



## OTIMIZAÇÃO DE PLANO DE CARGA PARA CARREGAMENTO DE CONTÊINERES NA NAVEGAÇÃO FLUVIAL

Taciane Castanho Espíndola (ULBRA) tacionecastanho@hotmail.com  
Wagner Lourenzi Simões (ULBRA) wagner.simoes@ulbra.br

### Resumo

O transporte de contêineres por meio da navegação por interior (fluvial) vem se tornando uma das formas de transporte com maior segurança para as cargas, maior eficiência em custos e menor impacto para o meio ambiente. Antes dos contêineres chegarem nas embarcações para importação ou exportação, as mesmas necessitam de planejamento por parte das empresas para otimizar ao máximo os espaços dos contêineres e as operações de carga e descarga para que assim sejam transportadas com custos mais baixos. Antes que ocorra toda essa movimentação de contêineres na embarcação, é necessária a construção de um plano de carga. Este artigo propõe a utilização de modelagem matemática para obtenção de uma ferramenta de apoio a tomada de decisões, que irá facilitar e melhorar o processo de elaboração de planos de carga da embarcação objeto do estudo.

**Palavras-Chaves:** Carregamento de contêineres, carregamento de embarcações, plano de carga, programação não linear

### 1. Introdução

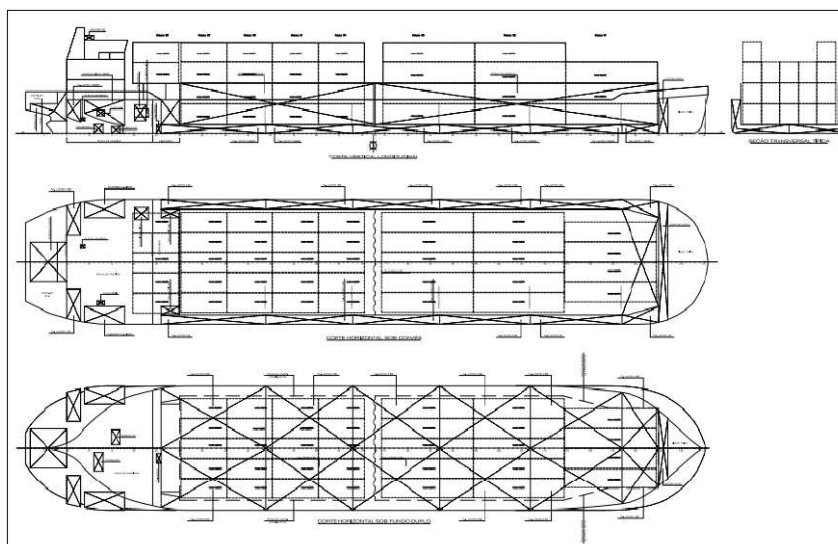
Atualmente muitas empresas vêm utilizando contêineres para carregamento de seus produtos para importação e exportação, por meio de navios. As embarcações que realizam o transporte de carga containerizada, se chamam navio porta contentor ou navio porta-contêiner, e dispõem de espaços específicos que são chamados de *bays* (bairros), para que os contêineres sejam colocados e empilhados de forma correta conforme suas especificações de tamanho e peso.

Para garantir que o carregamento e o descarregamento de contêineres no terminal portuário sejam executados de maneira segura, respeitando as instruções de Folheto de Trim e Estabilidade da embarcação, o Comandante da mesma deve sempre organizar um Plano de

Carga antes do início da operação. Esse plano de carga tem como finalidade realizar a melhor distribuição dos contêineres conforme informações básicas recebidas do cliente/terminal, ajustar e informar os operadores dos porta contêineres e guindaste móvel do terminal a melhor forma de carregamento ou descarregamento dos contêineres para a embarcação.

Normalmente as informações recebidas do cliente/terminal possuem somente dados indicando se são contêineres de 20 ou 40 pés e se os mesmos se encontram cheios ou vazios, sem nenhuma informação de peso exato no caso de estarem cheios. A embarcação objeto deste estudo, possui um comprimento total de 91,50 metros, com a capacidade de carga de contêineres de 80 FEU's ou 170 TEU's. A capacidade em peso é de 2.975 toneladas no calado de 3,30 metros, conforme figura 1.

Figura 1 - Embarcação objeto de estudo – Plano de capacidades



Fonte: Empresa

Para a realização do plano de carga nessa embarcação, o comandante recebe tais informações pouco antes de atracar ao terminal, sendo necessário realizar o plano de carga de forma rápida para retornar com as informações necessárias para iniciar os carregamentos.

O carregamento de contêineres cheios, cria um grande problema na questão da estabilidade do navio, pois cada contêiner cheio possui um peso específico por conta dos materiais que estão sendo carregados, porém essas informações de peso não são enviadas pelo terminal, então por padrão e questões de segurança a grande maioria dos contêineres cheios sempre são alocados para ré no plano de carga para que a embarcação não tenha problemas na sua propulsão e para que suas hélices fiquem no nível de água adequado para navegação.

