

Otimização no empilhamento de contêineres em portos secos por meio de um modelo em Programação Linear Inteira Mista

Rodrigo Nunes Oliveira (UTFPR - CPGEI) rodrigo@gl2.com.br

Jean Marcelo Simão (UTFPR - CPGEI) jeansimao@utfpr.edu.br

Percy Nohama (UTFPR - CPGEI) percy.weihmayer@gmail.com

Leandro Magatão (UTFPR - CPGEI) magatao@utfpr.edu.br

Resumo:

Contêineres são amplamente utilizados no transporte mundial de alimentos e demandam um grande número de operações logísticas para a sua movimentação nas várias fases do transporte. Estas fases envolvem, por exemplo: carga e descarga de navios, movimentações e empilhamentos em pátios portuários, transporte terrestre por meio de caminhões ou trens e empilhamentos em pátios intermediários, até o momento da utilização do contêiner na ponta da cadeia de suprimentos. Este trabalho apresenta um modelo de otimização em Programação Matemática, especificamente em Programação Linear Inteira Mista, para o posicionamento e empilhamento de contêineres em pátios intermediários (portos secos) com o objetivo de reduzir o número de realocações de contêineres necessárias nos carregamentos de trens e caminhões, pois estes pátios, em relação aos pátios portuários, operam com equipamentos menores na movimentação de contêineres e necessitam de uma abordagem diferenciada na organização. No presente estudo, além de simulações com dados fictícios, cenários envolvendo carregamentos reais de trens foram utilizados para a comparação do número de realocações entre o pátio organizado sem a aplicação do modelo de otimização e o mesmo pátio com os contêineres posicionados conforme sugestão do modelo. Como resultado, observou-se uma redução média de 83% nas realocações de todos os trens simulados, fato que colabora diretamente com a redução dos custos operacionais do pátio, principalmente com a diminuição do uso dos equipamentos que movimentam os contêineres, reduzindo os seus gastos com pneus, combustível e manutenção.

Palavras chave: Contêineres, Pesquisa Operacional, Otimização, Empilhamento, Portos Secos.

Stacking optimization of containers in dry ports by a model in Mixed Integer Linear Programming

Abstract

Containers are widely used in the global transportation of food and require a large number of logistical operations for their movement in the various phases of transportation. These phases involve, for example, loading and unloading of ships, handling and stacking in port terminals, landside transport by trucks and trains, and stacking in intermediate terminals, until the container usage at the end of the supply chain. This paper presents an optimization model in Mathematical Programming, specifically in Mixed Integer Linear Programming, for the positioning and stacking of containers in intermediate terminals (dry ports) in order to reduce the number of container reshuffles required in the loading of trains and trucks. These dry ports, in relation to sea port terminals, operate with smaller equipment in container handling and require a differentiated organizational approach. In the present study, in addition to simulations with fictitious data, scenarios involving real trains loading were used to compare the number of relocations between the organized terminal without application of the optimization model

and the same terminal with the containers positioned as proposed by the model. As a result, a mean reduction of 83% in the reshuffles of all the simulated trains was observed, a fact that directly collaborates with the reduction of the operational costs of the terminal, mainly with the usage decrease of the equipment that handles the containers, reducing their expenses with tires, fuel, and maintenance.

Key-words: Containers, Operational Research, Optimization, Stacking, Dry Ports.

1. Introdução

Contêineres são utilizados largamente no transporte de mercadorias ao redor do mundo, tendo um papel fundamental nos processos de importações e exportações, inclusive para o transporte de alimentos. A principal vantagem da utilização de contêineres é a capacidade de padronização na carga e no transporte, sendo esse último capaz de ser executado sob vários modais, tais como, marítimo, aéreo, ferroviário e rodoviário.

Alguns contêineres possuem características específicas para transporte de cargas especiais, como é o caso do contêiner tipo *reefer*, que possui um maquinário acoplado que permite a refrigeração de alimentos acondicionados dentro do contêiner, sendo necessário apenas que o maquinário seja ligado ao suprimento de energia.

