoria de acordo com a natureza da mesma e a segunda é uma forma de agilizar o seu manuseio através de máquinas, trazendo segurança para os produtos e economias. As mercadorias que são transportadas possuem algumas características que as distinguem, sendo elas a perecibilidade, periculosidade, fragilidade, pesos considerados especiais e dimensões (RATTON *et al.*, 2015).

A seguir, citamos as classificações universais de cargas e seus respectivos conceitos.

1. **Carga Geral:** possui identificação e as unidades podem ser contadas. Estas podem ser classificadas como soltas ou unitizadas. Solta é quando são carregadas separadamente em tambores, caixas, sacas, pacotes, fardos ou embrulhos. Unitizadas são as cargas com agrupamento de diversos itens em outras unidades de transporte.
2. **Carga a Granel:** podem ser definidas nesta categoria quando embarcada e transportada seca sem acondicionamento ou em forma líquida. Esta categoria de produto geralmente

não possui marca de identificação e não há a contagem de unidades (por exemplo: soja, milho, etc).

3. **Carga Frigorificada:** esta categoria possui uma classificação separada das anteriores por conta das particularidades no manuseio, pois necessitam ser conservadas em temperaturas baixas para manter a qualidade do produto durante todo o processo de transporte (exemplo: carnes, frango, frutas e etc.).
4. **Carga Break Bulk:** no português, quebrar carga a granel. São consideradas as mercadorias de grandes volumes, não sendo consideradas a granel, mas devem ser carregadas individualmente, sem a utilização de contêineres ou tambores (carros, toras de madeiras, etc).
5. **Carga Perigosa:** são os produtos que oferecem riscos de acidentes, riscos ao meio ambiente e pessoas, riscos a meios de transporte e etc. Essa categoria possui uma classificação de 9 classes de mercadorias perigosas segundo a ONU (Organização das Nações Unidas), sendo as classes: I. Explosivos; II. Gases; III. Líquidos Inflamáveis; IV. Sólidos Inflamáveis/Substâncias sujeitas à combustão espontânea/Substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis; V. Substâncias Oxidantes e Peróxidos Orgânicos; VI. Substâncias Tóxicas e Substâncias Infectantes; VII. Material radioativo; VIII. Substâncias Corrosivas; IX. Substâncias e Artigos Perigosos Diversos (DER-SP, 2019).

Pelo fato do Brasil ser um país extremamente grande e existirem diversas áreas de plantio agrícola, as rotas logísticas muitas vezes acabam apresentando gargalos para a movimentação dos produtos até os portos, de onde a maior parte é exportada. Um dos grandes motivos é a falta de investimento em formas de transportes mais eficientes e baratas como ferrovias e hidrovias, que acabariam reduzindo, em grande escala, o volume intenso de caminhões presentes nas rodovias brasileiras, que em muitos casos estão abandonadas e não possuem boa infraestrutura, ocasionando muitos acidentes e prejuízos para o país, também impedindo um aumento das exportações do Brasil para o mundo.

O transporte das mercadorias dentro do território brasileiro, muitas vezes conta com pontos estratégicos e fundamentais que auxiliam no processo logístico, sendo eles: armazéns, silos, transbordo, etc. Nestes recintos, em muitos casos, são realizadas negociações comerciais por empresas *trading*, que conforme o nome em inglês significa negociação, atuam como intermediárias entre fabricantes e clientes, realizando negócios de compra e venda de produtos *commodities* e também embarque e desembarque. Estes meios centralizam os fluxos próximos, criando rotas logísticas por onde escoam de forma estratégica as mercadorias brasileiras, estas rotas também podem ser chamadas de corredores logísticos.

O ciclo dos grãos brasileiros basicamente passam por áreas de produção agrícola, fábricas onde, em alguns casos, são extraídos produtos como óleos e farelos, armazéns ou cooperativas, portos quando a finalidade é a exportação ou clientes no mercado interno (NETO, 2010).

Os corredores estratégicos de desenvolvimento são lugares ou eixos onde se viabilizam negócios, por meio de investimentos e da constituição de mercados produtores e consumidores, servindo-se de um complexo feixe de facilidades econômicas e sociais. Entre as quais, salienta-se, em sua função indutora do desenvolvimento, a existência de um sistema viário adequado sob a forma de corredor de transportes. Esse sistema é composto de rotas modais e multimodais que viabilizam o transporte de cargas produzidas em sua área de influência. Usualmente, desde 1971, vem sendo denominado esse conjunto de rotas de transportes, com suas facilidades, de corredor de transporte, pois para ele convergem às movimentações ou fluxos de cargas que ali se processam ou entram e saem de sua área de influência, observando-se, nesse aspecto, que é perfeitamente plausível determinadas regiões pertencerem à área de influência de mais de um corredor. (GEIPOT, 2002).

Os produtos que são beneficiados em fábricas, na maioria dos casos acabam sendo exportados pelas próprias indústrias que os produziram. Já os produtos em granel, que acabam de sair do campo, em quase todos os casos vão para armazéns ou cooperativas para serem comercializados com outras empresas, sendo elas na maioria das vezes as *tradings*, que compram estes produtos e quando não revendem dentro do mesmo mercado através de negociações vantajosas, acabam realizando a sua exportação (FILHO, 2000).

A Figura 5 apresenta uma imagem, na qual Neto (2010) representou, de forma visual, o fluxo mais comum de transporte dos grãos agrícolas brasileiros e as suas respectivas modalidades de frete que são utilizadas pelas empresas transportadoras.

Figura 5 – Fluxo de Grãos no Brasil

Fonte: Neto (2010).

As modalidades de frete mais conhecidas e mais utilizadas nos meios logísticos do agronegócio são:

- **FOB**, que em inglês define-se por *free on board* cuja tradução para o português é livre de bordo. Nesta modalidade, a empresa que embarcou a mercadoria, que poderia ser um produtor de grãos por exemplo, possui responsabilidade sob a mesma até o momento em que são coletadas ou re-despachadas. A partir do momento da coleta, as responsabilidades com a mercadoria e os gastos com o transporte ficam por conta do destinatário da carga ou clientes.

- **CIF**, que em inglês define-se por *Cost, Insurance and Freight*, cuja tradução para a língua portuguesa é custo, seguro e frete. Nesta modalidade de frete, os custos com o transporte e os riscos envolvidos ficam sob responsabilidade do embarcador, que é a pessoa quem está remetendo a mercadoria para um cliente ou qualquer outro tipo de destinatário. Na maioria dos transportes, os custos estão embutidos no preço de venda, sendo repassados para o cliente. Desta forma, o pagamento da mercadoria acaba sendo realizado na origem do transporte.

2.3 Alfândega

Quando o assunto é exportação, é comum ouvir o termo aduana, que tem o mesmo significado de alfândega. Estes termos referem-se ao órgão do governo que fiscaliza o que entra e sai de produto do país e as suas tributações.

O controle da aduana ou alfandega brasileira é realizado pela Secretaria da Receita Federal do Brasil (RFB) e a autoridade que realiza estas fiscalizações para este órgão é chamada de Auditor-Fiscal da Receita Federal.

De acordo com a Secretaria da Receita Federal do Brasil, ([RFB, 2014a](#)) o exercício da administração aduaneira compreende a fiscalização e o controle sobre o comércio exterior, essenciais à defesa dos interesses fazendários nacionais, em todo o território aduaneiro (Constituição Federal, art. 237).

Este controle aduaneiro não possui a finalidade de arrecadar, mas sim garantir a segurança da sociedade. Um exemplo que se pode dar para a fiscalização aduaneira é o questionamento se os produtos em questão possuem aprovação, oferecendo integridade e segurança aos consumidores. Da mesma forma, são realizadas verificações de normas pelos exportadores e importadores, recolhimento de taxas devidas, protegendo o mercado de competições desleais, que no caso, resulta na proteção de empresas nacionais ([RFB, 2014a](#)).

De acordo com [RFB \(2014c\)](#), o controle da aduana consiste em 3 pontos principais, sendo eles:

- controle de mercadorias;
- veículos utilizados no transporte das mercadorias;
- locais por onde as mercadorias possam transitar ou ser armazenadas.

Para o terceiro ponto, uma forma de realizar este controle é restringir os locais em que

mercadorias importadas ou que serão exportadas possam transitar ou ser armazenadas. Para atender a este controle, foi feita a divisão do território nacional em zonas (RFB, 2014c):

- **Zona Primária**, este termo é estabelecido para os aeroportos, portos marítimos e pontos de fronteira alfandegados.

- **Zona Secundária**, é toda a área restante do país que não se encaixa na zona primária.

Pontos de fronteira, aeroportos e portos marítimos são os únicos locais em que podem ser realizadas as entradas ou as saídas de mercadorias procedentes do exterior ou a ele destinadas. Para que esses pontos possam operar legalmente, é necessário um ato declaratório de competência da Receita Federal Brasileira, que autoriza estes locais realizar ações procedentes do exterior ou a ele destinado, sendo elas: transitar ou estacionar veículos; realizar operações de carga, descarga, armazenagem ou transporte de mercadorias; embarcar, desembarcar ou transitar viajantes (RFB, 2014c).

Outro critério está atribuído no local onde produtos importados possam ficar à espera do despacho aduaneiro, que neste caso só pode ser feita em recintos alfandegados. Os recintos alfandegados, após declarados por uma autoridade aduaneira, sendo ele da zona primária ou secundária, estão autorizados a movimentar, armazenar e realizar o despacho aduaneiro de mercadorias, bagagens e remessas postais internacionais, vindas do exterior ou a ele destinada (RFB, 2014c). Para despachos de importação, este pode ser realizado em zonas primárias ou secundárias. As unidades de despacho podem ser classificadas em dois tipos, sendo eles a URF de entrada no país, que é uma unidade da Receita Federal Brasileira responsável pela jurisdição de locais de entrada de mercadorias no país; e a URF de despacho, que é responsável pelo local em que produtos estão sendo submetidos ao despacho aduaneiro.

No que diz respeito à exportação, um dos instrumentos chave no controle aduaneiro é o Despacho de Exportação, que é o processo que valida as informações declaradas pelos exportadores em relação aos produtos, documentos e a legislação da operação, com a finalidade do desembaraço aduaneiro e a saída da mercadoria para o exterior, conforme o artigo 580 do regulamento aduaneiro.

Toda carga de produtos que possui a finalidade da exportação para o exterior, inclusive as reexportadas, está sujeita a confecção do Despacho de Exportação, de acordo com as particularidades específicas de cada operação e legislação. O Despacho de Exportação no Brasil atualmente é realizado pelo novo processo de exportação brasileiro, por meio de Declaração Única de Exportação (DU-E) (RFB, 2014b).

Atualmente é dispensada do processo de despacho aduaneiro de exportação a saída de mala consular ou diplomática do país, somente em casos em que esta possua somente objetos com a finalidade de uso oficial e documentos diplomáticos. Esta norma foi inserida pela convenção de Viena sobre relações diplomáticas, conforme artigo 27, promulgada pelo Decreto n.º 56.435, de 1965 e Instrução Normativa n.º 338, de 2003 (RFB, 2014b).

Conforme a [RFB \(2014b\)](#), o caso de mercadorias adquiridas no mercado interno, o despacho aduaneiro será processado levando em consideração a nota fiscal, não havendo a necessidade de registro no Sistema Integrado de Comércio Exterior (SISCOMEX), que também não dará direito ao vendedor a isenção de tributos e outros benefícios de incentivo a exportação (artigo 65 da Instrução Normativa SRF n.º 28, 1994).

2.4 Despacho de Exportação por Declaração Única de Exportação (DU-E)

O governo brasileiro determinou um prazo final para o dia 2 de julho de 2018 para desligar os antigos sistemas que compõem os processos de exportação do país, sendo eles:

- Registro de Exportação (RE);
- Declaração de Exportação (DE);
- Declaração Simplificada de Exportação (DSE).

A partir da data definida pelo governo, o que era realizado pelos sistemas antigos passou a ser realizado pelo processo de Declaração Única de Exportação (DU-E) ([HIAMASTA, 2018](#)).

O novo processo possui integração com a Nota Fiscal Eletrônica (Nfe), permitindo uma maior rastreabilidade nas informações prestadas pelo exportador, segurança contra fraudes e simplificação no paralelismo de informação que antes existia entre os sistemas antigos, conforme é exibido na Figura 6.

Figura 6 – Comparação em número de dados do Antigo x Novo Processo

Fonte: [Agostinho \(2016\)](#).

Uma das principais características do novo processo é o paralelismo das informações, sendo que anteriormente existiam uma série de etapas que deveriam ser seguidas à risca. No processo novo, as etapas podem ser realizadas em paralelo, agilizando todo o processo de despacho de mercadorias. Todo este novo fluxo é realizado por três grandes módulos, DU-E,

CCT e LPCO (BARTHOLO, 2017a). A Figura 7 define através de um fluxograma, o comparativo de como era a operação antes do novo sistema de exportação implantado pelo governo.

Figura 7 – Antigo e novo fluxo de exportação

Fonte: Agostinho (2016).

O autor Bartholo (2017a) define os três módulos do novo processo da seguinte forma:

- **DU-E:** validará informações ao nível alfandegado, administrativo, comercial, logístico, financeiro e fiscal.
- **LPCO:** é por onde o controle realizado por outros órgãos distintos da Secretaria da Receita Federal (SRF) , aponta tratamentos administrativos que deverão ser aplicados a exportação.
- **CCT:** responsável pelo controle da movimentação da mercadoria em todo o território brasileiro, gerenciando a recepção desta em um recinto alfandegado e também a sua exportação.

O novo processo de exportação, realizado por meio de Declaração Única de Exportação (DU-E), busca adequar o controle aduaneiro e administrativo ao processo logístico das exportações, de maneira a realizá-los de maneira eficaz e segura, porém, sem causar atrasos desnecessários ao fluxo das exportações. Os controles aduaneiro e administrativo de uma exportação realizada por meio de DU-E são efetuados por intermédio de módulos especializados do Portal Siscomex. (SISCOMEX, 2018).

