

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

**Felipe Guilmo Lourenço**  
**Artur Lovato da Cunha**  
**Maristela Oliveira Santos**

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo  
Av. Trab. São Carlsense, 400 - Centro, São Carlos - SP

felipeguilmo@usp.br

arturlc@gmail.com

mari@icmc.usp.br

### RESUMO

Neste trabalho apresentamos um modelo de otimização linear e um método heurístico de solução para tratar um problema de comprovação fiscal em exportações de commodities no Brasil. O governo estimula as exportações no país através de alguns benefícios fiscais como a comprovação fiscal das exportações de mercadorias acompanhadas de notas fiscais de tipo de operação de fim específico para a exportação. Os benefícios deixam de serem concedidos a partir da perda do prazo da comprovação fiscal da nota fiscal através da Declaração Única de Exportação (DU-E). Cada nota tem 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 ordens de embarques dos produtos obedecendo às suas datas de isenção de modo a minimizar os impostos pagos devido os 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.

**L&T – Logística e Transportes**

### ABSTRACT

In this paper, we present a linear optimization model and a solution heuristic method to deal with a problem of tax in the export of Brazilian commodities. The government encourages exports through some tax benefits such as the taxation of exports of goods accompanied by invoices with a specific purpose for export. The benefits cease to be granted with the loss of the tax invoice verification period through the Single Export Declaration (DU-E). Each invoice has an issue date, fiscal exemption days, the percentage of the ICMS tax rate charged depending on the issuing state, the items, and their quantities. The decisions aim to establish the orders of shipments of the products obeying their dates of exemption in order to minimize the taxes paid due to the maturity of the delivery times of the notes. The results obtained using the mathematical model show that the optimized shipping policy for invoice products presents a 39% reduction in costs in certain situations.

**KEYWORDS.** Linear optimization. Commodities export. FIFO heuristic.

**L&T – Logistics and Transportation**

## 1. Introdução

De acordo com o Ministério da Agricultura Brasileira, o Setor do Agronegócio Brasileiro apresentou um aumento de 5,9% em 2018 nas exportações em relação ao ano de 2017. Esse aumento está relacionado ao interesse do mercado chinês pelos produtos do agronegócio brasileiro [Reuters, 2019]. O Brasil é o maior exportador do mundo de suco de laranja, soja, café e açúcar, e atualmente, em primeiro lugar em quantidade de exportação brasileira, está a soja, com um volume de exportação em 2018 de 83,6 milhões de toneladas [Reuters, 2019]. Esses produtos agrícolas são denominados de *commodities*. 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.

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 shoyo 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 países do mundo todo.

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 realizada por meio 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.

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 alfândega brasileira é realizado pela Secretaria da Receita Federal do Brasil (RFB), onde a autoridade que realiza estas fiscalizações para este órgão é chamada de Auditor-Fiscal da Receita Federal [RFB, 2014a]. No que diz respeito a exportação, um dos instrumentos principais 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 [RFB, 2014a]. Toda carga de produtos que possuem 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- Declaração Única de Exportação) [RFB, 2014b]. Esse novo processo possui integração com a Nota Fiscal Eletrônica (NFE), permitindo uma maior rastreabilidade nas informações prestadas pelo exportador, segurança contra fraudes e simplificação.

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 ao nível 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 ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), que deixa de ser tributado quando um produto é produzido com a finalidade da exportação. Também há benefícios para o IPI (Imposto de Produtos Industrializados) e a ausência de cobrança de pagamento dos impostos (COFINS) Contribuição para Financiamento da Seguridade Social e (PIS) Contribuição para o Programa de Integração Social [Galhardo, 2011].