Após a finalização do carregamento de contêineres se faz necessário o nivelamento da embarcação para se ter a estabilidade adequada, não podendo navegar adernado (“torto”) para bombordo (esquerda) ou para boreste (direita). No caso de adernamento, os tanques de lastro necessitam entrar em funcionamento. Os tanques de lastro nada mais são que tanques nos quais é adicionada ou retirada água para que algum dos bordos da embarcação se movimente, ficando no nível correto para navegação.

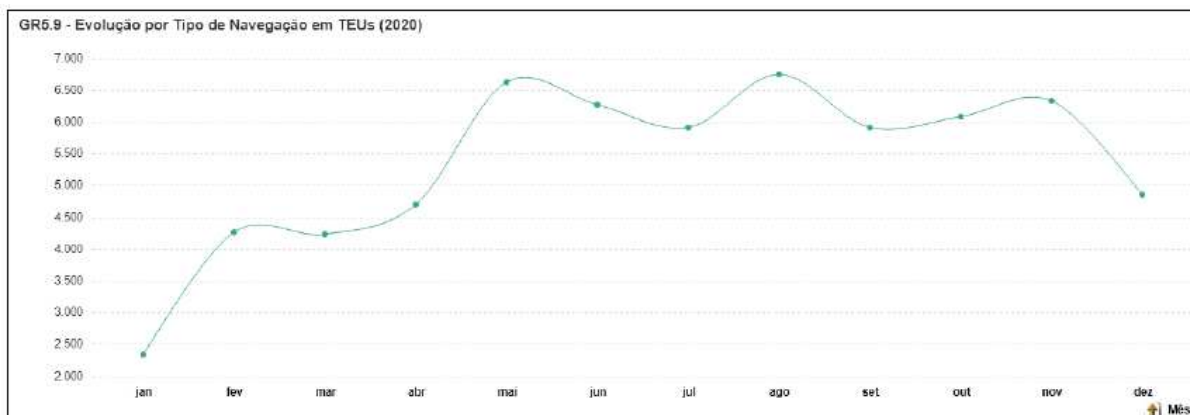
Normalmente o tempo de operação no Terminal Santa Clara na cidade de Triunfo (RS) leva em média de 10 a 12 horas para essa embarcação, já no Terminal TECON em Rio Grande (RS) por ser maior e atender mais embarcações inclusive estrangeiras, o tempo de operação é em torno de 5 a 6 horas.

As viagens de um terminal ao outro tem uma média de duração de 24 a 26 horas, dependendo do peso que a embarcação está carregando e do clima da lagoa no percurso, ventos muito fortes e neblina podem impactar no tempo de navegabilidade da embarcação e ocorrer atrasos nos terminais. Por tais imprevistos que podem ocorrer e até mesmo para uma maior efetividade com o cliente nas demandas de transporte dos contêineres, a principal vantagem de melhorar o processo de plano de carga da embarcação seria otimizar o tempo de planejamento do comandante para liberação do início do carregamento dos contêineres e por questões de segurança na navegabilidade pela lagoa, já que com informações importantes faltantes por parte dos clientes/terminais, os comandantes precisam tentar posteriormente ao carregamento nivelar a embarcação para conseguir sair para viagem de forma segura e conforme parâmetros estipulados pelas Normas da Autoridade Marítima (NORMAM, 2005).

Isso também se faz importante pois conforme informações da Agência Nacional de Transporte Aquaviários (ANTAQ) no ano de 2020 mesmo durante o período de pandemia o estado movimentou mais de 64.200 contêineres entre os dois portos, sendo esses mais de 64,6% de contêineres cheios conforme demonstrados na Figura 2.

Como foi registrado um aumento considerável de contêineres via transporte fluvial no estado, o objetivo desse artigo é propor uma ferramenta de apoio para tomada de decisões que auxilie a geração de um plano de carga mais eficiente que obedeça às restrições impostas pela embarcação em questão de segurança e estabilidade, assim demandando menor tempo de elaboração do plano de carga e melhoraria do tempo de operação dos tanques de lastro para iniciar a navegação da embarcação após o carregamento, aumentando a sua disponibilidade.

Figura 2 - Exemplo de figura Movimentação de contêineres 2020



Fonte: ATAQ (2020)

## 2. Referencial teórico

Nessa seção, serão apresentados os conceitos necessários para o desenvolvimento deste artigo. Inicialmente, serão contextualizados os problemas e as restrições envolvidas.

### 2.1. Transporte de cargas

O transporte de cargas é muito importante para a movimentação da economia mundial e, por isso, as empresas precisam investir em uma logística eficiente para atender as demandas do mercado global. As diversas formas de transportar produtos e serviços para melhor atender ao consumidor podem despertar a competitividade, mantendo a economia em movimento. As formas de transportes de cargas mais utilizadas em todo mundo são nos modais: rodoviários, ferroviários, hidroviários e aéreos (PRESTEX, 2017).