Ao realizar o preenchimento de uma DU-E, são exigidos os controles de licenças, certificados e permissões, que são verificados por um controle de tratamento administrativo (TA) , através de um módulo de licenças, permissões, certificados e outros documentos à exportação (LPCO), são realizadas as autorizações e concessões (SISCOMEX, 2018).

O processo de despacho de uma exportação é iniciado ao realizar uma apresentação da carga para despacho (ACD). Esta situação ocorre quando uma nota fiscal que está amparando

uma exportação é atribuída a um documento único de exportação e a sua recepção ou a recepção de uma outra nota de remessa vinculada a si mesma, no local onde está sendo realizado o despacho, tenha sido registrada no módulo de controle de carga e trânsito (CCT) (SISCOMEX, 2018).

Após ser registrada a ACD, é executado um módulo de gerenciamento de risco (GR), cuja análise em alguns minutos é finalizada e registra-se o canal de conferência aplicável a operação. Se a declaração única de exportação for categorizada como canal diferente de verde, a exportação é submetida a ser conferida fisicamente pelo órgão de conferência aduaneira (CA) e/ou conferida documentalmente. Quando o desembaraço da carga é realizado, a mercadoria está liberada para ser embarcada com destino exterior, ou ser movimentada até o ponto em que será embarcada, sob regime de trânsito aduaneiro para que em seguida seja embarcada ao exterior (SISCOMEX, 2018).

O controle da alfandega é realizado desde que a carga é recepcionada em um recinto alfandegado até a exportação para outro país. O módulo de Controle de Carga e Trânsito (CCT) é responsável por controlar as movimentações e a localização de uma carga que será exportada, durante todo o processo de despacho aduaneiro. A localização desta mercadoria é monitorada pelo CPF ou CNPJ do responsável pelo recinto onde ela está armazenada, pelo código da RFB (URF) referente a unidade e as coordenadas geográficas deste recinto (SISCOMEX, 2018).

O órgão do governo que controla o comércio exterior (SISCOMEX) define as funcionalidades do módulo do CCT da seguinte forma, "As principais funcionalidades do módulo CCT são: recepção; entrega; consolidação; unitização; manifestação de embarque; e consulta de estoque. Todas essas funcionalidades podem ser utilizadas mais de uma vez (ou, eventualmente, nenhuma vez) ao longo do processo logístico relativo a uma certa exportação." (SISCOMEX, 2018).

Em relação às modalidades de exportação, no novo processo houve algumas atualizações de alguns conceitos, conforme PROCOMEX (2017), estruturadas da seguinte maneira:

- **Exportação Normal:** essa modalidade consiste em registrar a declaração de embarque antes de realizar o embarque da mercadoria destinada ao exterior.

- **Embarque Antecipado:** neste caso, o registro da declaração é realizado antes do embarque, porém, neste momento apenas com quantidades previstas. Essa operação é muito utilizada para cargas a granel.

- **Declaração a Posteriori:** o registro da exportação é realizado após a mercadoria ser embarcada para o exterior, sendo utilizado nos casos em que não existe um controle previsto na recepção da mercadoria e embarque da carga via sistema.

Por conta do processo de exportação estar diretamente ligado ao processo fiscal do país, na seção a seguir, serão descritos os principais tipos de operações fiscais utilizados no Brasil, e algumas de suas características.

2.5 Tipos de Operações na Exportação

Esta seção está baseada no texto de Bartholo (2017b) e no curso do novo processo de exportação PROCOMEX (2017) que resumem os tipos de exportações que o novo processo de exportação do Brasil utiliza, classificando estes da seguinte maneira: exportação própria, exportação por meio de operador de remessa expressa internacional ou postal (porta a porta), exportação por conta e ordem, e exportação consorciada.

• Exportação própria

Um dos tipos mais utilizado no Brasil, ocorrendo nas seguintes situações: fabricante ou produtor da mercadoria efetua a venda da mercadoria para o exterior diretamente; empresa exportadora adquire através de compra uma mercadoria nacional com a finalidade de vendê-la ao exterior com fim específico de exportação; fabricante de equipamentos compra peças e componentes para serem incluídos na mercadoria a ser exportada para o exterior, neste caso é muito comum utilizar o processo de *Drawback*, cujo conceito está em restituir para o exportador custos com impostos alfandegários cobrados ao importar matéria-prima que posteriormente será utilizada no produto exportado; empresa comercial exportadora ou *trading* compra a mercadoria produzida no Brasil de um produtor qualquer com a finalidade de exportá-la para algum de seus clientes, sendo categorizado como uma exportação indireta pois, a empresa comercial trabalha como uma intermediária da operação.

• Exportação por meio de operador de remessa expressa internacional ou postal (porta a porta)

Este caso já existia no processo anterior de exportação, no qual o declarante da exportação é a empresa de transporte remessa expressa internacional ou os Correios, que, neste caso, devem realizar o preenchimento da DU-E.

• Exportação por conta e ordem de terceiro

Esta operação pode ser implementada após a criação do novo processo de exportação, que consiste no caso de poder uma empresa ser contratada para atuar como a declarante e efetuar os trâmites da exportação em nome da empresa exportadora. Neste caso, da mesma forma em que ocorre no processo de importação atualmente, tanto o declarante da operação quanto o exportador devem estar habilitados no Registro e Rastreamento da Atuação dos Intervenientes Aduaneiros (RADAR) para a prática dos atos no SISCOMEX, nos termos presentes da Instrução Normativa RFB 1603, de 15 de dezembro de 2015. A diferença desta operação para a citada anteriormente, que envolve uma empresa trading ou comercial, está no fato de que a nota fiscal de venda da exportação é emitida pela própria empresa que está exportando, pois o declarante apenas realiza o processo burocrático.

Um exemplo pode ser dado no caso de um exportador emitir uma nota fiscal de venda diretamente para o importador da mercadoria, recebendo, se for o caso, os benefícios cambiais,

fiscais e tributários da operação, ficando o declarante responsável apenas pelo processo logístico e de emissão da Declaração Única de Exportação (DU-E).

- **Exportação consorciada**

Esta operação é novidade no meio de exportação e foi introduzida no novo processo de exportação, suas particularidades permitem que duas ou mais empresas exportadoras unam-se para realizar uma mesma exportação, cada uma contribuindo com a produção de partes da mercadoria que será exportada. Esta situação permitirá a cada empresa a confecção de seu próprio item na DU-E referente ao que foi produzido, habilitando assim a cada exportadora receber sobre a mercadoria separadamente e também obter financiamento de sua exportação, o que hoje não é possível realizar.

A confecção da DU-E, neste caso, poderá ser realizada por qualquer uma das empresas exportadoras ou até mesmo por um operador logístico. Um exemplo desta situação seria uma exportação de atender um pedido de um comprador externo de vários estojos completos, contendo diversos tipos de materiais escolares. Neste caso, um fabricante de lápis, um de borracha e outro de canetas podem se unir e realizar uma mesma exportação, cada um com a sua contribuição, cabendo a qualquer um deles realizar a confecção da DU-E e todos o preenchimento do item em que relaciona o seu produto ou serviço prestado separadamente.

2.6 Regras Fiscais

Na exportação brasileira, existem diversos tipos de regras fiscais, cada uma variando de acordo com a operação que está sendo executada. Esta situação está ligada ao fato de existirem diversos benefícios fiscais através de algumas isenções de impostos para quem deseja exportar, porém, com uma série de obrigações que devem ser seguidas para que estes benefícios sejam efetivados.

Dentro do cenário de impostos que são suspensos para a prática da exportação, está o Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS), que deixa de ser tributado quando um produto é produzido com a finalidade da exportação. Também há o benefício para o Imposto de Produtos Industrializados (IPI) e a ausência de cobrança de pagamento dos impostos de Contribuição para Financiamento da seguridade social (COFINS) e contribuição para o programa de integração social (PIS) ([GALHARDO, 2011](#)).

Com o objetivo de fomentar as exportações e tornar os produtos brasileiros mais competitivos no mercado externo, a legislação tributária dispensa às operações com mercadorias e aos serviços prestados com destino ao exterior um tratamento diferenciado. No âmbito do Simples Nacional, a Lei Complementar n.º 123/2006 também permite benefícios nesta seara, que serão analisados neste Roteiro. O texto foi atualizado à Lei Complementar n.º 155/2016, que trouxe novidades acerca do cálculo a ser realizado a partir do ano calendário de 2018. ([FISCOSOFT, 2018](#)).

percentual definido, que é calculado sobre o valor da nota fiscal (FISCOSOFT, 2018). Também na Figura 8, a diagonal é representada de forma destacada, para exibir o percentual de ICMS em operações dentro de cada estado, neste caso, quando o emissor é do mesmo estado do destinatário da mercadoria.

A exportação dos produtos *commodities* pelas empresas comerciais exportadoras ou *tradings*, resume-se basicamente na compra de contratos de diversos produtores, com o tipo de operação definido com fim específico de exportação. Os contratos negociados são entregues através de lotes, sendo que junto com os lotes entregues, acompanham o produto uma ou mais notas fiscais classificadas como fim específico de exportação.

As notas fiscais recebidas, são armazenadas junto ao estoque nos armazéns, dando suporte fiscal ao produto físico. A medida em que o estoque cresce, são programadas as entregas para o exterior, muitas vezes efetuadas através de navios.

Em uma exportação de *commoditie*, podem ser geradas uma ou mais notas fiscais de exportação, sendo esta identificada pela mercadoria que está sendo vendida (soja, milho, etc), empresa exportadora e cliente. Com esta nota fiscal, é realizado o processo de exportação através da DU-E, incluindo todas as comprovações fiscais das remessas com fim específico de exportação que justificam a carga e concluem o ciclo que isenta a operação dos tributos fiscais.

A comprovação fiscal na maioria dos casos é realizada sequencialmente, seguindo a sequência FIFO (First In First Out), que no português significa "primeiro que entra é o primeiro que sai".

DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E ABORDAGENS DE SOLUÇÃO

Muitas empresas exportadoras acumulam grandes quantidades de estoque de produtos *commodities* nos terminais portuários e em armazéns, sendo que a saída destas mercadorias para clientes no exterior acontecem de acordo com as programações das janelas de tempo de carregamento de navios, ou qualquer outro meio de transporte, para os clientes destinatários no exterior.

Para os processos de exportação no Brasil, o governo estimula as exportações no país através de alguns benefícios fiscais, que foram citados no Capítulo 1. No caso do problema especificado neste trabalho, está a comprovação fiscal das exportações de mercadorias acompanhadas de notas fiscais de tipo de operação de fim específico exportação. Os benefícios basicamente deixam de ser concedidos a partir do momento que é alterada a finalidade da mercadoria ou através da perda do prazo da comprovação fiscal da nota fiscal através da DU-E, conforme descrito no Capítulo 1.

Pelo fato do produto ser considerado *commoditie*, este não sofre modificações consideráveis e não deve ser associado a uma marca, sendo que, se misturado com outros produtos da mesma categoria, originados por produções diferentes, apresentam as mesmas características visuais (por exemplo: soja de várias regiões do Brasil).

As notas fiscais possuem várias informações, sendo as cruciais para este processo, os estados de origem e destino, valor unitário de cada item, quantidade de cada item, data de emissão, tipo de operação. Ou seja, em uma nota fiscal, podemos ter mais de um tipo de produto.

Os estados possuem os seus percentuais de alíquota e quantidades de dias aceitáveis como prazo, que são fatores aplicados diretamente sobre a data de emissão da nota fiscal para ter-se a data de vencimento e ao valor calculado da sobra dos itens das notas fiscais, no caso de não ser comprovada a exportação desta ou a sua operação não ser cumprida. Um fato importante

no processo é que, a partir do momento em que vence o prazo de uma determinada quantidade de uma nota fiscal, os tributos são calculados e pagos referentes às quantidades e valores restantes. A partir daí, não há mais a isenção nem a cobrança dos mesmos impostos, pois os mesmos já foram tributados. Estes produtos podem ser exportados, no futuro, a qualquer momento.

Figura 9 – Modelo de Nota Fiscal Eletrônica - DANFE

EMPRESA VENDEDORA DE GRAOS EEP Rua Central, CEP: 11111-110 Rondonópolis - MT ➔ 1		DANFE Documento Auxiliar da Nota Fiscal Eletrônica 1 - SAIDA 0 - ENTRADA Nº: 12345 SÉRIE: 1		Controle do Fisco Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br/portal ou no site da Sefaz Autorizadora.	
NATUREZA DA OPERAÇÃO XXXXXXXXXXXXXXXXXX		PROTÓCOLO:			
INSCRIÇÃO ESTADUAL	INSCRIÇÃO ESTADUAL DO SUBS. TRIB.	CNPJ	Chave de acesso da NF-e para consulta de autenticidade no site 12345678912345678912345678912345678912345678		
DESTINATÁRIO - REMETENTE NOME/RAZÃO SOCIAL FULANO DE TAL EEP		CNPJ / CPF		DATA DE EMISSÃO 10/01/2019 ➔ 3	
ENDEREÇO		BAIRRO/DISTRITO CENTRO		DATA DE SAÍDA 10/01/2019	
MUNICÍPIO SANTOS	FONE/FAX	UF SP ➔ 2	INDICADOR IE	INSCRIÇÃO ESTADUAL 123312451324-34	HORA DE SAÍDA
CÁLCULO DO IMPOSTO					
BASE CÁLCULO DO ICMS 0,00	VALOR ICMS 0,00	BASE CÁLCULO DO ICMS DA SUBSTITUIÇÃO 0,00	VALOR ICMS DA SUBSTITUIÇÃO 0,00	TOTAL DO PIS 0,00	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS 48975,00
VALOR DO FRETE 0,00	VALOR DO SEGURO 0,00	DESCONTO 0,00	OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS 0,00	VALOR DO IPI 0,00	VALOR TOTAL DA NOTA 48975,00
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS					
RAZÃO SOCIAL		FRETE 9 - Sem frete	CÓDIGO ANTT	PLACA DO VEÍCULO	UF
ENDEREÇO		MUNICÍPIO	UF	CNPJ/CPF	INSCRIÇÃO ESTADUAL
QUANTIDADE 0	ESPECIE Nao informada	MARCA Nao informada	NUMERAÇÃO 0	PESO BRUTO 0,000	PESO LÍQUIDO 0,000
CÓDIGO / DESCRIÇÃO PRODUTO/SERVIÇO	NCM/SH	CST	CFOP	UND.	QUANTIDADE
SOJA EM GRÃOS	00	090		KG	42000
MILHO EM GRÃOS				KG	1500
					V.UNITÁRIO
					1,15
					0,45
					DESC.
					0,00
					V.TOTAL
					48300
					675 ➔ 4
					BC. ICMS
					V.ICMS
					V.IPI
					ALIQ. ICMS
					ALIQ. IPI
					0,00

O cálculo do imposto, seguindo o exemplo da DANFE da Figura 9 dá-se seguindo os parâmetros:

- Percentual de Imposto (pi):** é calculado o percentual da alíquota de ICMS de acordo com a Tabela 8, através das informações de estado origem x destino contidas nas marcas 1 e 2 da DANFE da Figura 9.
- Item da Nota Fiscal ($nf.item$):** corresponde ao item da nota fiscal, englobando os dados da linha marcada com a seta 4 na Figura 9.
- Quantidade do Item ($nf.item.qt$):** é a quantidade de cada item na nota fiscal linha 4, coluna (quantidade) na Figura 9.
- Quantidade Utilizada do Item ($nf.item.qt_utilizado$):** é a quantidade de cada item da nota fiscal que já foi utilizada em algum embarque.
- Valor Unitário do Item ($nf.item.vl_unit$):** é o valor unitário de cada item (linha 4, coluna v.unitário da Figura 9).
- Data de Emissão ($nf.item.dt_emissao$):** é a data em que a nota fiscal foi emitida, exibida através da marca 3 na Figura 9.