Quando a empresa produtora realiza a exportação da própria mercadoria, a operação é nomeada de exportação direta, que consiste na venda direta para o cliente situado no exterior, porém, em muitos casos, os produtores realizam a venda de sua mercadoria para alguma comercial exportadora brasileira, que realiza a exportação da mercadoria. A exportação realizada pela empresa comercial exportadora, é chamada de exportação indireta que, neste caso, o produtor vende a mercadoria dentro do país para estas empresas através da operação de venda com fim específico exportação [FISCOSOFT, 2018]. A Legislação do Simples Nacional equipara a exportação indireta a exportação direta, desta forma, da mesma maneira em que ocorrem as receitas provenientes de exportações diretas, as receitas provenientes de exportações indiretas também não serão tributadas relativamente aos percentuais dos impostos ICMS, PIS/PASEP, IPI e COFINS [FISCOSOFT, 2018]. As isenções de impostos citadas acima, deixam de ser isentas nos casos de produtores ou empresas comercial exportadora perder o prazo de comprovação fiscal das notas fiscais de remessas com fim específico exportação, perda da mercaria por qualquer que seja o motivo ou venda da mercadoria no mercado interno, ficando excluídas as operações futuras que não obrigam o pagamento dos tributos. As tributações podem variar por estado, pois, cada um possui o seu percentual definido, que é calculado sobre o valor da nota fiscal [FISCOSOFT, 2018].

A Figura 1 mostra os percentuais e alíquotas de ICMS entre os estados brasileiros. 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. Na exportação de *commodities*, 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 ou política de embarque FIFO (First In First Out), que significa primeiro que entra é o primeiro que sai. Ou seja, as notas (e conseqüentemente os seus produtos) que chegam primeiro, serão exportadas primeiro. Assim, neste trabalho, desenvolvemos um modelo matemático de programação linear que visa minimizar o custo de empresas exportadoras com impostos cobrados pelo governo devido à perda de prazos na comprovação fiscal de notas fiscais nas operações de compra com fim específico exportação. Deste modo, caso ocorra algum problema no embarque das notas, determina-se, com o modelo matemático, uma política de embarque dos produtos (com combinações entre notas) de modo que o imposto pago pelas empresas exportadoras seja o mínimo possível.

Figura 1: Tabela de ICMS 2019

		DESTINO																											
		AC	AL	AM	AP	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA	PB	PR	PE	PI	RN	RS	RJ	RO	RR	SC	SP	SE	TO	IM
ORIGEM	AC	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4	
	AL	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	AM	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	AP	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	BA	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	CE	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	DF	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	ES	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	GO	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	MA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	MT	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	MS	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	MG	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	18	7	7	12	7	7	12	7	7	12	7	7	12	7	7	4
	PA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	PB	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	PR	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	18	7	7	12	7	7	12	7	7	12	7	7	4
	PE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	PI	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	RN	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	4
	RS	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	18	7	7	12	7	7	12	7	7	4
	RJ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	20	7	7	12	7	7	4	
	RO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17,5	12	12	4
	RR	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	4
	SC	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	4
	SP	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	4
	SE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4
TO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	4	
IM	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

Fonte: [SAGE, 2019]

Exemplos baseados em um problema real de uma empresa exportadora de *commodities* do interior de São Paulo foram gerados e as soluções obtidas pelo modelo matemático foram comparadas com a política de embarque FIFO.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. A descrição do problema, modelo proposto e a abordagem FIFO são apresentados na Seção 2. Na Seção 3 são apresentados os experimentos computacionais. E, finalmente a conclusão do trabalho está exposto na Seção 4.

## 2. Descrição do Problema e Abordagens de Solução

Para os processos de exportação no Brasil, o governo estimula as exportações no país através de alguns benefícios fiscais, que para o caso do problema especificado neste trabalho, está a comprovação fiscal das exportações de mercadorias acompanhadas de notas fiscais. Os benefícios basicamente deixam de ser concedidos a partir do momento em que alterada a finalidade da mercadoria ou através da perda do prazo da comprovação fiscal da nota fiscal através da DU-E. 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 e quantidades de dias aceitáveis como prazo, que são aplicados diretamente 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 vencido prazo de uma determinada quantidade de uma nota fiscal, os tributos são calculados e pagos referentes as quantidades e valores restantes, a partir daí, não há mais a isenção nem a cobrança dos mesmos impostos, pois, os mesmos já foram tributados.

Imprevistos podem ocorrer em toda a cadeia de operação da exportação no Brasil, desde a lavoura, transporte, armazenamento e etc, são por estes motivos que este trabalho apresenta uma forma otimizada de obter, a melhor combinação possível de quais notas fiscais e a quantidade de cada item 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 a 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, consiste em considerar a data de vencimento de uma nota fiscal para decidir o momento de ser embarcada, e analisar 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 sob as quantias restantes das notas fiscais.