Em decorrência das limitações de espaço nos portos marítimos e das distâncias entre estes portos e o destino final dos contêineres, são criados pátios de contêineres intermediários afastados da costa como uma alternativa logística. Esses pátios, também conhecidos como portos secos, recebem os contêineres do porto e armazenam até que o cliente, solicitante do contêiner, deseje utilizá-lo para o descarregamento de mercadorias importadas (“desova”), ou o carregamento para exportação (“ova”). Após o retorno do cliente, os contêineres são armazenados e devolvidos ao porto marítimo.

Dentre as diferenças entre a operação dos portos marítimos e dos portos secos, destacam-se o número de equipamentos utilizados na movimentação de contêineres e a respectiva capacidade de movimentação por hora destes equipamentos, tendo em vista o menor fluxo de contêineres nos pátios intermediários.

A organização do pátio de contêineres contribui diretamente na redução no número de movimentações e, conseqüentemente, nos custos operacionais envolvidos na gestão do pátio. Um número excessivo de realocações de contêineres causa um aumento nos tempos de carga e descarga, além da elevação dos gastos com os equipamentos que movimentam esses contêineres.

Steenken, Voß e Stahlbock (2004) apresentam uma revisão da literatura das várias técnicas de otimização aplicadas nas principais operações de um terminal de contêineres, evidenciando a importância da otimização por meio da Pesquisa Operacional nesse ambiente.

Esse trabalho apresenta um modelo de otimização no empilhamento dos contêineres em pátios intermediários (portos secos), indicando a melhor posição para os contêineres que estão entrando, com a finalidade de reduzir o número de movimentações nos processos de saídas do pátio. Objetiva-se minimizar o número de realocações e, conseqüentemente, os custos adicionais com os equipamentos usados na movimentação desses contêineres.

Na seção 2 do presente trabalho detalha-se o problema abordado. A seção 3 apresenta o modelo matemático proposto, suas variáveis, parâmetros e restrições. Na seção 4, a metodologia aplicada para validação do modelo é explicada. Na seção 5, os resultados obtidos são expostos, destacando-se uma comparação entre os resultados obtidos com o auxílio do modelo em relação à prática operacional baseada somente na experiência dos operadores do sistema. A seção 6

descreve as limitações do modelo atual e os trabalhos futuros que podem complementar a otimização do pátio. Na seção 7, apresenta-se a conclusão do trabalho enfatizando os ganhos obtidos com a aplicação do modelo de otimização proposto.

2. Descrição do problema

O presente trabalho aborda um problema de empilhamento de contêineres em portos secos. Na Figura 1, apresenta-se uma posição da pilha de contêineres do tipo *reefer* com três fileiras e quatro níveis de altura. No processo de saída do contêiner, pode ocorrer que outros contêineres o estejam bloqueando. Isso ocorre devido ao fato do pátio ser organizado em pilhas compostas por posições, fileiras e níveis, onde os contêineres são empilhados uns sobre os outros. Quando se utiliza equipamentos do tipo *reach stacker* para a movimentação de contêineres no pátio, conforme ilustrado na Figura 2, torna-se necessária a realocação dos contêineres que estão acima e na frente antes de movimentar o contêiner que está programado para sair.

Além das movimentações adicionais para a remoção do contêiner solicitado, existe a necessidade de definir os destinos desses contêineres removidos, de forma a evitar que eles bloqueiem outros contêineres que estão previstos para saírem do pátio na sequência.

O maior impacto gerado pelas realocações de contêineres é o custo de manutenção dos equipamentos utilizados nas movimentações, como por exemplo as *reach stackers*, que possuem um alto custo de aquisição e de manutenção. Ao reduzir o número de movimentações, com a otimização do pátio, haverá uma consequente redução com as despesas desses equipamentos.



Figura 1 - Pilha de contêineres com três fileiras e quatro níveis



Figura 2 - Reach Stacker movimentando um contêiner

Um problema correlato à movimentação de contêineres é a otimização do carregamento dos produtos no contêiner, sugerindo a melhor abordagem para maximizar o aproveitamento da sua capacidade de carga. Várias publicações tratam deste tema específico (ALMEIDA; FIGUEIREDO, 2010) (BISCHOFF; MARRIOTT, 1990) (JUNQUEIRA; MORABITO; YAMASHITA, 2012) (BORTFELDT; WÄSCHER, 2013), enquanto o problema foco deste trabalho, o posicionamento dos contêineres em portos secos, é muito menos estudado. Existem trabalhos voltados para a otimização das posições dos contêineres, mas com o objetivo de otimizar o empilhamento dentro do navio (ZHAO; SHEN; XIA; JIN, 2016), além de trabalhos que abordam a otimização da sequência de trabalhos dos equipamentos do terminal (CHANG; ZHU; YAN; WANG, 2017). Assim, propor um modelo de programação matemática para solucionar de modo otimizado o problema em análise é um objetivo relevante do ponto de vista acadêmico e pode conduzir a contribuições no modo prático de operação do sistema.

