

MODELO DE CARACTERIZAÇÃO DA ESCALA DE TRABALHO DE OPERADORES NO TERMINAL PORTUÁRIO DE CONTÊINERES DE ITAPOÁ-SC

Jeferson Kalckmann Gilgen
Porto Itapoá
Vanina Macowski Durski Silva
Centro Tecnológico de Joinville
Universidade Federal de Santa Catarina
Cassiano Augusto Isler
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de estabelecer a escala de trabalho dos operadores nos equipamentos do terminal portuário de contêineres em Itapoá-SC. Para tanto, propõe-se um modelo matemático de programação linear inteira que minimiza os custos mensais de contratação dos recursos humanos a partir de um limite de funcionários com habilidades específicas disponíveis para operarem um dado conjunto de equipamentos. O modelo resulta no número de operadores necessários e em uma tabela de horários de início e término da operação dos equipamentos considerando requisitos de descanso da equipe. Os resultados de cenários evidenciam redução de custos mensais de contratação de pessoal entre R\$1.779,00 e R\$11.598,00, por turno de 12 horas sob operação ininterrupta do porto. Além disso, a utilização do modelo implica na redução do esforço da tarefa de alocar operadores aos equipamentos e viabiliza o dimensionamento das equipes mediante expansão prevista do terminal.

ABSTRACT

This paper provides a solution to the employees scheduling problem to equipments at the Itapoá-SC container terminal. An integer linear programming model was developed to minimize the overall hiring costs given an upperbound number of employees with specific skills available to operate a set of equipments. The model provides the number of required employees and a timetable that shows the initial and final periods of each operator on a machine given the resting requirements of the team. The monthly hiring costs were reduced between R\$1.779,00 and R\$11.598,00 in each shift of 12 hours considering the uninterrupted operation of the port. Furthermore, the model implies in a reduction of efforts of the employees assignment task and also enables sizing the teams given the expected expansion of the terminal.

1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade das organizações alcançarem resultados positivos em situações macroeconômicas adversas tem demandado esforços para melhorar o desempenho de suas operações quanto à redução de custos e ao uso racional dos recursos disponíveis.

O setor portuário é um dos beneficiados pela modelagem matemática no âmbito da Pesquisa Operacional para solucionar problemas de manutenção de equipamentos, movimentação de cargas e no setor administrativo, como a definição da escala durante a jornada de trabalho. As habilidades dos operadores de equipamentos associadas aos custos operacionais, restrições de tarefas e flexibilidade da jornada de trabalho resultam em um processo decisório complexo que exige métodos especializados para utilização eficiente dos recursos (Bruecker et al., 2015).

Entretanto, mesmo com a aplicação extensiva dessas técnicas de modelagem, as particularidades operacionais dos terminais portuários demandam modelagem específica mediante os seus atributos, como quantidade de operadores disponíveis, número de turnos, política de rotatividade dos operadores para uma mesma máquina em um dado turno etc. O terminal portuários de contêineres de Itapoá-SC insere-se nesta problemática dado que encontra-se em processo de expansão e alteração do sistema de troca de trabalhadores que operam os equipamentos necessários ao carregamento dos navios e distribuição dos contêineres no pátio do terminal.

Assim, o objetivo deste artigo é estabelecer a escala de trabalho dos operadores nos equipamentos de movimentação de contêineres no terminal portuário de Itapoá-SC. Um modelo matemático de programação linear inteira é proposto com o objetivo de minimizar os custos de contratação de recursos humanos mediante as características operacionais do terminal.

Este artigo está dividido em cinco seções. Após esta introdução apresenta-se uma revisão sobre modelagem matemática para definição de escala de recursos humanos em atividades. A operação do terminal portuário de Itapoá e os atributos envolvidos na definição da escala dos operadores são caracterizados na terceira seção, seguida da apresentação do modelo matemático. Na seção quatro são apresentados os resultados de aplicações do modelo matemático em instâncias de pequeno porte e em problemas compatíveis com a realidade operacional do porto. Finalmente, são apresentadas conclusões e perspectivas de aplicações na quinta seção.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Bruecker et al. (2015), o planejamento de horários de equipes de trabalho é uma tarefa recorrente para os gestores de uma organização, pois alocar corretamente os funcionários em atividades específicas permite identificar quando e como devem executar suas funções, e avaliar a necessidade de contratação ou demissão de mão-de-obra especializada.

Para Castillo et al. (2009), esse planejamento tem o objetivo de identificar a melhor alocação de recursos humanos para adequar a operação de uma empresa à variação da demanda que resulte nos menores custos possíveis e satisfaça as regulamentações pertinentes.