Como objeto de estudo este artigo irá abordar o transporte realizado pelo modal hidroviário e comparações com algumas relações que ocorrem na Bacia do Sudeste no estado do Rio Grande do Sul, onde o percurso da navegação interior ou fluvial se torna bem menor em comparação com as navegações de longo curso de outros estados ou países. Basicamente a navegação interior hoje é realizada entre os municípios de Triunfo e Rio Grande/RS, onde navegam atualmente embarcações para realizarem o transporte de produtos químicos, graneis líquidos e sólidos, derivados de petróleo e cargas em contêineres (NAVEGAÇÃO GUARITA, 2021). Por mais que existam esses dois tipos de navegação marítimo e fluvial, as preocupações com o transporte em relação aos cuidados com as cargas, segurança,

estabilidade e conservação da embarcação se dá em qualquer situação de navegabilidade (SILVA, 2013).

## 2.2. Carregamento de contêineres

As vantagens da containerização são inúmeras pois a padronização dos volumes e equipamentos podem aumentar a eficiência de carga e descarga, maior controle de carga, menores índices de avarias e, conseqüentemente, maior rapidez na entrega (BERTOLANI; LEME, 2004).

Pode-se considerar que o transporte marítimo e fluvial de mercadorias são os responsáveis pela facilidade de transação de cargas produzidas mundialmente, dada a capacidade de carga crescente dos navios, que se traduz em custos mais baixos que outros modais de transporte (COVITA, 2012 apud DIAS, 2005).

Para que hoje seja viável o transporte de contêineres em todo o mundo, as empresas necessitam ter um navio específico chamado de navio porta contentor ou navio contêiner, nos quais os mesmos devem possuir características conforme os critérios estabelecidos pelas Normas da Autoridade Marítima (NORMAM) ou da Organização Marítima Internacional (International Maritime Organization - IMO), para que possam navegar.

O carregamento dos contêineres se torna um grande problema para muitas empresas, pois pode demandar um certo tempo e planejamento já que se faz necessário otimizar ao máximo o espaço disponível do contêiner com as cargas que deverão ser carregadas, isso influencia muito no que será transportado e de que modo será embalada cada carga, pois quanto maior mais espaço ela ocupará e mais contêineres será necessário para acomodar toda a demanda de transporte (CECILIO; MORABITO, 2003).

Conforme Vendramini (2007), problemas em que a carga completa tem que ser armazenada, podendo usar mais de um contêiner (conhecido como Problema Bin Packing) e aqueles que toleram que alguns itens sejam deixados para depois, utilizando somente um contêiner (conhecido como problema Knapsack).

Os contêineres normalmente seguem o padrão internacional estabelecido pela International Standards Organization (ISO). Eles possuem altura e largura de 8 pés e os comprimentos mais utilizados são os de 20 e 40 pés. Os contêineres de dimensão 20' x 8' x 8' são chamados de

unidade padrão e adotado internacionalmente como Twenty Feet Equivalent Unit (TEU) ou unidade equivalente a 20 pés (LEAL, 2005).

No navio, os contêineres são empilhados uns sobre os outros em colunas e só podem ser descarregados do topo da coluna por meio de grandes guindastes portuários. A cobrança do navio pela movimentação de contêineres pode chegar a U\$200 por movimentação de contêiner. Assim, um objetivo principal do planejamento de carga é minimizar o número de movimentos de contêineres (DUBROVSKY, LEVITIN and PENN, 2002).

Pode-se considerar que o transporte de mercadorias por contêineres proporciona as empresas que o utilizam maior segurança, rapidez, garantia de qualidade do produto transportado e principalmente formas de minimizar o custo de transporte. (VENDRAMINI, 2017).

### **2.3. Plano de carga**

Conforme Gonçalves Junior (2016), o problema do Plano de Carga pode ser abordado sob vários aspectos no que diz respeito às suas restrições. A preocupação com a distribuição adequada dos pesos carregados a bordo deve ser levada em consideração na geração do plano de carga quando se deseja evitar o adernamento do mesmo, incrementando assim, a segurança da embarcação.

Navios porta-contêineres viajam em rotas "round-robin", onde cada contêiner do porto de destino pode ser descarregado e novos contêineres podem ser adicionados para serem destinados a outros portos subsequentes. (WILSON, ROACH and WARE, 2001).

Normalmente os planos de carga são feitos por humanos, que trabalham sob exigentes restrições de tempo e são limitados aos números de remanejamento dos contêineres nos portos. A disposição dos contêineres ao serem realizadas os planos de cargas, pode gerar um processo de erro se for considerada somente as habilidades intuitivas do planejador. Todos que realizam o planejamento devem verificar a colocação dos contêineres no navio, para ter certeza de que todas as restrições dos contêineres estão sendo respeitadas e que não irão gerar custos com as cargas que neles possuem (WILSON, ROACH and WARE, 2001).

O plano de carga de contêineres é um problema combinatório onde o mesmo depende da capacidade do navio e a oferta de demanda em cada porto que irá ser feita a movimentação e para que o plano de carga seja elaborado a fim de reduzir custos, essa questão pode acabar se tornando uma tarefa difícil caso houver alguma restrição com relação ao contêiner. Além das

restrições que os contêineres possam trazer para que seja realizado o plano de carga, ainda se faz necessário avaliar a estabilidade intacta da embarcação onde a mesma é limitada pelas diretrizes estabelecidas pela Sociedade Classificadora (WILSON, ROACH and WARE, 2001) e na navegação interior são estabelecidas na Norma de Autoridade Marítima (NORMAM-02).