3. Modelo proposto

A maioria dos contêineres possuem uma data estimada de saída do pátio, podendo ser a data prevista de saída para o cliente ou a data prevista de saída para o porto. Essa data é informada em sua entrada no pátio ou calculada sobre o tempo de *free-time*, que é o total de dias que o cliente pode ficar com o contêiner antes de precisar pagar diárias (estadias) ao operador marítimo. O modelo proposto utilizará a data de saída prevista para definir as posições onde cada contêiner deve ser posicionado.

Para otimizar o empilhamento dos contêineres considerou-se um pátio organizado em várias posições (p), cada posição podendo conter várias fileiras (f) de contêineres, sendo que cada fileira pode ter vários níveis (n) de empilhamento. Neste cenário, foram utilizadas as seguintes hipóteses na modelagem:

- os contêineres que sairão primeiro devem ficar nos níveis superiores e nas fileiras da frente;
- é preferível completar todos os níveis de uma fileira antes de iniciar uma nova fileira;
- é preferível completar uma posição no pátio antes de iniciar a próxima posição;
- as posições devem agrupar contêineres que sairão no mesmo dia ou em dias próximos.

A seguir, apresentam-se as variáveis, os parâmetros, a função objetivo e as restrições do modelo matemático proposto.

3.1. Variáveis e parâmetros

Na modelagem proposta, criou-se um conjunto de variáveis binárias que definem se o contêiner está (valor da variável igual a 1) na respectiva posição, fileira e nível, ou seja, para cada contêiner sendo movimentado existe uma variável para cada posição, fileira e nível do pátio. Esta variável é representada pelo nome $CPN[c, p, n, f]$, onde c representa o número do contêiner, p o número da posição, n o número do nível e f o número da fileira.

Nesta modelagem, foram definidos os seguintes parâmetros inteiros: $nPos$ como sendo o número de posições do pátio, $nFil$ como o número de fileiras em cada posição, $nNiv$ sendo o número de níveis de cada fileira e $nCon$ como número de contêineres. Além da definição de um parâmetro como conjunto de inteiros, chamado de CON , que armazena o prazo, em dias, que o contêiner deve sair do pátio em relação ao dia atual (prazo máximo de saída).

3.2. Função objetivo

A função objetivo, representada na Equação 1, foi elaborada de forma a minimizar a soma das diferenças entre os prazos de saídas dos contêineres empilhados em uma mesma posição e fileira, induzindo o modelo a agrupar os contêineres que sairão no mesmo dia ou em dias próximos.

$$(minimizar) z = \sum_{p=1}^{nPos} \left(\sum_{f=1}^{nFil} \left(\sum_{n=1}^{nNiv-1} \left(\sum_{c=1}^{nCon} (CON[c] * CPN[c, p, n, f]) - \sum_{c=1}^{nCon} (CON[c] * CPN[c, p, n+1, f]) \right) \right) \right) \quad (1)$$

3.3. Restrições

A Equação 2 apresenta a restrição que determina que o contêiner poderá ser alocado apenas em uma posição do pátio.

$$\sum_{p=1}^{nPos} \sum_{n=1}^{nNiv} \sum_{f=1}^{nFil} CPN[c, p, n, f] = 1 \quad \forall c = 1 \dots nCon \quad (2)$$

A Inequação 3 apresenta a restrição de que cada posição do pátio pode receber apenas um contêiner, sendo permitido que a posição não receba nenhum contêiner.

$$\sum_{c=1}^{nCon} CPN[c, p, n, f] \leq 1 \quad \forall p = 1 \dots nPos, \forall n = 1 \dots nNiv, \forall f = 1 \dots nFil \quad (3)$$