7. **Dias de Isenção (di):** é obtido na legislação de cada estado, sendo utilizado como base o estado de origem, marcado no item 1 da Figura 9.
8. **Data de Embarque (de):** data em que é embarcada a mercadoria e é realizada a utilização da nota fiscal para comprovação.

O cálculo do imposto devido para a nota fiscal é calculado como se segue:

$$\sum_{nf.item} (nf.item.qt - nf.item.qt_{utilizado}) * nf.item.vl_{unit} * pi \quad (3.1)$$

O pagamento do imposto é efetuado a partir do momento em que está vencido o prazo de comprovação da nota fiscal ou alterada a sua operação final, lembrando que o valor é calculado sobre a quantidade restante não embarcada e o vencimento checado por meio do seguinte cálculo:

$$nf.item.dt_{emissao} + di > de \quad (3.2)$$

Para o caso ilustrado pela Figura 9, de acordo com o estado de origem (MT), o parâmetro di receberia o valor de 90 dias, somado com a data de emissão da nota ($nf.item.dt_{emissao}$), resultaria em uma data de validade até o dia 10 de abril. Se o embarque for realizado no dia 12 de abril de 2019 e já tiver sido utilizado 10.000 unidades em algum embarque, antes de vencer o prazo do item $nf.item$ correspondente à soja em grão, o valor calculado do imposto a ser pago seria:

Imposto pago para a soja (em R\$):

$$(42000 - 10000) * 1,15 * (12/100) = 4416 \quad (3.3)$$

Imposto pago para o milho (em R\$):

$$(1500 - 0) * 0,45 * (12/100) = 81 \quad (3.4)$$

O resultado da soma das expressões (3.4) e (3.3), correspondendo ao cálculo do imposto sob a quantidade restante da nota fiscal toda, é de R\$4497,00.

Se tivéssemos outra nota fiscal, com as mesmas informações, estando na mesma situação, alterando apenas o estado de origem para o estado de SP, os valores seriam os seguintes:

Imposto pago para soja (em R\$):

$$(42000 - 10000) * 1,15 * (18/100) = 6624 \quad (3.5)$$

Imposto pago para milho (em R\$):

$$(1500 - 0) * 0,45 * (18/100) = 121,5 \quad (3.6)$$

Neste caso, o valor total do imposto de ICMS seria de R\$ 6.745,50, apresentando um aumento para o primeiro exemplo de R\$ 2.248,50. Essas multas são pagas se a regra FIFO não conseguir embarcar as notas antes do período de comprovação fiscal.

Como as mercadorias da mesma categoria não possuem distinções visuais, a comprovação fiscal geralmente é realizada de acordo com a quantidade que está sendo exportada, selecionando as notas fiscais das mais antigas para as mais novas (FIFO). Em um cenário desconsiderando atrasos, imprevistos e uma boa programação de entrada e saída de mercadorias, a regra FIFO funciona muito bem, ou seja, dificilmente sobram notas fiscais com prazos muito curtos para ser comprovada a exportação.

Imprevistos podem ocorrer em toda a cadeia de operação da exportação no Brasil, desde a lavoura, transporte, armazenamento, etc. Devido a estes motivos, este trabalho apresenta uma forma otimizada de obter a melhor combinação possível de notas fiscais e a quantidade de cada item que deverá ser comprovada em cada janela de embarque do produto para o exterior.

Dentro dos imprevistos, podemos exemplificar o caso da greve dos caminhoneiros, iniciada em maio de 2018, que levou à parada por diversos dias de toda a movimentação logística do país. Outro tipo de imprevisto pode ser a parada da operação de um terminal marítimo por conta de maré instável ou problemas mecânicos na operação, problemas de infraestrutura nas rodovias, etc.

A solução otimizada que este trabalho apresenta leva em consideração a data de vencimento de uma nota fiscal para decidir o momento de ser embarcada e analisa dentro das janelas previstas, de acordo com o fluxo de entrada de notas fiscais com seus respectivos saldos e validade, as que necessitam de uma prioridade maior no embarque, pois em situações de atrasos, é comum acontecer de perder o prazo de diversas notas fiscais e realizar o pagamento dos impostos de acordo com os percentuais estabelecidos dos estados sobre as quantias restantes das notas fiscais.

O modelo alterna o sequenciamento das notas fiscais de forma inteligente, realizando substituições de uma nota fiscal para outra na confecção da DU-E para notas fiscais com valores de impostos maiores, resultando em uma economia considerável de dinheiro para a empresa exportadora. Como a cadeia operacional das exportações é altamente dinâmica, os parâmetros do modelo vão ser alterados frequentemente. Isto ocorre pois há notas fiscais dando entrada nos recintos de armazenamento e as janelas de embarques dos produtos podem estar sendo remanejadas, havendo a necessidade do reprocessamento do modelo com a intenção de manter atualizada toda a triagem de quais notas fiscais serão comprovadas em cada janela de embarque.

3.1 Modelo Matemático A

O modelo matemático A é baseado no problema de dimensionamento de lotes (veja Apêndice B). Neste modelo sabe-se, explicitamente, a quantidade do produto j da nota fiscal i embarcada no período t ($Q_{j,i,t}$), bem como a quantidade do item j da nota fiscal i em estoque no final do período t ($I_{j,i,t}$). Também considera-se a variável $B_{j,s,t}$ que representa a quantidade não carregada do produto j para o embarque s no período t . Os índices notas fiscais correspondem as notas fiscais que possuem saldo a serem comprovadas a sua exportação, já o conjunto embarque refere-se a todas as programações de saída de mercadorias, cuja demanda é a quantidade de mercadoria que será utilizada para atendê-lo.

3.1.1 Índices

- $i \in \{1, \dots, I\}$ notas fiscais;
- $j \in \{1, \dots, J\}$ produtos;
- $s \in \{1, \dots, S\}$ embarque;
- $t \in \{1, \dots, T\}$ períodos.

3.1.2 Parâmetros

- $q_{j,i,t}$ quantidade recebida do produto j na nota fiscal i no período t ;
- $d_{j,s,t}$ demanda do produto j para o embarque s no período t ;
- p_i percentual de imposto após o prazo de exportação da nota fiscal i ;
- $c_{j,i}$ custo do produto j na nota fiscal i ;
- h_i período de entrada da nota fiscal i ;
- m número suficientemente pequeno;
- M número suficientemente grande;
- Δ_i intervalo de período de isenção da nota fiscal i .

3.1.3 Subconjuntos

- $\mathbb{N}_i(t)$ subconjunto de notas fiscais i cuja isenção termina antes do período t .

3.1.4 Variáveis contínuas

- $B_{j,s,t}$ quantidade não carregada do produto j para o embarque s no período t ;
- $I_{j,i,t}$ estoque do produto j da nota fiscal i no período t ;
- $Q_{j,i,t}$ quantidade embarcada do produto j da nota fiscal i no período t ;

3.1.5 Função Objetivo

$$\min \sum_j \sum_i \sum_{t=h_i+\Delta_i}^T p_i \cdot c_{j,i} \cdot Q_{j,i,t} + \sum_j \sum_{i \in \mathbb{N}_i(T)} m \cdot I_{j,i,T} + \sum_j \sum_s \sum_t M \cdot B_{j,s,t} \quad (3.7)$$

A função objetivo (3.7) busca minimizar o imposto pago pelos produtos das notas fiscais que não foram exportados dentro do período de isenção fiscal. Para isso, a variável que indica a quantidade embarcada dos produtos ($Q_{j,i,t}$) é penalizada na função objetivo apenas do primeiro período em que há perda da isenção fiscal, até o último período de planejamento. Por outro lado, os estoques remanescentes no último período apenas das notas que já perderam a isenção são penalizados, pois em algum momento futuro haverá a cobrança desse imposto. Além disso, qualquer quantidade não carregada de um produto em um embarque ($B_{j,s,t}$) é penalizada por um número suficientemente grande (M) para que essa situação seja forçada a não existir.

O horizonte de planejamento corresponde a linha do tempo dos embarques que serão efetuados, onde o último período deste horizonte, refere-se ao último embarque programado.

3.1.6 Restrições

$$I_{j,i,t-1} + q_{j,i,t} = Q_{j,i,t} + I_{j,i,t}, \quad \forall j, i, t \quad (3.8)$$

$$\sum_s d_{j,s,t} = \sum_i Q_{j,i,t} + \sum_s B_{j,s,t}, \quad \forall j, t \quad (3.9)$$

$$Q_{j,i,t} \geq 0, \quad B_{j,s,t} \geq 0, \quad I_{j,i,t} \geq 0 \quad \forall j, i, s, t \quad (3.10)$$

As restrições (3.8) asseguram a conservação de massa do sistema, ou seja, a quantidade disponível em estoque de um determinado produto j referente a uma nota fiscal i , ao final do período $t - 1$, somado à quantidade recebida do mesmo produto referente à mesma nota fiscal no período t deve ser igual à quantidade embarcada do produto j referente à nota fiscal i durante o período t somado ao estoque desse produto relativo à nota fiscal i ao final do período t .

As restrições (3.9) garantem que a demanda do produto j para todos os embarques do período t seja igual à quantidade embarcada mais quantidade não carregada do produto j . Por fim, as restrições (3.10) são de domínio das variáveis.

3.2 Modelo Matemático B

O modelo matemático B é baseado no problema de múltiplas mochilas (veja Apêndice A). Cada embarque S é visto como uma mochila e podemos embarcar uma fração do produto j de cada nota fiscal i visando atender a demanda $d_{j,s,t}$ do item j no embarque s no período t . No

modelo permite-se a não entrega de parte da demanda do produto j (*lost sales* - vendas perdidas), porém com uma alta penalização na função objetivo. Assim, no modelo devemos planejar os S embarques que acontecem ao longo do horizonte de planejamento T .

3.2.1 Índices

- $i \in \{1, \dots, I\}$ notas fiscais;
- $j \in \{1, \dots, J\}$ produtos;
- $s \in \{1, \dots, S\}$ embarque;
- $t \in \{1, \dots, T\}$ períodos.

3.2.2 Subconjuntos

- $\mathbb{N}_i(t)$ subconjunto de notas fiscais i cuja isenção termina antes do período t ;
- $\mathbb{S}(i)$ embarques que estão fora do período de isenção da nota fiscal i .

3.2.3 Parâmetros

- $q_{j,i}$ quantidade recebida do produto j na nota fiscal i ;
- $d_{j,s,t}$ demanda do produto j para o embarque s no período t ;
- p_i percentual de imposto após o prazo de exportação da nota fiscal i ;
- $c_{j,i}$ custo do produto j na nota fiscal i ;
- h_i período de entrada da nota fiscal i ;
- M número suficientemente grande.

3.2.4 Variáveis contínuas

- $B_{j,s,t}$ quantidade não carregada do produto j para o embarque s no período t ;
- $B_{j,i}$ percentual remanescente do produto j da nota fiscal i no final do horizonte de planejamento;
- $X_{j,i,s}$ percentual do produto j da nota fiscal i carregado no embarque s .

3.2.5 Função Objetivo

$$\min \sum_j \sum_i \sum_{s \in \mathbb{S}(i)} (p_i \cdot c_{j,i} \cdot q_{j,i}) \cdot X_{j,i,s} + \sum_j \sum_{i \in \mathbb{N}_i(T)} q_{j,i} \cdot B_{j,i} + \sum_j \sum_s \sum_t M \cdot B_{j,s,t} \quad (3.11)$$

A função objetivo (3.11) busca minimizar o imposto pago pelos produtos das notas fiscais que não foram exportados dentro do período de isenção fiscal, enquanto visa evitar a falta de produtos nos embarques. A função objetivo não penaliza os produtos que foram embarcados

dentro do intervalo de isenção de suas respectivas notas fiscais, logo o subconjunto $\mathbb{S}(i)$ contém apenas os embarques que estão fora do período de isenção da nota fiscal i . Por outro lado, os percentuais de estoque remanescentes no último período apenas das notas que já perderam a isenção são penalizados, pois em algum momento futuro haverá a cobrança desse imposto. Além disso, qualquer quantidade não carregada de um produto em um embarque ($B_{j,s,t}$) é penalizada por um número suficientemente grande (M).