## 2.1. Modelo Matemático A

O modelo matemático A é baseado no problema de dimensionamento de lotes [Furlan and Santos, 2017]. Neste modelo deve-se determinar 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  $t$ . Assim, no modelo devemos planejar os  $S$  embarques que acontecem ao longo do horizonte de planejamento  $T$ .

### 2.1.1. Índices

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

### 2.1.2. 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;  
 $\Delta_i$  intervalo de período de isenção da nota fiscal  $i$ ;  
 $\mathbb{N}_i(t)$  subconjunto de notas fiscais  $i$  cuja isenção termina antes do período  $t$ .

### 2.1.3. 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  $t$ ;

### 2.1.4. Função Objetivo

$$\min \sum_j \sum_i \sum_{t=h_i+\Delta_i}^T p_i \cdot c_{j,i} \cdot Q_{j,i,t} + \sum_j \sum_{i \in \mathbb{N}_i(T)} m \cdot I_{j,i,T} + \sum_j \sum_s \sum_t M \cdot B_{j,s,t} \quad (1)$$

A função objetivo (1) 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 ( $M$ ).

### 2.1.5. Restrições

$$I_{j,i,t-1} + q_{j,i,t} = Q_{j,i,t} + I_{j,i,t}, \quad \forall j, i, t \quad (2)$$

$$\sum_s d_{j,s,t} = \sum_i Q_{j,i,t} + \sum_s B_{j,s,t}, \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$Q_{j,i,t} \geq 0, \quad B_{j,s,t} \geq 0, \quad I_{j,i,t} \geq 0 \quad \forall j, i, s, t \quad (4)$$

As restrições (2) 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) 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 4 são de domínio das variáveis.

## 2.2. Método Heurístico - Regra FIFO

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. Essa abordagem de solução reproduz a prática utilizada em empresas de exportação para comprovação das notas fiscais. 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 pseudo código 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 pela ordem de chegada.
- *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 pseudo código apresentado no algoritmo 1 inicia com 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, o vetor *nf* recebe todas as notas fiscais ordenadas utilizando o método *ordenar\_notas\_fiscais*. O mesmo acontece na linha 3, onde o vetor *e* recebe a lista de embarques ordenada. Nas linhas 4 e 5, são abertas, de forma encadeada, os laços de repetição que irão percorrer as listas de embarques e seus itens. Na linha 6, um outro laço é aberto para percorrer as notas fiscais com a data de emissão *nf.dt* menor ou igual à data saída do embarque *e.dt*. Já na linha 7, percorrem-se os itens das notas fiscais, restringindo 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 restringe-se a 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 positivos. Após o carregamento dos dados de forma encadeada, esta a regra de embarque que irá calcular a quantidade embarcada da nota fiscal (linha 8). Na linha 8, usa-se a instrução "se" para condicionar dois cenários, o do saldo do item da nota fiscal *nf.item.saldo* ser maior que a demanda restante do item do embarque ou, ao 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 de 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 (linhas 8 a 11), que definiu a quantidade a ser atribuída a variável *v\_qt\_util*, na linha 12, 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 13. Por fim, após descontada das duas estruturas (embarques e notas fiscais) as quantidades utilizadas, são realizadas as combinações pelo processo (FIFO), através do método da linha 14, que recebe a combinação de item de embarque, item da nota fiscal e a quantidade que os relacionam.

---

#### Algorithm 1 Método Heurístico (FIFO)

---

```
1: procedure comprovar_notas_fiscais(notas_fiscais, embarques)
2:   nf ← ordenar_notas_fiscais(notas_fiscais)
3:   e ← ordenar_embarques(embarques)
4:   for all e do
5:     for all e.item do
6:       for all (nf.dt ≤ e.dt) do
7:         for all (nf.item.id = e.item.id & e.item.demand > 0 & nf.item.saldo > 0) do
8:           if nf.item.saldo > e.item.demand then
9:             v_qt_util ← e.item.demand
10:          else
11:            v_qt_util ← nf.item.saldo
12:            nf.item.saldo ← nf.item.saldo - v_qt_util
13:            e.item.demand ← e.item.demand - v_qt_util
14:            comprovar_exp(e.item, nf.item, v_qt_util)
```

---

### 3. Experimentos Computacionais

O algoritmo foi implementado na linguagem de programação C++ e os experimentos computacionais 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. O modelo foi resolvido com o IBM ILOG CPLEX 12.7 considerando sua configuração padrão. E um tempo limite igual a 1800 segundos como critério de parada.