A Inequação 4 apresenta a restrição que impede o contêiner de ficar “sem sustentação física”, ou seja, para que um contêiner seja alocado no nível 2 deve-se obrigatoriamente ter um outro contêiner alocado na mesma posição no nível 1, formando uma base.

$$\sum_c CPN[c, p, n, f] \geq \sum_n CPN[c, p, n+1, f] \quad \forall p = 1 \dots nPos, \forall n = 1 \dots nNiv-1, \forall f = 1 \dots nFil \quad (4)$$

A Inequação 5 apresenta a restrição das posições da esquerda serem preenchidas primeiro, ou seja, antes de iniciar o posicionamento dos contêineres em uma nova pilha, à direita, deve-se completar a fila da esquerda.

$$\sum_c^{nCon} \sum_n^{nNiv} (CPN[c, p, n, f]) \geq \sum_c^{nCon} \sum_n^{nNiv} (CPN[c, p + 1, n, f]) \quad \forall p = 1..nPos - 1, \forall f = 1..nFil \quad (5)$$

A Inequação 6 apresenta a restrição das fileiras do fundo serem preenchidas primeiro, sendo necessário completar a fileira do fundo antes de começar a empilhar contêineres na frente.

$$\sum_c^{nCon} \sum_n^{nNiv} (CPN[c, p, n, f]) \geq \sum_c^{nCon} \sum_n^{nNiv} (CPN[c, p, n, f + 1]) \quad \forall p = 1..nPos, \forall f = 1..nFil - 1 \quad (6)$$

A Inequação 7 apresenta a restrição que determina que os contêineres que sairão antes devem estar sobre os contêineres que sairão depois, baseando-se na data de saída prevista de cada contêiner.

$$\sum_c^{nCon} (CON[c] * CPN[c, p, n, f]) \geq \sum_c^{nCon} (CON[c] * CPN[c, p, n + 1, f]) \quad \forall p = 1..Pos, \forall n = 1..nNiv - 1, \forall f = 1..nFil \quad (7)$$

A Equação 8 apresenta um exemplo de uma restrição adicional que delimita um nível em determinada fileira que não deve receber contêiner. Essa restrição é utilizada quando a posição já está com contêineres alocados e deseja-se restringir o empilhamento, ou quando a pilha possui um limite menor de empilhamento. No exemplo da Equação 8, a posição 2, nível 5 e fileira 1 não deve receber contêiner. Trata-se de parâmetros operacionais que são impostos ao modelo e que devem ser respeitados no processo de obtenção de uma solução.

$$\sum_c^{nCon} CPN[c, 2, 5, 1] = 0 \quad (8)$$

De modo similar ao exposto na Equação 8, a Equação 9 apresenta um exemplo de uma restrição adicional que define contêineres que já estão na posição. Essa restrição é utilizada quando já existem contêineres alocados no momento da descarga de novos contêineres. Na Equação 9, por exemplo, o contêiner 10 está na posição 1, nível 2 e fileira 1, ou seja, é um parâmetro que deve ser respeitado pelo modelo.

$$CPN[10, 1, 2, 1] = 1 \quad (9)$$

4. Metodologia

O ambiente de modelagem e otimização GUSEK, GLPK *Under Scite Extended Kit* (GUSEK, 2017), foi utilizado para a implementação computacional do modelo proposto. A abordagem proposta foi implementada em um computador com sistema operacional Windows 10 Enterprise, 64 bits, Intel i7-6700K, 4.00GHz (8 CPUs), 32GB RAM.

Para validar a implementação do modelo, foi executado um teste com uma lista de 14 contêineres com prazos de saída entre 1 e 10 dias que devem ser distribuídos em um total de 3 posições com uma fileira de profundidade cada e uma capacidade de empilhamento de 5 contêineres em cada fileira.

Para o teste do modelo implementado em um cenário real, foi utilizado um porto seco, localizado no interior do estado do Paraná, que opera com armazenagem de contêineres refrigerados (*reefers*) utilizados na exportação de carnes e contêineres de uso geral (*dry*) utilizados na exportação de grãos. Foram selecionados 15 carregamentos de trens, com uma média de 42 contêineres de 40 pés em cada, onde verificou-se as informações do número de

contêineres carregados em cada trem, o número de realocações necessárias para a conclusão do carregamento e o percentual dessas realocações em relação ao total de movimentações necessárias para a conclusão do carregamento do trem.