3.2.6 Restrições

$$\sum_{t=h_i}^T \sum_s X_{j,i,s} + B_{j,i} = 1, \quad \forall j, i \quad (3.12)$$

$$\sum_i q_{j,i} \cdot X_{j,i,s} + B_{j,s,t} = d_{j,s,t}, \quad \forall j, s, t \quad (3.13)$$

$$0 \leq X_{j,i,s} \leq 1 \quad B_{j,s,t} \geq 0, \quad \forall j, i, s, t \quad (3.14)$$

As restrições (3.12) asseguram que o percentual embarcado somado ao percentual não embarcado dos produtos, para todos as notas fiscais, não exceda a quantidade adquirida no decorrer do horizonte de planejamento. Sendo assim, como a variável $X_{j,i,s}$ representa o percentual do produto j da nota fiscal i carregado no embarque s , a somatória dessas variáveis a partir do dia de recebimento dessa nota fiscal (h_i) até o final do horizonte de planejamento (T) somado ao percentual não embarcado deve ser igual a 1.

As restrições (3.13) garantem o atendimento da demanda dos produtos j para o embarque s no período t . Para isso, a somatória da quantidade embarcada de cada produto j das notas fiscais i somada à quantidade não embarcada desses produtos ($B_{j,s,t}$) deve ser igual à demanda ($d_{j,s,t}$). As restrições (3.14) são restrições do domínio das variáveis.

3.3 Método Heurístico

O método heurístico do processo de comprovação fiscal de produtos *commodities* para operação fiscal de fim específico exportação, utiliza a regra FIFO na escolha das notas fiscais que comprovarão uma exportação, partindo das notas fiscais mais antigas para as notas fiscais mais novas. O conceito principal está em ordenar as notas fiscais e ir distribuindo de forma sequencial nos embarques.

O Algoritmo 1 é um pseudo código que representa a regra principal de escolha de notas fiscais a serem utilizadas na comprovação fiscal de uma exportação. Abaixo, as descrições das variáveis e expressões utilizadas no Algoritmo 1:

- *notas_fiscais*: lista de notas fiscais existentes;

- *embarques*: lista de embarques existentes;
- *ordenar_notas_fiscais(notas_fiscais)*: função que retorna a lista de notas fiscais de forma ordenada;
- *ordenar_embarques(embarques)*: função que retorna a lista de embarques de forma ordenada;
- *e*: armazena a lista de embarques ordenada;
- *e.item*: armazena a lista de itens existentes no embarque corrente;
- *e.dt*: armazena a data do embarque corrente;
- *e.item.id*: armazena o código do item do embarque;
- *e.item.demand*: armazena a quantidade da demanda restante para cada item do embarque;
- *nf*: armazena a lista de notas fiscais ordenadas;
- *nf.item*: armazena a lista de itens existentes na nota fiscal corrente;
- *nf.dt*: armazena a data de emissão da nota fiscal corrente;
- *nf.item.id*: armazena o código do item da nota fiscal;
- *nf.item.saldo*: armazena a quantidade de saldo restante para cada item da nota fiscal;
- *v_qt_util*: variável auxiliar utilizada para armazenar a quantidade calculada de cada iteração;
- *comprovar_exp(e.item,nf.item,v_qt_util)*: método abstrato para ilustrar a efetivação da combinação da nota fiscal, item da nota fiscal, embarque, item do embarque e a quantidade relacionada.

O Algoritmo realiza a mesma função dos dois modelos de otimização apresentados, porém seguindo a lógica FIFO de embarque, sequenciando as notas fiscais das mais antigas para as mais novas e utilizando-as de acordo com a necessidade dos embarques. Inicia-se declarando um procedimento que recebe dois parâmetros, um deles sendo a lista de notas fiscais existentes e o outro a lista dos embarques.

Após a declaração, na linha 2 deste algoritmo existe uma atribuição para a variável '*nf*' de todas as notas fiscais de forma ordenada, por um método abstrato chamado de '*ordenar_notas_fiscais*'. O mesmo acontece na linha 3, onde a variável '*e*' recebe a lista de embarques de forma ordenada. Nas linhas 4 e 5 do algoritmo, são abertos de forma encadeada, os laços de repetição que irão percorrer as listas de embarques e seus itens. Na linha 6, outro laço é aberto para percorrer as notas fiscais, porém, irá percorrer as que possuírem a data de emissão '*nf.dt*' menor ou igual à data saída do embarque '*e.dt*'. Na linha 7, no momento de percorrer os itens das notas fiscais, restringe-se os casos do código do item da lista de notas fiscais '*nf.item.id*' ser igual ao código do item da lista de embarques '*e.item.demand*'. Na mesma instrução também há a restrição da demanda restante do item do embarque '*e.item.demand*' e a quantidade restante do saldo do item da nota fiscal '*nf.item.saldo*' a serem maior que zero.

Após o carregamento dos dados de forma encadeada, há a regra de embarque que irá calcular a quantidade embarcada da nota fiscal no embarque, protegendo os dados de serem

utilizados em quantidades inexistentes. Este mecanismo está na linha 8, presente na instrução 'se' que condiciona dois cenários, o do saldo do item da nota fiscal 'nf.item.saldo' ser maior que a demanda restante do item do embarque ou o caso contrário, sendo menor ou igual. Para estas duas condições, a primeira, armazena na variável 'v_qt_util' o número que representa a quantidade da demanda do item no embarque, que no caso é menor que o saldo do item da nota, e para a segunda condição, é armazenado o número que representa o saldo restante da nota fiscal.

Fora da estrutura de condição, que definiu a quantidade a ser atribuída a variável 'v_qt_util', na linha 13, é decrementado do saldo do item da nota fiscal a quantidade da variável 'v_qt_util'. O mesmo acontece para a demanda do item do embarque na linha 14.

Por fim, após descontada das duas estruturas (embarques e notas fiscais) as quantidades utilizadas, são realizadas as combinações pelo processo (FIFO), através do método abstrato da linha 15, que recebe a combinação de item de embarque, item da nota fiscal e a quantidade que os relacionam. Essa regra de embarque é utilizada nas empresas de exportação para comprovação fiscal.

Algoritmo 1 – Método Heurístico (FIFO)

```

1: procedimento COMPROVAR_NOTAS_FISCAIS(notas_fiscais,embarques)
2:   nf ← ordenar_notas_fiscais(notas_fiscais)
3:   e ← ordenar_embarques(embarques)
4:   para todo e faça
5:     para todo e.item faça
6:       para todo (nf.dt ≤ e.dt) faça
7:         para todo (nf.item.id = e.item.id & e.item.demand > 0 &
nf.item.saldo > 0) faça
8:           se nf.item.saldo > e.item.demand então
9:             v_qt_util ← e.item.demand
10:          senão
11:            v_qt_util ← nf.item.saldo
12:          fim se
13:          nf.item.saldo ← nf.item.saldo − v_qt_util
14:          e.item.demand ← e.item.demand − v_qt_util
15:          comprovar_exp(e.item,nf.item,v_qt_util)
16:        fim para
17:      fim para
18:    fim para
19:  fim para
20: fim procedimento

```

RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Este capítulo descreve a estrutura e as informações contidas nas instâncias de dados que foram utilizadas para validar os modelos propostos e também obter os resultados pelo método heurístico. Os resultados obtidos foram comparados, simulando a prática utilizada pelas empresa com os métodos otimizados, ou seja, as soluções obtidas utilizando os modelos de otimização linear propostos.

Conforme visto no Capítulo 3, os modelos A e B foram desenvolvidos utilizando como inspiração, as variações do Problema da Mochila e o Problema de Dimensionamento de Lotes (apêndices A e B).

4.1 Dados Utilizados

Os dados que foram utilizados para realizar os testes dos modelos A e B podem ser definidos através de algumas classes como notas fiscais e embarques.

4.1.1 *Notas Fiscais*

Os dados referentes às notas fiscais que foram utilizados nesse trabalho foram gerados artificialmente de acordo com as características das notas fiscais emitidas no processo real. Observa-se que, na maioria das vezes, estas notas fiscais são emitidas de acordo com as entregas de mercadorias realizadas por meio rodoviário, porém a sua saída do país para exportação na maior parte dos casos ocorre por meio marítimo.

A Tabela 1 expõe resumidamente as quantidades e as notas fiscais que são utilizadas nas instâncias de execução deste trabalho. Foram geradas uma quantia de 4272 notas fiscais, todas com percentuais já calculados, levando em consideração o percentual de imposto ICMS que a tabela apresentada na Figura 8 define, de acordo com a correlação do estado de origem com o estado de destino da nota fiscal.

Cod NF	Dt Emissão	Dt Disp	Dt Vcto	% ICMS	Cod Item	Qtde	VL. Unit
1	03/01/2019	06/01/2019	03/04/2019	16	1	38400	0,998333333
2	03/01/2019	06/01/2019	03/04/2019	16	1	46500	1,08
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
500	06/03/2019	09/03/2019	04/06/2019	18	1	32090	0,87833
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1015	16/03/2019	19/03/2019	14/06/2019	18	1	38070	0,8583
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1678	07/06/2019	10/06/2019	05/09/2019	17	1	31440	0,883333333
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2823	09/09/2019	12/09/2019	08/12/2019	16	1	31140	0,383333333
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3596	23/09/2019	26/09/2019	22/12/2019	18	1	250	0,4144
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4271	28/12/2019	31/12/2019	27/03/2020	14	1	31650	1
4272	28/12/2019	31/12/2019	27/03/2020	18	1	38640	1

Tabela 1 – Notas Fiscais

As colunas da Tabela 1 são definidas da seguinte forma:

- (Cod Nf): código da nota fiscal.
- (Dt Emissão): data de emissão da nota fiscal. Esta data está presente no campo 'DATA DE EMISSÃO' da Figura 9, destacada pela seta 3.
- (Dt Disp): é a data que a nota fiscal está disponível para poder ser embarcada, que na maioria dos casos, é o recebimento da nota fiscal no terminal marítimo de embarque.
- (Dt Vcto): é a data de vencimento da nota fiscal, cujo cálculo para obter esta informação está na soma da data de emissão com a quantidade de dias de isenção que o estado de emissão da nota fiscal exige de acordo com a sua legislação.
- (% ICMS): alíquota percentual de ICMS, calculada pela tabela descrita na Figura 8 através da correlação do estado de origem com o estado de destino da nota fiscal. É este percentual que será atribuído sobre a quantidade restante, multiplicado pelo valor unitário de cada item, se a situação exigir a cobrança do imposto;
- (Cod Item): código do item da nota fiscal, podendo haver mais de um 'Cod Item' para um mesmo 'Cod Nf', situação exemplo na Figura 9.
- (Qtde): quantidade total do item da nota fiscal. Esta quantidade é inicialmente a quantidade do item na nota fiscal, porém durante o processamento, são utilizadas parcialmente ou totalmente, de acordo com as demandas de embarques, funcionando como um saldo do produto na nota fiscal.
- (VL. Unit): valor unitário de cada unidade de item da nota fiscal.

A coluna 'Cod NF' armazena a identificação de cada nota fiscal, não havendo repetição

de uma nota para outra, inclusive no caso de uma nota possuir mais de um item, seu 'Cod NF' é único. A data de emissão é fundamental na estrutura dos dados, pois ela é a data de criação de uma nota fiscal e que a partir desta, é feito o cálculo de sua data de validade. Pelo fato de cada estado emissor possuir uma legislação de quantidade de dias de isenção, a data de vencimento pode variar de uma nota fiscal para outra, mesmo em casos de terem sido emitidas no mesmo dia. Esta variação é decorrente diretamente do estado emissor de cada nota fiscal e o cálculo é realizado somando o número de dias de isenção que a legislação de cada estado fornece com a data de emissão, obtendo-se a data de vencimento. A data de disponibilidade de uma nota, podendo ser identificada também por data de recebimento, é o momento que a nota fiscal é recebida no local de embarque e possui o controle de não permitir que uma nota fiscal seja utilizada em um embarque com data menor do que a data de recebimento, o que seria uma situação impossível logicamente.

Para o processamento dos modelos, não são utilizados os parâmetros no formato de data como 'Dt Emissão', 'Dt Disp' e 'Dt Vcto'. Neste caso, há uma transformação destas em parâmetros numéricos que armazenam a quantidade de dias de uma certa condição. Por exemplo, a nota fiscal com 'Cod NF' igual a 1, possui a 'Dt Disp' igual a 06/01/2019 e, considerando um dia tal como 22/12/2018, subtrai-se a data corrente da 'Dt Disp'. Assim, a quantidade de dias para atingir a disponibilidade da nota seria de 16, pois incrementamos 1 unidade para representar como 1 o momento em que a situação foi iniciada. Temos outra transformação sobre a quantidade de dias de isenção da nota fiscal, a subtraímos a 'Dt Emissão' da data corrente 22/12/2018, obtendo 12, mais a quantidade de dias de isenção do estado, que no caso é 90, mais 1 para representar o momento inicial, resultando em um total de 103. A unidade 1 é incrementada nas duas informações, pois o modelo assume que 1 é o momento de disponibilidade ou de vencimento da nota fiscal, portanto, matematicamente a subtração responderia com o momento igual a 0. Incluímos sempre 1 sobre esses valores ao transformar as datas para o modelo.

Os dados referentes às notas fiscais, foram divididos em 4 instâncias para os futuros testes:

- (NF_A): esta instância representa todas as 4272 notas fiscais e a soma de suas quantidades são 148.874.648 quilos.
- (NF_B): representada por 2136 notas fiscais, indo da nota 1 até a 2136, cuja soma de seus itens são 76.829.545 quilos.
- (NF_C): com 1071 notas fiscais, indo da nota 1 até a 1071, com soma de quantidade de 36.912.300 quilos.
- (NF_D): representada por 474 notas fiscais, indo da 1 até a 474, com soma de quantidade das notas de 16.819.580 quilos.

Embarque	Cod Item	Qtde (kg)	Data Embarque
1	1	3343394	30/03/2019
2	1	3470600	12/04/2019
⋮	⋮	⋮	⋮
10	1	3200889	30/05/2019
⋮	⋮	⋮	⋮
20	1	3601976	20/08/2019
⋮	⋮	⋮	⋮
30	1	3400272	03/10/2019
⋮	⋮	⋮	⋮
40	1	809329	22/11/2019
⋮	⋮	⋮	⋮
47	1	3347777	17/12/2019
48	1	3293470	02/01/2020

Tabela 2 – Embarques

4.1.2 Embarques

Os dados referentes aos embarques utilizados neste trabalho foram criados artificialmente, com quantidades reduzidas para que as notas fiscais pudessem ser distribuídas para várias janelas de embarques espalhadas durante um ano todo, simulando ao que acontece em uma safra. Esta redução não altera a essência da operação pois, o que vai mudar é a capacidade de vazão de mercadoria de uma empresa exportadora para outra. Para se ter uma ideia, um navio graneleiro pode carregar cerca de 70 mil toneladas de grãos, dependendo é claro do porto, do navio e da quantidade que a empresa deseja carregar.