#### 3.1. Dados

A Tabela 1 expõe resumidamente as quantidades, 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 apresentado na Figura 1. As colunas da Tabela 1 são definidas da seguinte forma: (Cod Nf): Código da nota fiscal; (Dt Emissão): Data de emissão da nota fiscal; (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. É este percentual que será atribuído sobre a quantidade restante, vezes o 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"; (Qtde): Quantidade total do item da nota fiscal. Esta quantidade é considerada menor durante o processamento dos embarques; (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 nascimento de uma nota fiscal, 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, que é o momento que a nota fiscal é recebida no local de embarque, possui o controle de não permitir que uma nota fiscal seja utilizada em um embarque com data menor do que a data de recebimento, que seria uma situação impossível logicamente.

No modelo não são utilizadas as variáveis em formato de data como "Dt Emissão", "Dt Disp" e "Dt Vcto", neste caso há uma transformação destes parâmetros numéricas que armazenam quantidades de dias. Um exemplo, a nota fiscal com "Cod NF" igual a 1, possui a "Dt Disp" igual a 06/01/2019, se hoje fosse 22/12/2018, subtraindo a data corrente da "Dt Disp", 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 atingida. Outra transformação será sobre quantidade de dias de isenção da nota fiscal, onde 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 atingido, resultando em um total de 103 dias. 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 as notas fiscais, foram divididos em 4 instâncias para os testes:

Tabela 1: Notas Fiscais

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

- Instância A: Esta instância representa todas as 4272 notas fiscais e a soma de suas quantidades são de 148.874.648 quilos.
- Instância B: Representada por 2136 notas fiscais, indo da nota 1 até a 2136, cuja soma de seus itens são de 76.829.545 quilos.
- Instância C: Com 1071 notas fiscais, indo da nota 1 até a 1071, com soma de quantidade de 36.912.300 quilos.
- Instância D: Representada por 474 notas fiscais, indo da 1 até a 474, com soma de quantidade das notas de 16.819.580 quilos.

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, 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.

As colunas da Tabela 2 são definidas da seguinte forma: 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 de notas fiscais 1.

A coluna "Qtde" corresponde a quantidade 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 a "Qtde" do embarque. A "Data Embarque" corresponde ao momento 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 sofrem uma transformação

Tabela 2: Embarques

Embarque	Cod Item	Qtde	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 3: Embarques X Notas Fiscais

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
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

para ser processada pelo modelo matemático, a informação "Data Embarque" também é transformada. O exemplo do cálculo da quantidade de dias para o embarque 1 é, "Data Embarque" igual a 30/03/2019 menos a data corrente, exemplo 22/12/2018 é igual a 98, mais 1 unidade correspondente ao momento atingido, obtemos o total de 99.

A Tabela 3 define a relação 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 às duas entidades até o atendimento da demanda do embarque e da quantidade de cada nota fiscal.

Os dados referentes aos embarques, foram divididos nas 4 instâncias anteriores: (Instância A): Esta instância representa todos os 48 embarques; (Instância B): Representado por 23 embarques, indo do embarque 1 até o 23; (Instância C): Com 11 embarques, indo do embarque 1 até o 11; (Instância D): Possui apenas 5 embarques, sendo eles do 1 ao 5.

### 3.2. Resultados

Na Tabela 4 apresentamos os valores das soluções obtidas pelo Solver CPLEX utilizando o modelo matemático e a solução obtida utilizando a regra FIFO. No caso da Instância A, a qual possui 4272 notas, 48 embarques ao longo do horizonte de planejamento, a política de embarque otimizada reduziu os custos com a multa paga em mais de 30%. No caso da instância D, com 5 embarques

e 474 notas fiscais, não houve economia. Calculamos também o imposto pago por tonelada não embarcada de todas as notas para a Instância A. Esse valor está representado na Figura 2. A Figura 3 apresenta, para a Instância A, o valor de imposto pago, por ambas as abordagens, mensalmente.