Com base nas informações das datas de entrada e saída prevista de cada contêiner, aplicou-se o modelo de otimização no porto seco, definindo assim a melhor posição de cada contêiner. O processamento foi segmentado entre contêineres *reefers* e *dry* com prazo de saída em até 5 dias e aqueles com prazo de saída maior que 5 dias. Após a organização do pátio, cada novo contêiner que chegava ao terminal, provenientes da chegada de caminhões, era processado individualmente pelo modelo para definição da melhor posição. Cada carregamento de trem foi executado novamente para a medição do novo número de realocação necessárias e o percentual de realocações em relação ao total de movimentações feitas para cada carregamento, sendo assim possível a comparação da diferença entre o pátio real e o pátio otimizado pelo modelo proposto.

Ressalta-se que o modelo matemático proposto foi executado até a convergência à otimalidade, tanto no caso de validação quanto no estudo de caso real. Assim, obteve-se a solução ótima para a resolução computacional de cada instância do modelo gerado. Eventual comparação com outros métodos heurísticos ou meta-heurísticos em cada instância, respeitadas as hipóteses de modelagem adotadas, conduziriam a, no melhor caso, respostas de mesma função de avaliação.

5. Resultados obtidos

A partir de um cenário contendo os dados de entrada, o modelo calcula a melhor posição, nível e fileira de cada contêiner baseando-se no prazo de saída do mesmo. Minimiza-se, assim, a quantidade de movimentações necessárias para remover o contêiner quando for solicitada sua saída, conforme explicitado na Equação 1.

A Figura 3 exemplifica o resultado da execução computacional realizada na ferramenta GUSEK, onde são definidas as melhores posições, níveis e fileiras do conjunto de quatorze contêineres, com seus respectivos prazos de saídas entre parênteses. Trata-se do teste de validação, mencionado na seção de metodologia. Por exemplo, o contêiner 14, que tem prazo de entrega em 4 dias, deve ser alocado na posição 2, que fisicamente se posiciona ao lado direito da posição 1, no nível 4, ou seja, empilhado sobre outros 3 contêineres, e na fileira 1, sendo que estas posições estão configuradas com apenas uma fileira de profundidade. Para a resolução do referido exemplo, o modelo matemático gerado e resolvido por meio do *solver* continha 210 variáveis binárias e 59 restrições. Um tempo computacional de menos de um segundo foi gasto até a obtenção da solução ótima.

> Container	3(3)	Posicao	1.	1.	1
> Container	2(2)	Posicao	1.	2.	1
> Container	12(2)	Posicao	1.	3.	1
> Container	11(1)	Posicao	1.	4.	1
> Container	1(1)	Posicao	1.	5.	1
> Container	6(6)	Posicao	2.	1.	1
> Container	5(5)	Posicao	2.	2.	1
> Container	4(4)	Posicao	2.	3.	1
> Container	14(4)	Posicao	2.	4.	1
> Container	13(3)	Posicao	2.	5.	1
> Container	10(10)	Posicao	3.	1.	1
> Container	9(9)	Posicao	3.	2.	1
> Container	8(8)	Posicao	3.	3.	1
> Container	7(7)	Posicao	3.	4.	1

Figura 3 - Resultado do posicionamento de um exemplo com quatorze contêineres

Para validação do modelo no ambiente real, foi aplicada a otimização para organizar o pátio do

porto seco, conforme seção de metodologia. Definiu-se, assim, a melhor posição de cada contêiner antes da carga do trem. Este processamento foi segmentado por tipo de contêiner e prazo de saída com uma média de 15 contêineres por execução, gerando um modelo matemático com 225 variáveis binárias e 185 restrições, levando um tempo computacional de 10 segundos para a obtenção da solução ótima.