A Tabela 2 representa uma amostragem de 8 embarques, sendo que a quantidade total de embarques criados para este trabalho é de 48 embarques.

As colunas da Tabela 2 são definidas da seguinte forma.

- (Embarque): código do embarque ou demanda de produto.
- (Cod Item): código do item que será carregado no embarque.
- (Qtde): quantidade do item que será carregado no embarque.
- (Data Embarque): data em que o embarque será realizado.

A coluna 'Embarque' armazena o código de identidade de cada embarque, não repetindo para outros embarques. A coluna 'Cod Item', armazena o código do item, que para ser atendido por notas fiscais, tem que ser igual ao 'Cod Item' da Tabela 1 de notas fiscais. A coluna 'Qtde' corresponde à quantidade do produto que o embarque necessita, sendo que a soma dos itens das notas fiscais que serão utilizados para preencher cada item de embarque deverá ser igual

Embarque	Cod Item Emb	Data Embarque	Cod NF	Cod Item NF	Qtde Emb x NF
1	1	30/03/2019	1	1	38400
1	1	30/03/2019	2	1	46500
1	1	30/03/2019	500	1	32090
1	1	30/03/2019	1015	1	38070
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	1	12/04/2019	1678	1	31440
2	1	12/04/2019	2823	1	31140
2	1	12/04/2019	3596	1	250
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	1	30/05/2019	4271	1	31650
10	1	30/05/2019	4272	1	38640
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Tabela 3 – Embarques X Notas Fiscais

a 'Qtde' do embarque. A 'Data Embarque' corresponde ao momento em que o embarque está sendo realizado, restringindo as notas fiscais com 'Dt Disp' menor ou igual a esta informação.

Da mesma forma em que as informações de formato de data na Tabela 1 de notas fiscais sofrem uma transformação para ser processada pelo modelo matemático, a informação "Data Embarque" também é transformada, seguindo a mesma lógica. O exemplo do cálculo da quantidade de dias para o embarque 1 é 'Data Embarque' igual a 30/03/2019 menos a data corrente (por exemplo, 22/12/2018) é igual a 98, mais 1 unidade correspondente ao momento atingido, obtemos o total de 99.

A Tabela 3 define o relacionamento dos embarques com as notas fiscais após o processamento, pois o item da nota fiscal fica com a sua quantidade relacionada com a quantidade do item do embarque, sendo distribuído este relacionamento entre as duas entidades até o atendimento da demanda do embarque e da quantidade de cada nota fiscal.

Os dados referentes aos embarques foram divididos em 4 instâncias, da mesma forma em que foram separadas as instâncias das notas fiscais, estando a instância A das notas fiscais associada a instância A dos embarques e assim sucessivamente para as próximas instâncias utilizadas nos futuros testes:

- (EMB_A): esta instância representa todos os 48 embarques e a soma de suas quantidades são 148.814.648 quilos.
- (EMB_B): representado por 23 embarques, indo do embarque 1 até o 23, cuja soma de seus itens são 75.244.130 quilos.
- (EMB_C): com 11 embarques, indo do embarque 1 até o 11, com a soma das quantidades dos itens de 36.702.827 quilos.
- (EMB_D): possui apenas 5 embarques, sendo eles do 1 ao 5 e com a soma da quantidade dos itens de 16.809.256 quilos.

4.2 Resultados dos Modelos de Otimização e Método Heurístico

Os resultados obtidos por cada modelo e método são apresentados a seguir:

- Modelo A: baseado no problema de dimensionamento de lotes, descrito na Seção 3.1.
- Modelo B: baseado no problema da mochila, está descrito na Seção 3.2.
- Método Heurístico: baseado na lógica FIFO de embarque, descrito na Seção 3.3.

A Figura 10 exibe a intersecção de notas fiscais com embarques dentro do horizonte de tempo. Para o período 'T' destacado em vermelho, há o último embarque da instância dos dados, sendo que notas fiscais com vencimentos posteriores a data deste embarque, pelos modelos de otimização não iriam pagar os impostos pois pode haver outro embarque futuramente para utilizá-las.

Esta situação interfere nos valores da função objetivo dos modelos porque a solução não busca utilizar previamente estas notas por não estarem dentro de períodos de vencimentos, porém não há informação se irá existir outro embarque que utilizará esta nota fiscal e o seu valor pode ser superior ao de outra nota que foi utilizada pouco tempo antes.

Figura 10 – Horizonte de Tempo x Período de Isenção de Notas Fiscais

Os modelos de A e B foram implementados na linguagem de programação C++ e os experimentos computacionais através das instâncias de dados, foram realizados em uma máquina com Intel® Core™ i7 – 4790 CPU @ 3.60GHz×8, 16 GB RAM e Ubuntu 18.04.2 como sistema operacional. Os modelos foram resolvidos com o IBM ILOG CPLEX 12.7 considerando sua configuração padrão. E um tempo limite igual a 1800 segundos como critério de parada.

Os modelos de gráficos apresentados a seguir, foram elaborados utilizando de conhecimentos práticos, buscando resumir os valores obtidos de diferentes formas, pois é grande o volume de dados e não seria possível interpretá-los facilmente apenas visualizando-os.

4.2.1 Resultados Modelo A

4.2.1.1 Instância A

Na execução da instância A, que possui todas as 4272 notas fiscais, no modelo A, obteve-se um valor total de imposto pago de R\$494.037,67, sendo esse valor 39,19% menor do que o valor total do imposto que seria pago pelo método heurístico.

Figura 11 – Imposto Pago / Meses (Modelo A - Instância A)

O gráfico da Figura 11 apresenta, por mês, o valor que foi pago de imposto de notas fiscais que perderam o prazo de comprovação, ficando evidente que após a combinação realizada pelo modelo A, houve um valor discrepante para o mês de junho de 2019, no qual foi pago aproximadamente R\$350.000,00 em impostos.

Figura 12 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo A - Instância A)

É possível visualizar no gráfico da Figura 12 as oscilações das datas de vencimento de notas fiscais presentes em cada embarque efetuado. Na figura, a linha vermelha corresponde à maior data de vencimento de uma nota fiscal embarcada, a linha verde corresponde à menor data, e a azul corresponde à própria data do embarque. Com este gráfico, nota-se que entre os embarques 16 e o 24, e também entre os 38 e 48, houve grandes oscilações, sendo utilizadas notas fiscais com datas de vencimento bem distantes umas das outras.

4.2.1.2 Instância B

Na execução da instância B com o modelo A obteve-se uma redução de 31,48% no valor de imposto pago por perda de prazo de comprovação fiscal em comparação a execução da mesma instância com o método heurístico. A soma dos valores pagos utilizando o modelo A é de R\$641.859,15.

A instância B possui basicamente a metade dos dados da instância A, porém, a sobra de notas fiscais é um pouco maior que na primeira instância. Quanto maior a sobra de nota fiscal por instância, maior o valor a ser pago de imposto, pois as notas não terão embarques programados para serem comprovadas e o seus prazos serão expirados.

Figura 13 – Imposto Pago / Mês (Modelo A - Instância B)

O gráfico da Figura 13 mostra os valores que foram pagos de impostos por meses, mantendo um pico no mês de junho de 2019, igual à solução sob a instância A do mesmo modelo. O aumento na barra do último mês corresponde também a sobra de notas fiscais na instância B.

Figura 14 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo A - Instância B)

Analisando o gráfico da Figura 14 com os índices de máxima data de vencimento e mínima data de vencimento sobre a data de embarque, é possível perceber que as oscilações foram as mesmas em relação ao gráfico da Figura 12, demonstrando que as combinações foram correspondentes.

4.2.1.3 Instância C

Da mesma forma que a instância B, a instância C representa cerca da primeira metade da instância B, incluindo também uma pequena sobra de notas fiscais para que os embarques fossem preenchidos em suas totalidades.

Nesta instância, por conta da situação das notas fiscais estarem bem favoráveis em relação aos embarques, não houve uma melhoria muito significativa utilizando o modelo A, mas, mesmo assim, foi possível obter 4,18% de redução sobre o valor do imposto pago por perda de prazo de nota fiscal em comparação a execução da mesma instância com o método heurístico, totalizando o valor final pago em R\$ 31.273,01.

Figura 15 – Imposto Pago / Mês (Modelo A - Instância C)

O gráfico da Figura 15 demonstra que as notas que perderam seus prazos e tiveram que pagar os impostos estão todas no último mês de vencimento existente na instância. Isso tudo, incluindo notas que sobraram no estoque.

Figura 16 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo A - Instância C)

No gráfico da Figura 16 percebe-se que não há margem para melhoria dos embarques devido à característica da instância, as combinações de notas fiscais não ocasionaram as mesmas oscilações presentes nos últimos embarques das instâncias A e B, mantendo os índices de máxima e mínima data de vencimento das notas próximos uns dos outros.

4.2.1.4 Instância D

A instância D, a menor e também a última instância utilizada, da mesma forma que a instância C, apresenta uma situação de imprevisto em que é possível realizar uma melhor combinação das notas fiscais a serem comprovadas a exportação com a finalidade de reduzir o custo com impostos. Dentro deste cenário, o modelo obteve resultado semelhante ao apresentado pelo método heurístico, pois manteve o percentual de melhoria em 0% e o mesmo valor final de imposto pago de R\$ 1.632,27.

Figura 17 – Imposto Pago / Meses (Modelo A - Instância D)

O gráfico da Figura 17 demonstra facilmente que as notas que pagaram impostos foram as notas finais da instância, ficando evidente que este custo existe por conta de sobra de notas fiscais que não couberam nos embarques das instâncias.

Figura 18 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo A - Instância D)

Conforme esperado, o gráfico da Figura 18 apresenta índices com poucas oscilações, demonstrando que o modelo de otimização, neste cenário, não conseguiu melhorar ainda mais o resultado em comparação ao método heurístico, ou seja, a regra FIFO obtém a mesma solução do modelo.

4.2.2 Resultados Modelo B

4.2.2.1 Instância A

Para a execução da instância A no modelo B, obteve-se um valor total de imposto pago de R\$ 494.253,02, sendo esse valor 39,16% menor do que o valor total do imposto que seria

pago pelo método heurístico para a mesma instância.

Figura 19 – Imposto Pago / Meses (Modelo B - Instância A)

O gráfico da Figura 19 nos mostra a cada mês o valor total de imposto que foi pago por conta da perda do prazo de comprovação fiscal de notas fiscais. Da mesma forma do modelo A, o modelo B apresentou um pico no valor do mês de junho de 2019, demonstrando a equivalência dos modelos na execução da instância A.

Figura 20 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo B - Instância A)

No gráfico da Figura 20, estão as oscilações das datas de vencimento de notas fiscais que foram comprovadas em cada embarque efetuado, sendo a linha vermelha correspondente à maior data de vencimento de uma nota fiscal embarcada, a linha verde à menor e a azul à própria data do embarque. Pode-se notar que entre os embarques 16 e 48 houve diversas oscilações.

4.2.2.2 Instância B

A instância B possui pouco mais da metade dos dados existentes na instância A. Para a execução desta instância utilizando o modelo B, foi possível obter uma redução de 33,53% de imposto pago, cujo valor somado resultou em R\$ 622.647,58.

O gráfico da Figura 21 demonstra que os 4 primeiros meses apresentam valores próximos aos demonstrados no gráfico da Figura 19, havendo a existência de um novo índice presente nos meses de setembro e novembro de 2019.

As oscilações no gráfico da Figura 22 apresentam índices mais estáveis no decorrer dos meses, havendo maiores oscilações entre os embarques 17 e 23.

Figura 21 – Imposto Pago / Meses (Modelo B - Instância B)

Figura 22 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo B - Instância B)

4.2.2.3 Instância C

Da mesma forma que há uma redução nos dados entre as instâncias A e B, há também entre as instâncias B e C, que neste caso, apresenta um percentual de redução no custo com impostos de 4,77% e um valor total de imposto pago, utilizando o modelo B para a instância C de R\$ 31.080,80.

Figura 23 – Imposto Pago / Meses (Modelo B - Instância C)

O gráfico da Figura 23 mostra dentro dos meses de vencimento das notas fiscais existentes na instância, todos os valores que forma pagos aconteceram no mês de junho de 2019, resultado equivalente ao apresentado pelo modelo A no gráfico da Figura 15.

Em relação às oscilações das datas de vencimento das notas utilizadas por embarques, o gráfico da Figura 24 o modelo B, assim como no modelo A, apresenta pequenas oscilações,

Figura 24 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo B - Instância C)

mantendo quase em todos embarques, a nota fiscal com menor data de vencimento próxima da data do embarque.

4.2.2.4 Instância D

Na execução da menor e última instância de dados utilizando o modelo B, foi identificado um comportamento um pouco diferente em relação ao modelo A para a mesma instância, pois, o modelo B escalonou uma parcela do pagamento de imposto para algumas notas fiscais existentes no mês 5. O resultado da otimização realizada pelo modelo B para esta instância foi de 19,41% de redução em relação ao método heurístico no valor de imposto, cujo o valor total pago foi R\$ 1.315,42.

Figura 25 – Imposto Pago / Meses (Modelo B - Instância D)

Justificando os resultados, o gráfico da Figura 25 exibe a parcela de imposto pago existente no mês de maio de 2019.

Figura 26 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Modelo B - Instância D)

O gráfico da Figura 26 apresenta oscilações controladas e a data do embarque se aproximando da menor data de vencimento das notas utilizadas nos últimos embarques.

4.2.3 Resultados Método Heurístico

Como falado anteriormente, o método heurístico apresentado neste trabalho utilizou da regra FIFO de embarque e, a seguir, são apresentados os resultados que foram obtidos utilizando as 4 instâncias dadas.