Tabela 4: Valores das Soluções Obtidas - Modelo X FIFO

	FiFO	Modelo A	%Economia
	F.objetivo (R\$)	F. Objetivo (R\$)	
Instância A	812364,693	494037,674	39,19
Instância B	936733,13	641859,154	31,48
Instância C	32637,7171	31273,0095	4,18
Instância D	1632,21821	1632,27054	0,00

Figura 2: Instância A - Imposto Pago por tonelada

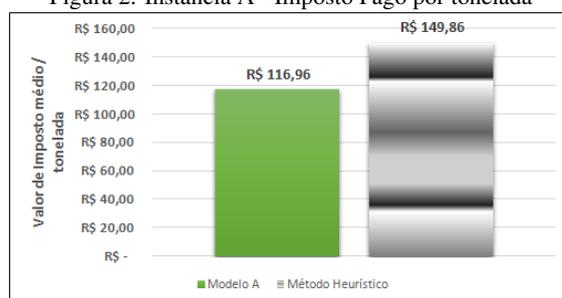
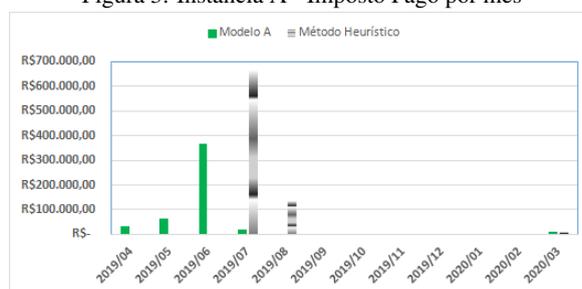


Figura 3: Instância A - Imposto Pago por mês



O modelo de programação linear 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 de larga escala. Observe, na Tabela 5, a memória, em bits, e o tempo computacional utilizado para cada instância na construção/resolução do modelo matemático. Convém observar que a regra FIFO obteve soluções para todas as instâncias em menos de 3 segundos.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho apresentamos um modelo matemático para determinar a melhor forma de realizar a comprovação fiscal de exportação de *commodities* no Brasil. Os resultados obtidos mostraram que a política otimizada reduz os custos com os impostos em até 39% caso ocorra imprevistos

Tabela 5: Esforço Computacional - Modelo A

	Memória em bits	Tempo em segundos
Instância D	341729280	0,36988
Instância C	594829312	0,91966
Instância B	1546240000	2,76524
Instância A	4429225984	10,42270

em relação a política FIFO adotada por esse tipo de empresa. O modelo matemático, apesar de ser uma alternativa a regra FIFO, apresentou dificuldade de ser gerado devido à insuficiência da memória computacional. Assim, novos modelos devem ser investigados para tratar o problema. Além de investigar formulações matemáticas alternativas, outras instâncias devem ser investigadas bem como outras análises das soluções obtidas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao CeMEAI-CEPID (FAPESP No. 2013/07375-0).

### Referências

- FISCOSOFT (2018). Simples nacional - exportação - roteiro de procedimentos. Technical report. URL [http://www.fiscosoft.com.br/main\\_online\\_frame.php?page=/index.php?PID=158573&key=3224330](http://www.fiscosoft.com.br/main_online_frame.php?page=/index.php?PID=158573&key=3224330).
- Furlan, M. M. and Santos, M. O. (2017). Bfo: a hybrid bees algorithm for the multi-level capacitated lot-sizing problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(4):929–944. ISSN 1572-8145.
- Galhardo, A. (2011). Quais os benefícios fiscais para quem quer exportar? Technical report. URL <https://exame.abril.com.br/pme/quais-os-beneficios-fiscais-para-quem-quer-exportar/>.
- Goebel, D. (2002). *A Competitividade Externa e a Logística Doméstica*. BNDES, Rio de Janeiro, BRASIL.
- Reuters (2019). Exportação do agronegócio do brasil atinge recorde de us\$ 101,7 bi em 2018, diz governo. URL <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-ghtml>.
- RFB (2014a). Controle aduaneiro. Technical report. URL <http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/aduaneira/manuais/despacho-de-importacao/topicos-1/conceitos-e-definicoes/controle-aduaneiro>.
- RFB (2014b). Despacho de exportação. Technical report. URL <http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/aduaneira/manuais/despacho-de-exportacao/topicos/conceitos-e-definicoes/despacho-de-exportacao>.
- SAGE (2019). Tabela icms 2019 atualizada com as alíquotas dos estados. Technical report. URL <https://blog.sage.com.br/tabela-icms-2019-atualizada/>.