Após a organização do pátio, foi executada a simulação do carregamento de cada trem, identificando o total de realocações e o percentual das realocações em relação ao total de movimentações. O resultado desta operação é apresentado na Figura 4. Nesta figura, mostra-se o total de contêineres carregados no trem, representados pela barra azul, o total de realocações reais executadas em cada carregamento, representada pela barra de cor laranja, e o total de realocações previstas com o pátio organizado pelo modelo de otimização, representado pela barra cinza. Além das barras, apresentam-se as linhas com os percentuais de realocações em relação ao total de movimentações necessárias para o carregamento de cada trem, sendo a linha amarela referente aos valores do pátio sem otimização e a linha em azul escuro com o pátio otimizado pelo modelo proposto. No eixo horizontal, mostram-se as datas de carregamento dos trens, ocorrendo, inclusive, a chegada (“encoste”) de mais de um trem no mesmo dia (por exemplo, nos dias 25/09/2017 e 18/09/2017).

O carregamento dos trens com o pátio otimizado apresentou uma redução média de 23 movimentações por trem, uma redução média de 83% no número de realocações necessárias para o carregamento de cada trem. Com uma capacidade média de 15 movimentações por hora das *reach stackers*, neste pátio onde são utilizados dois destes equipamentos para carregamento dos trens. No cenário em análise, foi possível estimar a redução do tempo de carga em aproximadamente uma hora para cada trem carregado.

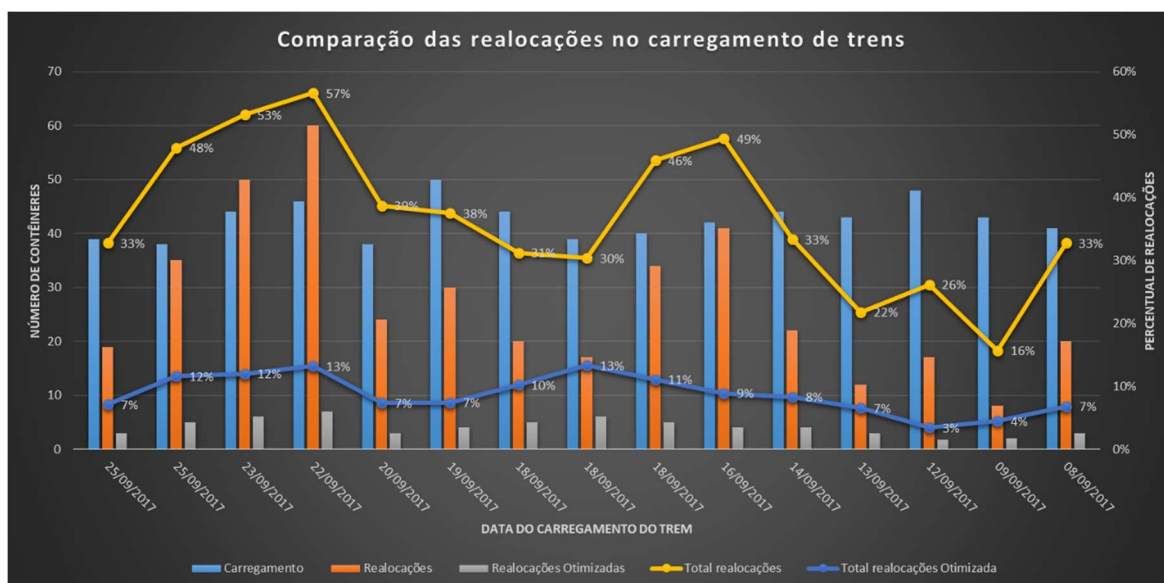


Figura 4 – Gráfico com o total de contêineres, realocações, percentual de realocações, realocações após otimização e percentual de realocações após otimização de vários carregamentos de trens

6. Limitações do modelo atual e trabalhos futuros

No modelo atual, não se previu a utilização de contêineres de 20 pés sendo processados juntos com contêineres de 40 pés. Se os dados não forem corretamente pré-processados, o modelo não faz esta distinção, podendo sugerir empilhamento de contêineres de 40 pés sobre contêineres

de 20 pés. Contudo, o modelo atual deve ser executado com apenas um tamanho de contêiner e com as restrições das posições exclusivas para este tamanho, evitando-se eventuais problemas gerados pela limitação do escopo de modelagem.

Nas pilhas que podem ser acessadas por ambos os lados, existe a possibilidade da retirada dos contêineres que estão nas fileiras do fundo, contudo essa capacidade não foi considerada no modelo matemático proposto, podendo configurar objeto de futuro trabalho.