4.2.3.1 Instância A

Na instância que contém mais dados, o método heurístico teve um valor total de R\$ 812.364,69 pago por ter perdido prazo de comprovação fiscal de notas fiscais.

Figura 27 – Imposto Pago / Meses (Método Heurístico - Instância A)

Seguindo a regra heurística, o gráfico da Figura 27 mostra em quais meses iriam ser pagos impostos, sendo em 2019 julho e agosto e em 2020 no mês de março.

Figura 28 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Método Heurístico - Instância A)

No método heurístico, por não ter uma abordagem mais elaborada na combinação das notas fiscais a serem comprovadas, fica muito claro a pouca oscilação entre as datas máximas e mínimas das notas fiscais comprovadas em cada embarque, conforme apresenta a Figura 28.

4.2.3.2 Instância B

Na instância B, o método heurístico apresentou no final de sua execução, um valor total de R\$ 936.733,13 pago de imposto por perder prazo de comprovação de notas fiscais.

Figura 29 – Imposto Pago / Meses (Método Heurístico - Instância B)

A Figura 29 mostra que os índices dos meses 7 e 8 de 2019 estão sendo basicamente mantidos em relação à instância A, porém, como a instância B é menor, as quantidades que sobraram das notas e as que foram pagas no último mês da instância A, agora foram atribuídas ao último mês da instância B.

Figura 30 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Método Heurístico - Instância B)

No gráfico na Figura 30 mostra-se que há também poucas oscilações, mas podemos perceber nos embarques 17 e 18 que o índice de mínima data fica abaixo da data do embarque, significando que notas dentro destes embarques perderam prazos de comprovação e tiveram que ser recolhidos os impostos de suas quantidades restantes.

4.2.3.3 Instância C

A execução da instância C utilizando o método heurístico apresentou um valor total de imposto pago por perda de prazo de comprovação de notas fiscais de R\$ 32.637,72.

A Figura 31 mostra que os valores que foram pagos foram todos no último mês da instância (junho).

No caso do gráfico da Figura 32 houve poucas oscilações em relações às datas de vencimento das notas utilizadas nos embarques. Como sabemos que houve valores pagos nos

Figura 31 – Imposto Pago / Meses (Método Heurístico - Instância C)

Figura 32 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Método Heurístico - Instância C)

últimos meses e não temos o índice de mínima data de vencimento abaixo da data do embarque, estes valores pagos representam notas fiscais que sobraram e não couberam em embarques para serem comprovadas.

4.2.3.4 Instância D

Na execução da última instância utilizando o método heurístico, o valor total de imposto pago por perder o prazo de comprovação de notas fiscais foi de R\$ 1.632,22.

Figura 33 – Imposto Pago / Meses (Método Heurístico - Instância D)

No gráfico da Figura 33, da mesma forma da instância anterior, os valores que foram pagos estão presentes todos no último mês da instância.

Também podemos concluir, analisando a Figura 34, que o índice da data do embarque não ultrapassa o índice da mínima data de vencimento de nota fiscal existente no embarque.

Figura 34 – Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Método Heurístico - Instância D)

Sendo assim, como sabemos que valores foram pagos de impostos, estes foram decorrentes de sobras de notas que não couberam nos embarques e o modelo heurístico não realizou a troca destas por qualquer outra que pudesse embarque e resultasse em um menor valor de imposto pago.

4.3 Comparação dos Resultados

Ao realizar o processamento dos modelos A, B e do método heurístico para as 4 instâncias de dados, foram feitas as extrações de algumas métricas que definem a efetividade e os custos de processamento que se tem ao utilizar tais metodologias para resolver o problema descrito neste trabalho.

A Tabela 4 lista para cada instância e cada modelo que a processou, a quantidade de memória que foi utilizada em bits no processamento.

Tabela 4 – Memória em Byte

	Modelo A	Modelo B
Instância A	553.653.248	68.283.392
Instância B	193.280.000	23.962.112
Instância C	74.353.664	27.310.080
Instância D	42.716.160	5.728.256

As quantidades em memória apresentadas demonstram que a quantidade de Byte é proporcional ao tamanho da instância de dados, pois as maiores instâncias, apresentaram quantidades significativamente maiores de memória. As métricas extraídas para o modelo A acabaram sendo mais elevadas do que no modelo B.

Também foi possível medir o tempo que a implementação dos métodos apresentados necessitou para processar as instâncias de dados, estando os valores exibidos na Tabela 5 em segundos.

Tabela 5 – Tempo de execução em segundos

	Modelo A	Modelo B
Instância A	10,4227	2,46906
Instância B	2,76524	0,336504
Instância C	0,91966	0,0945272
Instância D	0,369883	0,0176589

O tempo utilizado para o método heurístico não está na tabela, porém, o tempo de processamento foi de menos de 3 segundos para executar todas as instâncias. O baixo valor está ligado à lógica de execução do método, que não busca realizar combinações diferentes para melhorar os resultados, pois o seu conceito está em sequenciar todas as notas e utilizá-las até o limite do embarque. A quantidade que sobrar da nota fiscal corrente é utilizada no próximo embarque.

O modelo A proposto é baseado no problema básico de dimensionamento de lotes. Apesar de ser um modelo linear, devido ao número de variáveis e restrições, em situações com um maior número de notas fiscais e embarques, haverá necessidade de aplicar um pre-processamento eficiente e, também aplicar técnicas de decomposição para tratar esse problema em larga escala.

Em relação às funções objetivos dos métodos, estas apresentaram os resultados que estão na Tabela 6, obtendo os mesmos valores para os dois modelos propostos, sendo possível obter o valor ótimo.

Tabela 6 – Valores das funções objetivos

	Modelo A	Modelo B
Instância A	R\$ 490.422,13	R\$ 490.422,13
Instância B	R\$ 305.780,62	R\$ 305.780,62
Instância C	R\$ 4.681,97	R\$ 4.681,97
Instância D	R\$ 29.217,13	R\$ 29.217,13

Na Tabela 6, os valores das funções objetivos obtidos pela resposta dos modelos após implementá-los, consideram as quantidades de impostos pagos para notas que embarcaram e totalmente/parcialmente perderam prazo de comprovação, já os valores das notas que não couberam nos embarques, ou seja, sobraram no estoque, são somados separadamente. Pode-se perceber a diferença de sobra de notas fiscais na Tabela 7 e também a grande diferença entre os valores dos métodos otimizados com o método heurístico. Esta diferença ocorre porque algumas notas fiscais com datas mais próximas ao ultimo embarque do horizonte de planejamento possuem vencimento após este período, que no caso, para o modelo, não possuem até então custos de impostos a serem recolhidos, porém na Tabela 7, estes custos estão todos considerados.

Tabela 7 – Valor Total (somando sobra de notas) das instâncias / modelos

	Modelo A	Modelo B	Método Heurístico
Instância A	R\$ 494.037,67	R\$ 494.253,02	R\$ 812.364,69
Instância B	R\$ 641.859,15	R\$ 622.647,58	R\$ 936.733,13
Instância C	R\$ 31.273,01	R\$ 31.080,80	R\$ 32.637,72
Instância D	R\$ 1.632,27	R\$ 1.315,42	R\$ 1.632,27

Um fato importante que podemos perceber na Tabela 7 é que mesmo os métodos de otimização apresentando o mesmo valor de função objetivo, os valores finais da tabela em questão não estão iguais. Esta situação ocorre pois, ao implementar os métodos, há uma informação crucial na nota fiscal que é o valor unitário de cada item, que geralmente apresenta-se várias casas decimais. A implementação realizou a redução das casas decimais através de arredondamento, que neste caso, ocasionou em algumas diferenças nos valores finais, mas sem perder a essência dos métodos.

Tabela 8 – Percentual de redução de imposto pago por instância / Modelo

	Modelo A	Modelo B
Instância A	39,19	39,16
Instância B	31,48	33,53
Instância C	4,18	4,77
Instância D	0	19,41

De forma resumida, a Tabela 8 nos mostra, o efeito relevante que os métodos de otimização tiveram sobre a situação especificada neste trabalho, no qual podemos ver os percentuais de redução em relação ao método heurístico de todas as instâncias e métodos que as processaram.

No caso, podemos perceber que para instância D houve uma situação de discrepância entre os dois modelos, pois os valores foram bem pequenos e o arredondamento do valor unitário na implementação ocasionou a substituição de parte de uma nota fiscal que teve sobra por outra nota fiscal. No caso, como as quantidades foram baixas, uma pequena melhora nos valores resultou em um percentual alto para o modelo B.

É importante ter em mente, que os dois modelos de otimização, mesmo havendo a situação do arredondamento, em um cenário em que as regras de embarque impeçam que o modelo realize qualquer substituição, os valores se manterão, no pior dos casos, iguais ao do método heurístico.

4.3.0.1 Instância A

Graficamente podemos visualizar a diferença entre os resultados dos métodos através da Figura 35, que nos mostra os valores pagos por mês para modelos, a aproximação dos dois métodos otimizados e a discrepância dos dois em relação ao método heurístico, pelo qual até os meses em que os impostos foram pagos estão diferentes.

Figura 35 – Comparativo de Imposto Pago / Meses (Instância A)

De forma mais resumida e visual, o gráfico apresentado na Figura 36 apresenta a diferença entre os valores totais de impostos pagos por cada modelo, ficando evidente a diferença entre os modelos de otimização contra o método heurístico.

Figura 36 – Comparativo dos Totais de Impostos Pagos (Instância A)

No gráfico apresentado pela Figura 37 podemos perceber como os valores mínimos e máximos de vencimento de notas fiscais para o método heurístico se mantêm com menos oscilações em relação aos dois modelos de otimização.

O gráfico da Figura 38 nos exhibe um comparativo entre os dois modelos otimizados e o método heurístico em relação ao valor médio de imposto que foi pago das notas fiscais vencidas por toneladas de seus produtos.

Neste caso, é evidente que os modelos de otimização poupam as notas fiscais com custos maiores de chegarem a vencer o seu prazo, utilizando notas fiscais com menores custos para cobrir quantidades em que não há mais prazo para comprovação fiscal.

Figura 37 – Comparativo de Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Instância A)

Figura 38 – Valor Médio de Imposto Pago por Tonelada de NF Vencida / Modelo (Instância A)

4.3.0.2 Instância B

O gráfico da Figura 39 exibe para a segunda instância dos dados, as diferenças de valores pagos por impostos por cada mês e modelo. É evidente que os modelos de otimização ficaram

Figura 39 – Comparativo de Imposto Pago / Meses (Instância B)

equiparados nos resultados e o método heurístico possuiu um resultado totalmente diferente, conforme podemos ver em julho de 2019.

Figura 40 – Comparativo dos Totais de Impostos Pagos (Instância B)

No gráfico da Figura 40 estão os valores pagos de impostos por cada modelo, demonstrando a equivalência entre os métodos otimizados e a discrepância com o método heurístico.

Figura 41 – Comparativo de Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Instância B)

Podemos perceber através do gráfico comparativo de mínima e máxima data de vencimento de notas fiscais que perderam prazo para comprovação, dado na Figura 41, que não há grandes oscilações para o método heurístico como acontece nos modelos otimizados, pois os índices se mantêm próximos, com bem menos oscilações que os demais.

No gráfico da Figura 42 fica evidente que os modelos de otimização optaram por utilizar notas fiscais com valores menores quando houve a necessidade de pagar imposto por perda de prazo, pois os valores médios dos produtos por toneladas estão próximos entre si e distantes do valor do método heurístico.

4.3.0.3 Instância C

Na execução da instância C, não houve uma melhora muito significativa entre os modelos de otimização e o método heurístico como aconteceu nas instâncias A e B. Isto acontece no caso,

Figura 42 – Valor Médio de Imposto Pago por Tonelada de NF Vencida / Modelo (Instância B)

respeitando as regras de embarques, não há como obter melhores combinações visando reduzir o custo de impostos.

Figura 43 – Comparativo de Imposto Pago / Meses (Instância C)

A Figura 43 mostra o comparativo entre os valores que foram pagos por mês de vencimento das notas que tiveram o prazo vencido. No caso, os três modelos utilizados possuíam notas apenas no mês de junho de 2019.

Figura 44 – Comparativo dos Totais de Impostos Pagos (Instância C)

Pelo fato do gráfico na Figura 43 ter apresentado os valores de impostos pagos apenas no mês de junho, a Figura 44 mostra basicamente a mesma visão, porém, sem a quebra por meses e com apenas valores totais obtidos pelos métodos.

Figura 45 – Comparativo de Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Instância C)

Como as figuras anteriores desta instância terem demonstrado uma diferença não tão grande nos resultados, a Figura 46 confirma o fato, exibindo poucas oscilações entre os modelos sobre as datas mínimas e máximas de vencimento das notas que perderam prazo de validade durante o processamento e também percebe-se a questão dos índices do método heurístico estarem sempre aproximados.

Figura 46 – Valor Médio de Imposto Pago por Tonelada de NF Vencida / Modelo (Instância C)

A Figura 46 exibe a média dos valores pagos por toneladas de produtos de notas fiscais que perderam prazo de comprovação fiscal, tendo os modelos de otimização ficado mais próximos em relação aos valores do método heurístico.

4.3.0.4 Instância D

A menor e última instância da base de dados utilizada justifica que no cenário de não havendo a possibilidade de melhorar os valores obtidos respeitando as regras de embarque, o modelo não obtém piores valores, apenas mantém o mesmo custo.

A Figura 47 exibe os valores pagos por impostos por mês de vencimento das notas fiscais, tendo ocorrido uma mudança para o modelo B que alterou notas fiscais que seriam pagas no mês de junho de 2019 por notas de maio, obtendo uma melhoria no resultado. Esta situação ocorreu

Figura 47 – Comparativo de Imposto Pago / Meses (Instância D)

com apenas um dos modelos de otimização por conta do arredondamento de casas decimais, que alterou a solução para o modelo B, refletindo no valor final de imposto que foi pago.

Figura 48 – Comparativo dos Totais de Impostos Pagos (Instância D)

Na Figura 48 fica mais fácil visualizar a diferença explicada pelo gráfico anterior pelo fato dos valores estarem apresentados nos seus totais, explicitando a diferença entre o resultado final dos métodos.