Quando ocorre de a embarcação estar carregada de contêineres e com 100% de consumíveis (água potável, óleo e óleo diesel), o peso máximo para contêineres de 40 ft é de 32,5 toneladas e para contêineres de 20 ft é de 24,0 toneladas. Não obstante, devido às limitações de borda livre, calado e estabilidade foi necessário limitar o peso de alguns contêineres de 20 ft no porão 2 de popa ficando o total de 2900 toneladas de carga em contêineres (MENA, 2019).

Com base nessas informações de carregamento é possível ter o Perfil e Seção para a condição de carregamento avaliada conforme mostra a figura 7 e foram obtidas as características hidrostáticas apresentadas na tabela 3, em metros e toneladas.

O atendimento aos critérios de estabilidade não garante a imunidade contra emborcamentos nem absolve o comandante de suas responsabilidades. O comandante deverá, portanto, agir com prudência e observar as regras de marinharia, atentando para as estações do ano, os boletins meteorológicos e a zona de navegação, devendo ainda adotar todos os procedimentos de segurança para garantir a salvaguarda da vida humana na navegação interior e proteção do meio ambiente, conforme normas em vigor.

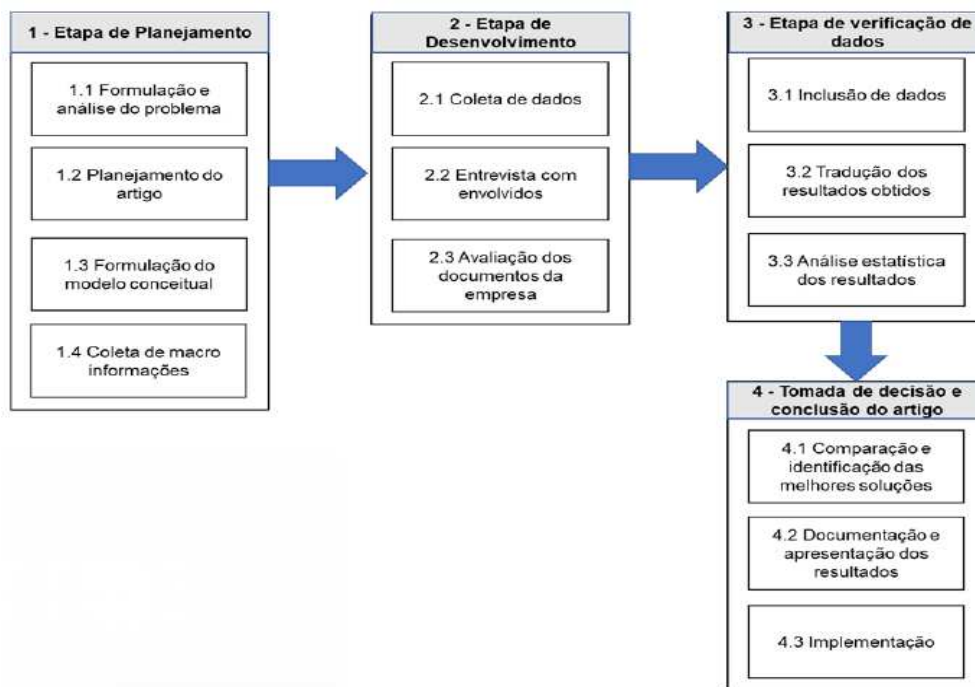
### **3. Metodologia**

Esta seção apresenta os métodos de pesquisa que serão abordados de forma descritiva, quantitativa, com análise de documentos e coletas de dados. Esta pesquisa se classifica como um trabalho em modelagem e simulação, segundo Chung (2004 apud TURRIONI; MELLO, 2012), a modelagem e simulação é o processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo matemático computadorizado. Um sistema pode ser definido como um conjunto de componentes ou processos que se interagem e que recebem entradas e oferecem resultados para algum propósito.

Conforme a figura 3, o método de trabalho foi dividido em 4 (quatro) etapas principais: planejamento, desenvolvimento, verificação de dados, tomada de decisão e conclusão do artigo.



Figura 3 - Etapas da pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Na etapa 1 foi analisado o problema, desenvolvido o planejamento da pesquisa, formulação do modelo conceitual e coleta de referencial para auxiliar no desenvolvimento.

Na etapa 2 foi avaliada a possibilidade de uma nova ferramenta de apoio à tomada de decisões para facilitar e melhorar os planos de carga para o carregamento de contêineres na embarcação. Para a qual foi necessário realizar coleta de diversos dados junto a empresa responsável e identificar questões específicas referentes a embarcação objeto de estudo. Também foram realizadas entrevistas com os comandantes, imediatos e responsáveis da embarcação, solicitando todos os documentos pertinentes.

Algumas informações importantes foram coletadas no Sistema de Gestão Integrado da empresa, já que a mesma é certificada pela ISO 14001:2015 e 45001:2018 e possuem formulários e procedimentos padrões para auxiliar na coleta de dados.

Na etapa 3, foi realizada a inclusão de dados em um modelo computacional, cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento do sistema real. Com isso tornou-se viável armazenar todos os resultados obtidos e elaborar uma planilha no Excel para geração de dados e assim contribuir para o andamento do problema inicial.