Por questões relacionadas ao tempo computacional de processamento, sugere-se a execução do modelo de forma segmentada: (i) por tamanho dos contêineres (20 pés ou 40 pés); (ii) por tipo dos contêineres (*reefer*, *dry*, *tank*); (iii) por data de saída prevista, por exemplo, a análise de todos os contêineres que sairão a mais de 10 dias, depois os que sairão após 5 dias e, por último, os demais.

Como trabalho futuro, pretende-se evoluir a modelagem do problema para que o mesmo distribua os contêineres ao longo da linha férrea, ao invés de priorizar a alocação dos contêineres nas posições uma ao lado da outra. Essa distribuição tem potencial para reduzir a distância e o tempo de carregamento pelo fato dos contêineres ficarem distribuídos paralelamente aos vagões do trem. A Figura 4 apresenta a distribuição das pilhas de contêineres ao longo da linha férrea.

Outro ponto fundamental na otimização do pátio de contêineres é a distância percorrida pelos equipamentos que movimentam os contêineres. Como trabalho futuro, será considerada a distância entre as posições do pátio e os vagões do trem com a finalidade de minimizar as distâncias percorridas pela *reach stacker* para o carregamento/descarregamento do trem.



Figura 4 - Linha férrea com pilhas de contêineres

7. Conclusão

O presente trabalho propõe o uso de um modelo de otimização em Programação Linear Inteira Mista (PLIM), para a resolução do problema de posicionamento e empilhamento de contêineres em portos secos (pátios intermediários). Tais portos secos operam com equipamentos menores na movimentação de contêineres em relação aos pátios portuários e necessitam de uma abordagem diferenciada para reduzir o número de realocação de contêineres nos carregamentos de trens e caminhões. No caso estudado, a otimização do pátio de contêineres com o uso de PLIM reduziu significativamente o número de movimentações necessárias para a saída dos

contêineres, gerando um aumento no desempenho operacional, onde os atendimentos das solicitações podem ser executados de forma mais rápida. Os resultados obtidos na execução computacional, com os dados reais de um porto seco, indicam uma redução de até 90% no número de realocações de contêineres, gerando uma redução direta no tempo de carga do trem e, conseqüente, redução dos custos relacionados ao uso dos equipamentos que executam as movimentações dos contêineres. A principal vantagem nessa otimização é a economia financeira com as reduções de gastos de combustíveis, pneus, manutenções ou, conforme o cenário de análise, até mesmo a redução no número de equipamentos que operam no pátio.

Referências

- ALMEIDA, A.; FIGUEIREDO, M. B.** *A particular approach for the three-dimensional packing problem with additional constraints*. Computers & Operations Research. v. 37, p. 1968-1976, 2010.
- BISCHOFF, E. E.; MARRIOTT, M. D.** *A comparative evaluation of heuristics for container loading*. European Journal of Operational Research. v. 44, p. 267-276, 1990.
- BORTFELDT, A.; WÄSCHER, G.** *Constraints in container loading – A state-of-the-art review*. European Journal of Operations Research. v. 229, p. 1-20, 2013.
- CHANG, Y., ZHU, X., YAN, B., WANG, L.** *Integrated scheduling of handling operations in railway container terminals*. Transportation Letters, p. 1-11, 2017. Article in Press. DOI: 10.1080/19427867.2017.1374500
- GUSEK.** *GLPK Under Scite Extended Kit*. Disponível em: <http://gusek.sourceforge.net/>. Consultado em 27/09/2017.
- JUNQUEIRA, L.; MORABITO, R.; YAMASHITA, D. S.** *Three-dimensional container loading models with cargo stability and load bearing constraints*. Computers & Operations Research, v. 39, p. 74-85, 2012.
- STEENKEN, D., VOß, S., STAHLBOCK, R.** *Container terminal operation and Operations Research - A classification and literature review*. OR Spectrum, 26 (1), p. 3-49, 2004.
- ZHAO, N., SHEN, Y., XIA, M., JIN, J.** *A novel strategy for stowage planning of 40 feet containers in container terminals*. Journal of Marine Science and Technology (Taiwan), 24 (1), p. 61-74, 2016.