Figura 49 – Comparativo de Min e Max Data de Vencimento / Embarque (Instância D)

Comparando as oscilações das datas mínimas e máximas de vencimento das notas fiscais por embarque realizado através da Figura 49, percebemos que, neste caso, mesmo os modelos de otimização não obtendo resultados sem multas, os índices destes ficaram mais agrupados e também com uma distância maior dos índices do método heurístico.

Figura 50 – Valor Médio de Imposto Pago por Tonelada de NF Vencida / Modelo (Instância D)

E, por fim, a Figura 50 mostra o valor médio de imposto pago por tonelada de produtos de notas fiscais vencidas, cujo valor médio do modelo A ficou idêntico ao do método heurístico, ficando apenas a discrepância do valor obtido pelo modelo B.

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho, foi possível notar que diversos processos que estão ao nosso redor podem ser feitos de uma maneira melhor, pois até mesmo um processo de seleção de notas fiscais para comprovação fiscal em operação com fim específico exportação de *commodities*, pode ser feito de forma mais inteligente.

As modelagens de otimização desenvolvidas no trabalho terão efeito mais positivo em casos em que houver imprevistos na operação logística de empresas exportadoras, pois a tendência é que não se deixe apertar muito o prazo de vencimento de notas fiscais que necessitam mais ser comprovadas a sua exportação para manter a isenção de impostos. Porém, no meio logístico muitos fatores podem acarretar atrasos e problemas na distribuição dos produtos, por exemplo, a greve dos caminhoneiros no Brasil no ano de 2018, fatores climáticos que resultam na parada de carregamento de navios, problemas em maquinários portuários, etc. Nos casos exemplificados, os modelos propostos irão auxiliar as empresas a escolherem melhor as notas que serão comprovadas, de acordo com as suas datas e custos.

Os modelos de otimização apresentados comprovam os fatos, pois conseguiram obter em uma determinada situação, uma redução de quase 40% nos impostos pagos por perda de prazo na comprovação fiscal de notas fiscais em operação de fim específico exportação, ressaltando que esta situação foi houeveram imprevistos de atrasos, porém em casos reais, isto nem sempre irá ocorrer.

O modelo A necessitou de quantidades bem maiores de memória e tempo de processamento do que o modelo B, tendo maior dificuldade no seu processamento, sendo que em um cenário em que houver uma quantidade excessiva de notas fiscais, será necessário realizar um pré-processamento mais elaborado e também aplicar técnicas de decomposição para tratá-lo em larga escala.

O percentual de redução obtido na maior instância de dados utilizada, resultou em aproximadamente R\$ 320.000,00 de economia. Dada a situação política e econômica mundial, este

valor poupado por empresas que exportam, por exemplo, poderia até resultar em oportunidades de empregos para várias pessoas como também ser utilizado como recurso para o desenvolvimento de novas pesquisas com a finalidade de aprimorar novos processos e contribuir com o setor industrial brasileiro.

É importante ressaltar que as quantidades apresentadas na maior instância de dados é consideravelmente pequena em relação ao volume movimentado pelas grandes companhias brasileiras, portanto, os valores poupados podem ser muito maiores dos que foram apresentados.

Como forma de dar continuidade ao trabalho e aprimorá-lo, deverão ser considerados em trabalhos futuros a correção do problema dos arredondamentos sofridos nos valores unitários de cada item das notas fiscais, que acabaram por apresentar algumas diferenças entre os modelos propostos, mas mantendo a vantagem sobre o método heurístico. Com a correção dos arredondamentos, será possível aproximar ainda mais os valores entre os métodos de otimização e obter uma resposta com uma precisão ainda maior.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, R. **PORTAL ÚNICO DE COMÉRCIO EXTERIOR**. 2016. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=217270>. Acesso em: 21/02/2019. Citado nas páginas 28 e 29.

AMARANTE, S. R. M. **UTILIZANDO O PROBLEMA DE MÚLTIPAS MOCHILAS PARA MODELAR O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE MÁQUINAS VIRTUAIS EM COMPUTAÇÃO NAS NUVENS**. Fortaleza, BRASIL: Universidade Estadual do Ceará, 2013. Citado na página 80.

ARAUJO, S. A. d.; ARENALES, M. N. Problema de dimensionamento de lotes monoestágio com restrição de capacidade: modelagem, método de resolução e resultados computacionais. **Pesquisa Operacional**, scielo, v. 20, p. 287 – 306, 12 2000. ISSN 0101-7438. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382000000200010&nrm=iso. Citado nas páginas 83 e 85.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro, BRASIL: Elsevier, 2011. Citado nas páginas 78 e 81.

BARTHOLO, R. **NOVO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO: DU-E**. 2017. Disponível em: <http://www.grupofms.com.br/noticia/novo-processo-de-exportacao-du-e>. Acesso em: 21/02/2019. Citado na página 29.

_____. **NOVO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO: TIPOS DE EXPORTAÇÃO**. 2017. Disponível em: <http://www.grupofms.com.br/noticia/novo-processo-de-exportacao-tipos-de-exportacao>. Acesso em: 24/02/2019. Citado na página 31.

BONFANTI, C. **Modais utilizados no transporte doméstico e internacional**. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/internacional/mais-de-90-das-empresas-usam-rodovias-para-transportar-mercadorias-para-exportacao>. Acesso em: 22/01/2019. Citado nas páginas 22 e 23.

CARVALHO, R. **Problema da Mochila**. Campinas, BRASIL: Universidade Estadual de Campinas, 2015. Citado nas páginas 77 e 79.

CEDRO. **Problema da Mochila – Análise de Algoritmos**. [S.l.], 2015. Disponível em: https://blog.cedrotech.com/wp-content/uploads/2015/02/Problema_da_Mochila_Analise_Algoritmos.png. Acesso em: 14 jan. 2019. Citado na página 76.

CUNHA, A. L.; SANTOS, M. O.; MORABITO, R.; PÓVOA, A. B. **Um Modelo para o Problema de Dimensionamento de Lotes com Aquisição de Matérias-Primas**. [S.l.]: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2015. Citado na página 83.

DER-SP. **Classificação dos produtos perigosos**. 2019. Disponível em: http://200.144.30.103/siipp/public/imprime_classificacao.aspx. Acesso em: 23/01/2019. Citado na página 24.

FILHO, R. B. e J. V. C. Análise da distribuição logística da soja na região centro-sul do Brasil através de um modelo de equilíbrio espacial. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 08, n. 15, p. 11–23, 2000. Citado na página 25.

FISCOSOFT. **Simples Nacional - Exportação - Roteiro de Procedimentos**. [S.l.], 2018. Disponível em: <http://www.fiscosoft.com.br/main_online_frame.php?page=/index.php?PID=158573&key=3224330>. Acesso em: 02/03/2019. Citado nas páginas 32, 33 e 34.

GALHARDO, A. **Quais os benefícios fiscais para quem quer exportar?** [S.l.], 2011. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/pme/quais-os-beneficios-fiscais-para-quem-quer-exportar/>>. Acesso em: 02/03/2019. Citado na página 32.

GEIPOT. **Corredores estratégicos de desenvolvimento : relatório final / GEIPOT–Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes**. Brasília, BRASIL: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, 2002. Citado na página 25.

GOEBEL, D. **A Competitividade Externa e a Logística Doméstica**. Rio de Janeiro, BRASIL: BNDES, 2002. Citado na página 22.

HIAMASTA, J. **DU-E, novo fluxo de exportação**. 2018. Disponível em: <<https://www.portosenavios.com.br/noticias/artigos-de-opinioao/du-e-novo-fluxo-de-exportacao>>. Acesso em: 21/02/2019. Citado na página 28.

MACHLINE, C. **CINCO DÉCADAS DE LOGÍSTICA EMPRESARIAL E ADMINISTRAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NO BRASIL**. São Paulo, BRASIL: RAE-Revista de Administração de Empresas, 2011. Citado nas páginas 21 e 22.

MAPA. **AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>>. Acesso em: 24/01/2019. Citado nas páginas 20, 21 e 22.

MARQUES, F. do P.; ARENALES, M. N. **O Problema da mochila compartimentada e aplicações**. São Carlos, BRASIL: USP - São Carlos, 2004. Citado na página 79.

MARTELLO, S.; TOTH, P. **Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations**. Chichester, ENGLAND: John Wiley Sons, 1990. Citado na página 77.

MINIWEB. **HISTÓRIA DA EXPORTAÇÃO DE PRODUTOS NO BRASIL**. 2004. Disponível em: <http://www.miniweb.com.br/Historia/artigos/i_moderna/pdf/historia_das_exportacoes.pdf>. Acesso em: 21/01/2019. Citado na página 16.

MOREIRA, J. C. H. **Uma Abordagem com Multi-Mochilas Multidimensionais para o Problema de Alocação de Ações de Redução de Perdas na Distribuição de Energia**. Vitória, BRASIL: Universidade Federal do Espírito Santo, 2015. Citado na página 79.

NETO, M. S. de O. **AValiação dos Critérios para a Seleção de Transportador e Modo de Transporte para o escoamento da safra agrícola de grãos**. Rio de Janeiro, BRASIL: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO, 2010. Citado nas páginas 24 e 25.

PISINGER, D. **Algorithms for Knapsack Problems**. 1995. Citado na página 79.

_____. An expanding-core algorithm for exact 0-1 knapsack problem. **Euro-pean Journal of Operational Research**, v. 87, n. 1, p. 175–187, 1995. Citado na página 77.

- PROCOMEX. **NOVO PROCESSO DE EXPORTAÇÃO**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.procomex.org.br/curso-novo-processo-de-exportacao/>>. Acesso em: 24/02/2019. Citado nas páginas 30 e 31.
- QUECONCEITO. 2019. Disponível em: <<http://queconceito.com.br/exportacao>>. Acesso em: 26/10/2017. Citado na página 15.
- RATTON, E.; RECK, G.; BLASI, G. F.; BASTOS, J. T.; PEREIRA, M. de A.; KUSTER, W. **Sistemas de Transporte**. 2015. Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Sistemas/Arquivos/TT046_Aula2001.pdf>. Acesso em: 23/01/2019. Citado na página 23.
- REILLY E, D. **Concise Encyclopedia of Computer Science**. [S.l.]: WILEY, 2004. Citado na página 77.
- REUTERS. **Exportação do agronegócio do Brasil atinge recorde de US\$ 101,7 bi em 2018, diz governo**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/google/amp/economia/agronegocios/noticia/2019/01/18/exportacao-do-agronegocio-do-brasil-atinge-recorde-de-us1017-bi-em-2018-diz-governo.ghtml>>. Acesso em: 24/01/2019. Citado na página 20.
- RFB. **Controle Aduaneiro**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/aduaneira/manuais/despacho-de-importacao/topicos-1/conceitos-e-definicoes/controlado-aduaneiro>>. Acesso em: 29/01/2019. Citado na página 26.
- _____. **Despacho de Exportação**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/aduaneira/manuais/despacho-de-exportacao/topicos/conceitos-e-definicoes/despacho-de-exportacao>>. Acesso em: 29/01/2019. Citado nas páginas 27 e 28.
- _____. **Local de Realização do Despacho**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://receita.economia.gov.br/orientacao/aduaneira/manuais/despacho-de-importacao/topicos-1/conceitos-e-definicoes/local-de-realizacao-do-despacho>>. Acesso em: 04/02/2019. Citado nas páginas 26 e 27.
- ROCHA, D. A. de M. 2007. Disponível em: <<http://danielamaral.wikidot.com/paa-2007-1-projeto-1-mochila-fracionaria>>. Acesso em: 20/01/2019. Citado na página 82.
- SAGE. **Tabela ICMS 2019 Atualizada com as Alíquotas dos Estados**. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://blog.sage.com.br/tabela-icms-2019-atualizada/>>. Acesso em: 02/03/2019. Citado na página 33.
- SILVA, D. D.; RODRIGUES, I.; CRUZ, J. **Algoritmos Gulosos e Aproximados**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/inaelrodrigues1/paa-algoritmos-gulosos>>. Acesso em: 20/01/2019. Citado na página 81.
- SISCOMEX. **Exportação por Meio de Declaração Única de Exportação (DU-E)**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://portal.siscomex.gov.br/conheca-o-portal/exportacao-por-meio-de-declaracao-unica-de-exportacao-du-e>>. Acesso em: 20/02/2019. Citado nas páginas 29 e 30.
- SOUZA Éfren Lopes de; RAFAEL, E. A. L. Abordagens para resolver o problema da mochila 0/1. **Revista Igapó**, v. 01, n. 1, p. 91–92, 2009. Citado na página 78.
- TRIGEIRO, W. W.; THOMAS, L.; MCCLAIN, J. O. Capacitated lot sizing with setup times. **Management Science**, v. 35, p. 353–366, 03 1989. Citado na página 83.

MOCHILA E SUAS VARIAÇÕES

Este capítulo apresenta o referencial teórico utilizado para o desenvolver desta dissertação e os conceitos que foram estudados para auxiliar a formular a modelagem matemática que irá buscar otimizar o problema principal desta dissertação.

Pelo fato do problema proposto se basear em um problema combinatório, iremos ver nas seções a seguir alguns dos principais conceitos existentes na literatura matemática referente a otimização combinatória e seus derivados.

A.1 Problema da mochila

Imagine a situação de você ir para um acampamento por alguns dias e necessitar levar objetos essenciais para uso próprio em uma mochila. Nesta situação surge uma dúvida, quais objetos levar?

A mochila que você possui não é de tamanho infinito e seus utensílios possuem cada um a sua prioridade e medida. Surge aí o desafio de conseguir carregar esta mochila com o máximo de aproveitamento, levando os objetos de acordo com as suas dimensões e prioridades.

Figura 51 – Problema da Mochila

Fonte: CEDRO (2015).

Na literatura matemática existem diversos problemas clássicos e importantes de pro-

gramação inteira, cuja situação que acabamos de exemplificar, encaixa-se no famoso problema conhecido como problema da mochila.

O problema da mochila que em inglês define-se por *Knapsack Problem* é um problema de otimização combinatória, que na literatura é ilustrado como uma mochila, onde vários itens de pesos e valores diferentes podem ser carregados, porém, devem respeitar o limite máximo da capacidade, buscando obter o maior valor possível na soma dos objetos carregados na mochila.