Após essa análise, já na etapa 4 foram avaliadas a tomada de decisão com base nos dados, realizada uma comparação e identificadas as melhores soluções com referência das documentações normativas e processos já executados atualmente.

#### **4. Desenvolvimento dos dados**

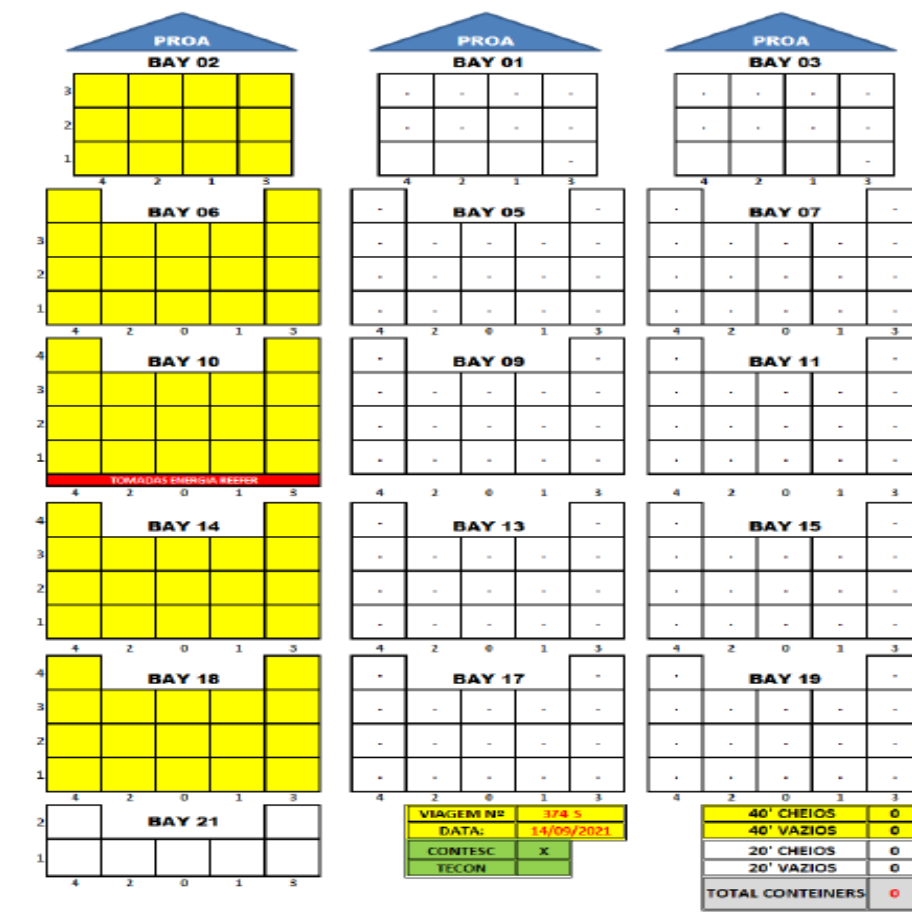
Conforme a etapa 2 – Etapa de Desenvolvimento foram necessárias a coleta de informações pertinentes aos carregamentos e descarregamentos de contêineres da embarcação. O primeiro passo foi entender como os dados eram distribuídos dentro do plano de carga da embarcação para que ocorresse o processo de movimentação dos contêineres dentro da embarcação. Com o plano de carga, conforme a figura 4 mostra, é possível visualizar como são as posições para acomodações dos contêineres de forma mais visual e que será entregue para o terminal seguir com o processo de movimentação.

Esse processo de preencher o plano de carga se dá de forma manual como o preenchimento de cada espaço no formulário do Microsoft Excel, no qual o comandante da embarcação é responsável pelo preenchimento intuitivo, já que ele não recebe nenhuma informação melhor como por exemplo de peso. Esse documento também é entregue para o terminal que irá realizar a movimentação desses contêineres.

As informações coletadas dos planos de cargas, foram planilhadas, contendo as seguintes informações: data da viagem, tipo de contêiner (20' ou 40'), condição do contêiner (cheio ou vazio) e um somatório final de cada viagem.

Foram obtidos dados de 67 viagens, do período de junho a dezembro de 2020. Os dados de cada viagem têm um quantitativo final diferente, sendo assim antes de iniciar um novo carregamento se faz necessário a elaboração manual de um novo plano de carga para que seja realizada a movimentação dos contêineres do pátio para dentro da embarcação e vice e versa.

Figura 4 - Plano de Carga



Fonte: Empresa objeto do estudo (2021)

## 5. Formulação da proposta

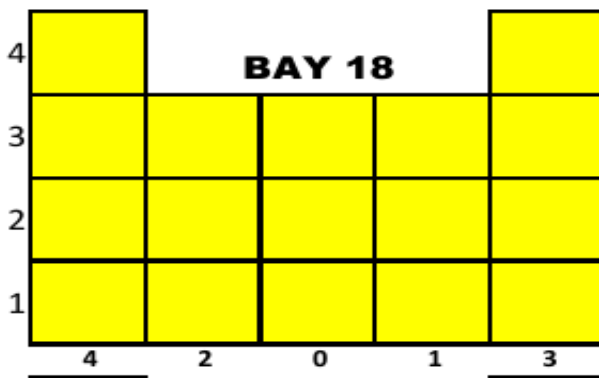
Após todas as coletas realizadas, se fez necessário avaliar de que forma seria viável otimizar a distribuição no plano de carga, alguns estudos propõem modelos de programação matemática para o problema de carregamento de contêineres, outros propõem modelos geométricos e analíticos (MARQUES e ARENALES, 2002; LI et al., 2003; FAINA 2000), utilizando diferentes técnicas.

### 5.1. Formulação Matemática para o Problema de Carregamento de Contêineres

A formulação matemática foi desenvolvida para que fosse executada através do suplemento Solver do Microsoft Excel. As principais características apresentadas a seguir serão relativas a apenas uma bay da embarcação objeto de estudo desse artigo.

A bay possui 17 espaços para armazenamento de contêineres, com apenas quatro alturas, sendo três delas com cinco espaços cada e a quarta altura apenas tendo dois espaços, conforme Figura 5:

Figura 5 – Esquema de bay da embarcação



Fonte: Empresa objeto do estudo (2021)

Com essas informações é possível exemplificar de melhor forma os dados utilizados para melhorar o problema.

Função objetivo:

$$\text{maximizar } \sum_r \sum_j x_{ij} \tag{1}$$

Sujeito a:

$$x_{ij} = \text{inteiro} \tag{2}$$

$$x_{1j} = \text{binario} \tag{3}$$

$$x_{2j} = \text{binario} \tag{4}$$

$$x_{3j} = \text{binario} \tag{5}$$

$$x_{4j} = \text{binario} \tag{6}$$

$$40 x_{1j} + 40 x_{2j} + 20 x_{3j} + 20 x_{4j} \leq 40 \tag{7}$$

$$\sum_r \sum_j x_{ij} \leq D_p + D_q + D_r + D_s \tag{8}$$

$$40 x_{11} + 40 x_{21} + 20 x_{31} + 20 x_{41} \geq 40 x_{16} + 40 x_{26} + 20 x_{36} + 20 x_{46} \tag{9}$$

$$40 x_{16} + 40 x_{26} + 20 x_{36} + 20 x_{46} \geq 40 x_{111} + 40 x_{211} + 20 x_{311} + 20 x_{411} \quad (10)$$

$$40 x_{111} + 40 x_{211} + 20 x_{311} + 20 x_{411} \geq 40 x_{116} + 40 x_{216} + 20 x_{316} + 20 x_{416} \quad (11)$$

$$40 x_{12} + 40 x_{22} + 20 x_{32} + 20 x_{42} \geq 40 x_{17} + 40 x_{27} + 20 x_{37} + 20 x_{47} \quad (12)$$

$$40 x_{17} + 40 x_{27} + 20 x_{37} + 20 x_{47} \geq 40 x_{112} + 40 x_{212} + 20 x_{312} + 20 x_{412} \quad (13)$$

$$40 x_{11} + 40 x_{21} + 20 x_{31} + 20 x_{41} \geq 40 x_{16} + 40 x_{26} + 20 x_{36} + 20 x_{46} \quad (14)$$

$$40 x_{13} + 40 x_{23} + 20 x_{33} + 20 x_{43} \geq 40 x_{18} + 40 x_{28} + 20 x_{38} + 20 x_{48} \quad (15)$$

$$40 x_{18} + 40 x_{28} + 20 x_{38} + 20 x_{48} \geq 40 x_{113} + 40 x_{213} + 20 x_{313} + 20 x_{413} \quad (16)$$

$$40 x_{14} + 40 x_{24} + 20 x_{34} + 20 x_{44} \geq 40 x_{19} + 40 x_{29} + 20 x_{39} + 20 x_{49} \quad (17)$$

$$40 x_{19} + 40 x_{29} + 20 x_{39} + 20 x_{49} \geq 40 x_{114} + 40 x_{214} + 20 x_{314} + 20 x_{414} \quad (18)$$

$$40 x_{15} + 40 x_{25} + 20 x_{35} + 20 x_{45} \geq 40 x_{110} + 40 x_{210} + 20 x_{310} + 20 x_{410} \quad (19)$$

$$40 x_{110} + 40 x_{210} + 20 x_{310} + 20 x_{410} \geq 40 x_{115} + 40 x_{215} + 20 x_{315} + 20 x_{415} \quad (20)$$

$$40 x_{115} + 40 x_{215} + 20 x_{315} + 20 x_{415} \geq 40 x_{117} + 40 x_{217} + 20 x_{317} + 20 x_{417} \quad (21)$$

$$\sum_I x_{1j} \leq D_p \quad (22)$$

$$\sum_I x_{2j} \leq D_q \quad (23)$$

$$\sum_I x_{3j} \leq D_r \quad (24)$$

$$\sum_I x_{4j} \leq D_s \quad (25)$$

onde:

$x_{1j}$  = atribuição a posição de contêineres de 40 cheio

$x_{2j}$  = atribuição a posição de contêineres de 40 vazio

$x_{3j}$  = atribuição a posição de contêineres de 20 cheio

$x_{4j}$  = atribuição a posição de contêineres de 20 vazio

$j$  = posição sequencial dos espaços disponíveis para colocação dos contêineres;

$D_p$  = Variável de demanda de contêineres de 40 cheios;

$D_q$  = Variável de demanda de contêineres de 40 vazios;

$D_r$  = Variável de demanda de contêineres de 20 cheios;

$D_s$  = Variável de demanda de contêineres de 20 vazios;

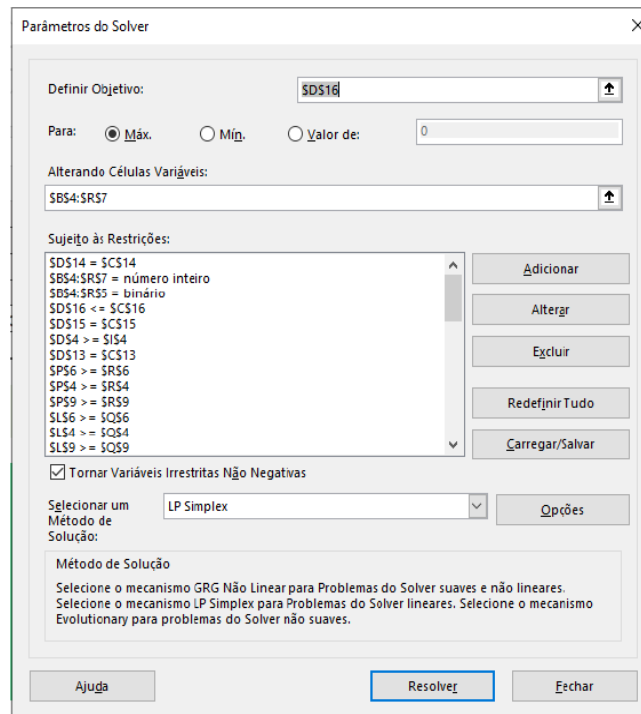
Toda a soma de demanda  $D_p + D_q + D_r + D_s$  precisa ser executada por completa dentro da bay selecionada, onde ocorre as seguintes restrições:

- Os contêineres devem ser iniciados sempre pela base da embarcação nesse caso nos espaços de 1 a 5;
- Contêineres de tamanho 20' podem ser preenchidos com 2 unidades em um mesmo espaço, já os de 40' somente como 1 unidade;
- Não é possível colocar 2 contêineres de 20' em cima de 1 contêiner de 40', somente o inverso;
- Contêineres cheios devem ter prioridade de ficar na base, não podendo ficar acima dos vazios;
- 1 contêiner de 40' não pode ficar em cima de um contêiner de 20', somente se tiver 2 de 20'.

## 6. Testes e resultados

Para a realização dos testes da bay, os espaços divididos por altura foram distribuídos de forma sequencial no Excel, com cada possibilidade de contêineres (cheio, vazio, 20' e 40') e foram através da formulação matemática que foram definidas no suplemento Solver a função objetivo, a maximização da função e todas as restrições conforme mostra a Figura 6:

Figura 6 - Solver



Fonte: Autor (2021)

Com essas definições já alinhadas no Solver, iniciou-se os testes para verificar se todas as restrições funcionariam de forma efetiva no modelo proposto. Levando em consideração que foram utilizados somente 17 espaços de contêineres, onde os testes que foram realizados aceitaram apenas as demandas de até 23 contêineres, como representa a modelagem no Microsoft Excel.

Figura 7 - Exemplo de figura

|               | <b>Demandas</b> | <b>Realizado</b> |
|---------------|-----------------|------------------|
| x1 40ch       | 6               | 6                |
| x2 40vz       | 5               | 5                |
| x3 20ch       | 6               | 6                |
| x4 20vz       | 6               | 6                |
| Total por Bay | 23              | 23               |

Fonte: Adaptado de Mays *apud* Greenhalg (1997)

Figura 8 – Distribuição da demanda

| Container    | Bays corridas   |          |          |          |          |                |          |          |          |           |                 |           |           |           |           |               |           |
|--------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------|----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|
|              | Primeira Altura |          |          |          |          | Segunda Altura |          |          |          |           | Terceira Altura |           |           |           |           | Quarta Altura |           |
|              | Espaço 1        | Espaço 2 | Espaço 3 | Espaço 4 | Espaço 5 | Espaço 6       | Espaço 7 | Espaço 8 | Espaço 9 | Espaço 10 | Espaço 11       | Espaço 12 | Espaço 13 | Espaço 14 | Espaço 15 | Espaço 16     | Espaço 17 |
| x1 40ch      | 0               | 0        | 0        | 1        | 1        | 0              | 0        | 0        | 1        | 1         | 0               | 0         | 0         | 1         | 1         | 0             | 0         |
| x2 40vz      | 0               | 1        | 0        | 0        | 0        | 0              | 0        | 0        | 0        | 0         | 1               | 1         | 1         | 0         | 0         | 1             | 0         |
| x3 20ch      | 2               | 0        | 2        | 0        | 0        | 2              | 0        | 0        | 0        | 0         | 0               | 0         | 0         | 0         | 0         | 0             | 0         |
| x4 20vz      | 0               | 0        | 0        | 0        | 0        | 0              | 2        | 2        | 0        | 0         | 0               | 0         | 0         | 0         | 0         | 0             | 2         |
| Posição      | base            | base     | base     | base     | base     | ↑ do 1         | ↑ do 2   | ↑ do 3   | ↑ do 4   | ↑ do 5    | ↑ do 6          | ↑ do 7    | ↑ do 8    | ↑ do 9    | ↑ do 10   | ↑ do 11       | ↑ do 15   |
| Soma tamanho | 40              | 40       | 40       | 40       | 40       | 40             | 40       | 40       | 40       | 40        | 40              | 40        | 40        | 40        | 40        | 40            | 40        |