Este problema foi exposto em 1972 e é um dos 21 problemas de Richard Karp NP-completos. Sua formulação é considerada extremamente simples, mas a sua solução é mais complexa (REILLY E, 2004).

Classificado com uma complexidade NP-difícil, este problema é um problema de programação linear inteira. Caso a situação em que este problema está sendo implementado necessite listar todas as possibilidades existentes e assumir a maior parte delas, a complexidade crescerá para ordem 2^n , sendo n a quantidade de objetos existentes. (CARVALHO, 2015)

Conforme exemplificado por Martello e Toth (1990), se utilizássemos um computador que processa 1 bilhão de vetores por segundo, dando como resultado a melhor combinação existente, necessitaríamos de aproximadamente 30 anos para analisar uma situação em que houvesse 60 objetos e acima de 60 anos para outra com 61 objetos, mas ainda assim é possível, com alguns algoritmos, poucos segundos para solucionar um problema com um milhão de objetos em um computador simples.

As seções abaixo descrevem as variações mais conhecidas atualmente para o problema da mochila.

A.1.1 Mochila Booleana

O problema da mochila booleana também pode ser chamado de problema booleano da mochila, problema da mochila 0 - 1 ou apenas problema da mochila. O problema da mochila booleana (PISINGER, 1995b) pode ser definido da seguinte maneira. Existem n objetos a serem colocados em uma mochila com capacidade c , cada objeto j possui um valor p_j e peso w_j atribuído. É desejado carregar a mochila aproveitando o maior valor possível, sem ultrapassar a sua capacidade c . Matematicamente, este problema é definido:

$$\text{maximizar } \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (\text{A.1})$$

$$\text{sujeito a } \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c \quad (\text{A.2})$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, N. \quad (\text{A.3})$$

sendo x_j igual a 1 se o item j está incluído na mochila e 0 para a situação contrária. Sem perda de generalidade assume-se que $w_j < c$, para garantir que todos os objetos caibam na mochila e $\sum_{j=1}^n w_j > c$ para evitar soluções triviais (SOUZA; RAFAEL, 2009).

No livro Arenales *et al.* (2011) os autores propuseram um exemplo real para o problema da mochila booleana, ou, como dito pelos autores, mochila 0 - 1. Este exemplo consiste em considerar n projetos e um capital b para investimento, tendo o projeto j um custo a_j e um retorno esperado p_j . A situação resume-se em selecionar quais projetos maximizariam o retorno total esperado sem exceder o limite de capital investido.

Abaixo temos a formulação matemática do problema da mochila booleana para o problema exemplificado acima, exibido no livro Arenales *et al.* (2011).

Definição das variáveis

$$x_j \begin{cases} 1, & \text{se o projeto } j \text{ é selecionado} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O problema então é formulado como:

$$\text{maximizar } \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (\text{A.4})$$

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b \quad (\text{A.5})$$

$$x \in B^n \quad (\text{A.6})$$

A função objetivo (2.1) refere-se à maximização do retorno esperado, a expressão (2.2) condiciona o capital b a não poder ser excedido. A restrição (2.3) determina o tipo das variáveis envolvidas.

Conforme citado por Arenales *et al.* (2011), este problema é caracterizado como problema da mochila por causa da analogia de decisão de quais itens devem ser carregados em uma mochila, sem extrapolar o seu limite de peso. Também pode ser representado como um subproblema de diversos outros problemas de otimização combinatória. No caso de existirem outras restrições do tipo volume da mochila, teríamos o problema da mochila multidimensional.

A.1.2 Mochila Compartimentada

O problema da mochila compartimentada, podendo também ser chamado como o problema da mochila multidimensional, acaba sendo bastante parecido com o problema da mochila booleana.

A particularidade deste problema em relação ao booleano é que neste caso temos que levar em consideração que a mochila possui mais de um compartimento, sendo cada um com a sua capacidade de armazenamento, com isso acaba sendo acrescentado um novo conjunto de restrições aos modelos.

Para este problema, podemos considerar uma situação em que os objetos a serem carregados na mochila possuam categorias distintas, como comida, roupas, livros, etc. Cada objeto pode somente estar vinculado a outros demais objetos de sua mesma categoria, dentro de um mesmo compartimento da mochila, não podendo ser misturado com outros objetos de categorias diferentes em um mesmo compartimento.

Os compartimentos da mochila compartimentada são variáveis, sendo que a pessoa que está carregando esta mochila possa optar por carregar uma quantidade maior de uma determinada categoria do que de outra, porém, há um limite inferior e superior para cada um dos compartimentos.

Conforme citado por (CARVALHO, 2015), um dado custo c_k é atribuído a um compartimento se ele for carregado com algum objeto da categoria k e a soma de todos os compartimentos não podem ultrapassar a capacidade máxima da mochila.

Problema da Mochila Compartimentada consiste em determinar as capacidades adequadas de cada compartimento e como estes devem ser carregados de modo que o valor de utilidade total (soma dos valores de utilidade de todos os itens selecionados) seja máximo, descontando-se os custos dos compartimentos, os quais dependem dos agrupamentos com que foram preenchidos (c_k). (MARQUES; ARENALES, 2004).

A mochila compartimentada pode ser formulada da seguinte maneira (PISINGER, 1995a):

$$\text{maximizar} \quad \sum_{j=1}^N p_j \cdot x_j \quad (\text{A.7})$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_{j=1}^N w_{j,r} \cdot x_j \leq c_r, \quad r = 1, \dots, R, \quad (\text{A.8})$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, N. \quad (\text{A.9})$$

Pelo fato de alguns trabalhos mencionarem a dificuldade encontrada na prática para essa abordagem, esta ainda assim é muito utilizada também como uma forma de comparação entre diversas outras implementações metas-heurísticas e, por esse motivo, possui uma vasta literatura disponível (MOREIRA, 2015).

A.1.3 Mochilas Múltiplas

As variações dos problemas anteriores eram sobre casos em que estava sendo carregado apenas uma mochila. Neste subcapítulo, iremos ver o conceito do problema de múltiplas mochilas, que é o caso onde temos vários objetos e também várias mochilas a serem carregadas.

Figura 52 – Problema da Mochila Múltipla

Fonte: [Amarante \(2013\)](#).

Uma situação exemplo, onde este problema poderia ser aplicado seria a de uma empresa logística portuária que possui uma programação de vários navios e diversos contêineres de clientes distintos aguardando para serem carregados. Neste caso cada contêiner será embarcado em apenas um navio e a restrição seria somente a capacidade de carregamento de cada navio.

Considerando n objetos que devem ser carregados em m mochilas de capacidades distintas, $b_i, i = 1, \dots, m$. Cada objeto j possui um lucro p_j e um peso w_j , e o problema destina-se a selecionar os m subconjuntos distintos de objetos, sendo que cada subconjunto destes preencha uma capacidade de no máximo b_i , tudo isso visando maximizar o lucro obtido.

Abaixo a formulação matemática para solucionar o caso.

Definição das variáveis

$$x_{ij} \begin{cases} 1, & \text{se o objeto } j \text{ é colocado na mochila } i \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O problema então é formulado como:

$$\text{maximizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_j x_{ij} \quad (\text{A.10})$$

$$\sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \quad (\text{A.11})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad j = 1, \dots, m \quad (\text{A.12})$$

$$x \in B^{mn} \quad (\text{A.13})$$

A função objetivo (2.7) representa a maximização do lucro total, já as restrições (2.8) garantem que a capacidade b_i da mochila i não pode ser ultrapassada. As restrições (2.9) indicam se o objeto é escolhido, sendo assim, ele é carregado em apenas uma mochila. Por fim, a última restrição representa a definição das variáveis utilizadas (ARENALLES *et al.*, 2011).

A.1.4 Mochila Fracionária

O problema da mochila fracionária possui outros dois nomes que podem ser encontrados, sendo eles o problema fracionário da mochila ou problema da mochila contínua. Na língua inglesa é definido como *fractional knapsack problem*.

Esta variação do problema da mochila, consiste em identificar um conjunto de objetos que serão carregados na mochila, visando obter o maior valor possível transportado, levando em consideração o limite de armazenamento da mochila como restrição de capacidade. A sua particularidade está no fato de um objeto poder ser carregado na mochila em forma de fração, ou seja, em partes deste mesmo objeto e relativamente os seus valores.

Figura 53 – Problema da Mochila Fracionária

Fonte: Silva, Rodrigues e Cruz (2013).

De acordo com a imagem acima, de Silva, Rodrigues e Cruz (2013), podemos notar um exemplo (a) onde existem 3 objetos com valores e quantidades diferentes e uma mochila com capacidade 50. No exemplo (b) que existe na imagem, há uma tentativa de combinação para encontrar um maior valor, porém não tão eficiente, pois podemos ver que há espaço disponível

na mochila, já no exemplo (c), a mochila foi combinada de forma maximizada, onde alguns itens foram fracionados para se obter o máximo valor possível, utilizando todo o armazenamento da mochila.

Comparado ao problema da mochila booleana, onde um determinado objeto só pode entrar inteiramente em uma mochila, o problema fracionado da mochila, permite que quebre-mos cada objeto em frações para que possamos maximizar ainda mais o valor obtido com a combinação de objetos carregados.

O autor [Rocha \(2007\)](#) define o problema sendo um conjunto de n objetos e uma mochila, para cada objeto $i = 1, 2, \dots, n$ é atribuído um peso positivo w_i e um valor positivo v_i , tudo isso levando em consideração que a mochila só pode carregar um peso que não ultrapasse o seu limite de capacidade w . Abaixo temos a formulação matemática que o autor [Rocha \(2007\)](#) utilizou para expressar o problema matematicamente.

$$\text{maximizar } \sum_{i=1}^n x_i v_i \quad (\text{A.14})$$

$$\text{sujeito a } \sum_{i=1}^n x_i w_i \leq W \quad (\text{A.15})$$

$$v_i > 0 \quad (\text{A.16})$$

$$w_i > 0 \quad (\text{A.17})$$

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (\text{A.18})$$

Um exemplo de aplicabilidade para este problema seria o caso de um ladrão entrar em uma loja de farináceos com uma mochila e encontrar vários sacos de produtos diferentes com pesos diferentes e valores diferentes a serem roubados. Este poderia fracionar os produtos dentro da mochila, de modo com que conseguisse um maior valor agregado aos produtos roubados, aproveitando o máximo da capacidade de sua mochila.

DIMENSIONAMENTO DE LOTES

O problema de dimensionamento de lotes, é um problema presente na literatura matemática, comumente encontrado pelo seu nome em inglês *lot sizing*. Este problema é muito utilizado no setor de PCP (Planejamento e Controle da Produção) das empresas, que é o setor responsável por definir a quantidade que é necessário ser produzida dentro de um horizonte de tempo para atender uma demanda, cujo objetivo final é obter um planejamento de produção otimizado, respeitando os limites de produção disponível e o atendimento da demanda. (CUNHA *et al.*, 2015).

Um problema de dimensionamento de lotes pode ser categorizado em duas formas, monoestágio e multiestágio. No modelo proposto por este trabalho, foram utilizados conceitos do problema de dimensionamento de lotes monoestágio.

A categoria do problema de dimensionamento de lotes monoestágio possui como característica uma única etapa de processamento para cada produto, podendo ser o produto final obtido pelo processamento direto da matéria-prima ou de materiais adquiridos sem passar por outros processos industriais intermediários (CUNHA *et al.*, 2015).

B.1 Modelo de Dimensionamento de Lotes Monoestágio

A formulação do problema abaixo foi extraída do trabalho de Araujo e Arenales (2000) que apresentou este problema utilizando o modelo desenvolvido por Trigeiro, Thomas e McClain (1989).

B.1.1 Índices

$i = 1, \dots, N$ Itens;

$t = 1, \dots, T$ Intervalos de tempo;

B.1.2 Parâmetros

H_{it}	Custo unitário de armazenagem do item i no período t ;
I_{it}	Unidades do item i armazenadas no período t ;
C_{it}	Custo unitário de produção do item i no período t ;
X_{it}	Unidades do item i produzidas no período t ;
S_{it}	Custo de preparação para a produção do item i no período t ;
Y_{it}	Representando a produção de Y_{it} igual a 1 se sim ou 0 se não, para o item i no período t ;
d_{it}	Demanda do item i no período t ;
b_i	Tempo necessário para a produção de uma unidade do item i ;
s_i	Tempo de preparação para produzir o item i ;
CAP_t	Limite de capacidade na medida de tempo no período t ;
M	Número grande;

B.1.3 Função Objetivo

$$\min \sum_t \sum_i H_{it} I_{it} + \sum_t \sum_i c_{it} X_{it} \sum_t \sum_i S_{it} Y_{it} \quad (\text{B.1})$$

A função objetivo B.1 visa minimizar a soma total dos custos referentes a produção, preparação e estocagem dos produtos.

B.1.4 Restrições

$$I_{i,t-1} + X_{it} - I_{it} = d_{it}, \quad \forall i, t \quad (\text{B.2})$$

$$\sum_i b_i X_{it} + \sum_i s_i Y_{it} \leq CAP_t, \quad \forall t \quad (\text{B.3})$$

$$X_{it} - MY_{it} \leq 0, \quad \forall i, t \quad (\text{B.4})$$

$$Y_{it} = 0 \text{ ou } 1, \quad \forall i, t \quad (\text{B.5})$$

$$X_{it} \text{ e } I_{it} \geq 0, \quad \forall i, t \quad (\text{B.6})$$

A restrição B.2 corresponde ao total do estoque do produto, sendo a cada período de tempo, a quantidade que foi produzida somada a quantidade existente no estoque de períodos anteriores subtraído a sobra do estoque do próximo período tem que ser igual à demanda exigida do período.

A limitação de capacidade está referenciada pela restrição B.3 que considera o tempo deferido para se produzir os itens e a preparação dos equipamentos.

A garantia de que é levado em consideração o custo de preparo e o tempo somente quando há produção, é realizada pelas restrições B.4 e B.5. A restrição B.6 é responsável pelo controle da não negatividade (ARAUJO; ARENALES, 2000).