Fonte: Adaptado de Mays *apud* Greenhalg (1997)

Na representação da figura 7 as demandas são identificadas como: x1=contêiner 40’ cheio, x2= contêiner de 40’ vazio, x3= contêiner de 20’ cheio e x4=contêiner de 20’ vazio e suas respectivas demandas para distribuição nos espaços disponíveis. Com essas configurações de demandas foram obtidos os resultados conforme figura 8 e sendo considerado uma solução viável, já que a mesma atendeu todas as restrições impostas para essa modelagem.

Em função de ter sido criado um número muito grande de restrições para cada bay, o suplemento Solver do Microsoft Excel não conseguiu suprir computacionalmente a otimização de todas as bays (87) da embarcação simultaneamente.

Embora o modelo desenvolvido seja funcional, este demanda ser implementado em outro tipo de ferramenta computacional. Estudos futuros foram planejados para a utilização da Linguagem de Programação Estatística R, assim possibilitando incluir todas as restrições de carregamento e realizar novos testes para verificar a otimização do processo e poder implementar na rotina de trabalho da embarcação.

### 7. Considerações finais

Esse artigo teve como o objetivo principal criar uma ferramenta de apoio para facilitar e otimizar o carregamento de contêineres de uma embarcação de navegação fluvial, onde obteve-se em partes bons resultados. O modelo desenvolvido é funcional, porém deve ser executado para cada bay individualmente devido a restrições do MS Solver. Porém, embora a ferramenta não tenha atendido plenamente o plano inicial, o modelo pode ser implementado em outra plataforma computacional com maiores recursos, podendo então otimizar a embarcação como um todo. Tal implementação já está prevista para ser realizada em trabalhos futuros.





Outras sugestões de melhoria ao modelo é a incorporação de informações como peso real do contêiner, de forma a permitir uma otimização da estabilidade da embarcação também, reduzindo os tempos de abastecimento de tanques de lastro. Porém, esta demanda uma mudança na documentação gerada pelo terminal portuário para que se possa entregar uma ferramenta mais eficaz futuramente.

## REFERÊNCIAS

ANTAQ. **Estatístico Aquaviário**. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/ANUARIO/>>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

BERTOLANI, Andréa Dias; LEME, Francisco Louzano. **Carregamento de Contêineres em Navios**. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2004.

PRESTEX. **Tipo de transporte para carga: como escolher?** Disponível em: <<https://www.prestex.com.br/blog/tipos-de-transporte-de-carga-como-escolher/>>. Acesso em: 22 junho de 2021.

CECILIO, Fabiana Oliveira; MORABITO, Reinaldo. **Heurísticas para o problema de carregamento de carga dentro de contêineres**. Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2003.

COVITA, Antônio Inácio Gonçalves. **O Transporte Contentorizado**. 74 p. Trabalho de investigação individual, Instituto de Estudos Superiores Militares IESM, Lisboa, 2012.

DUBROVSKY, Opher; LE, VITIN, Grefory; PENNMichal. **A Genetic Algorithm with a Compact Solution Encoding for the Container Ship Stowage Problem**. Faculty of Industrial Engineering and Management, Technion, Haifa, 32000, Israel, 2002.

GONÇALVES JUNIOR, Joel da Silva. **Abordagem metaheurística híbrida para otimização do planejamento de estiva de navios porta-contêineres**. 104 p. Dissertação do Mestrado - Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2016.

LEAL, Renata Sarmento; LEAL, José Eugenio. **Heurística para elaboração de Plano de Estivagem de placas de aço em navio**. 91 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.

MENA, Lênin J. C. Valério. **NAVEGAÇÃO GUARITA S.A., Embarcação Guarita - Folheto de trim e estabilidade**, 2019.

NAVEGAÇÃO GUARITA S.A. **Sistema de Gestão Integrado – SGI**, 2021.

SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da. **Portos e Vias Navegáveis – Notas de Aula**. Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

TURRIONI, Prof. Dr. João Batista; MELLO, Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. 191 p. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2012.

VENDRAMINI, Eliane. **Otimização do problema de carregamento de Container usando uma metaheurística eficiente**. 115 p. Dissertação de Pós-graduação – Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, 2007.

WILSON, I.D.; ROACH, P.A.; WARE, J.A. **Container Stowage pre-planning: using Search to generate solutions, a case study**. Department of Mathematics, University of Glamorgan, Pontypridd, Mid Glamorgan, 2011.