Os problemas de escala de equipe podem ser tratados sob a perspectiva de troca de turno (*shift scheduling*) e de tempo de descanso (*days off scheduling*), ou simultaneamente como um *tour scheduling*. Outra classificação de problemas de escalas pode ser quanto à existência de demandas regulares periódicas, resultando em escalas rotativas cíclicas (*cyclical scheduling*) como de motoristas de empresas de transporte público que realizam a mesma escala diariamente alterando somente o itinerário quando necessário (Rocha, 2013).

Os primeiros estudos sobre escala de colaboradores pelo *tour scheduling* foram desenvolvidos por Dantzig (1954), por um modelo de programação linear inteira com horizonte de planejamento diário, mais recentemente expandido por Alfares (2004) em horizonte semanal.

As técnicas de modelagem do problema de escala de horários podem envolver programação por objetivo (Sampson, 2006), programação linear inteira (Tiwari et al., 2009), programação não-linear (Huang et al., 2009), programação linear inteira mista (Firat e Hurkens, 2012), simulação de eventos discretos (Huang et al., 2009), ou simulação e otimização (Helber e Henken, 2010). Segundo Rocha (2013), os problemas de escala de horários sob a perspectiva da programação linear podem ser modelados mediante os fatores, objetivos e restrições da Tabela 1.

Bruecker et al. (2015) apresentaram pesquisas em que o operador com mais habilidades desenvolve melhor algumas atividades (hierárquicas) ou em que os funcionários têm as mesmas habilidades (categóricas). Ademais, os autores relataram pesquisas em que os regimes de trabalho integral ou parcial são considerados.

Bard et al. (2003) propuseram um modelo de programação inteira para o problema de *tour schedule* no Serviço Postal dos Estados Unidos da América, com o objetivo de reduzir o tamanho da

Tabela 1: Características consideradas para modelagem do problema de escala de horários

FATORES	Período de planejamento Horas operacionais da organização	Características dos trabalhadores Flexibilidade de turnos
OBJETIVOS	Minimizar o custo de mão obra total Maximizar a porcentagem das horas trabalhadas estipuladas no contrato ou minimizar a porcentagem de horas não estipuladas Minimizar o intervalo entre alocações e demanda Minimizar o intervalo entre alocações e preferências dos funcionários Minimizar o tamanho da equipe de colaboradores Balancear a carga de trabalho entre todos os trabalhadores Maximizar a satisfação do funcionário	
RESTRIÇÕES	Número de alocações necessárias/permitidas por intervalo Obrigações pelas leis trabalhistas ou preferências dos funcionários Finais de semana periódicos de descanso, compensação de alocações em finais de semana por dias de descanso durante a semana Distribuição igualitária de turnos/dias de descanso entre colaboradores	

Fonte: Adaptado de Rocha (2013).

equipe e construir uma escala semanal para cada funcionário, com jornadas de trabalho integral ou parcial, obrigatoriedade de dois dias de descanso consecutivos e início de jornada variável.

Eitzen et al. (2004) descreveram um problema de escala de pessoal com habilidades múltiplas em uma estação de energia elétrica em Queensland (Austrália), considerando os requisitos de dias de descanso e alocação de turnos em função das habilidades múltiplas dos funcionários.

Rocha (2013) utilizou a mesma abordagem em uma indústria de garrafas de vidro com produção ininterrupta, em que 4 equipes homogêneas de 36 pessoas deveriam ser escaladas em turnos de 8 horas e limites máximo e mínimo de dias consecutivos de trabalho com o objetivo de promover equidade nas escalas dos colaboradores.

Há também aplicações de modelagem nos setores da saúde, como hospitais e clínicas de saúde (Warner, 1976; Bard e Purnomo, 005a; Bard e Purnomo, 005b; Bester et al., 2007; Causmaecker e Berghe, 2011; Maenhout e Vanhoucke, 2013).

Mais especificamente no setor portuário, Kim et al. (2004) desenvolveram um algoritmo para definir a escala dos operadores nos equipamentos do terminal de contêineres de Pusan, Coréia do Sul. As principais restrições para minimização do número de funcionários foram: tempo de operação por operador e turno; tipos de equipamentos que poderiam ser operados pelos indivíduos; e disponibilidade de períodos para cada operador ou equipamento.

Segundo esses autores, os problemas de escala de colaboradores em terminais portuários podem ser divididos hierarquicamente em três categorias: ordenação de operadores pela definição do turno de cada um; atribuição do tempo de operação nos equipamentos; ou alocação de um operador para cada equipamento durante o tempo de funcionamento das máquinas.

No contexto do terceiro tipo de problema em que se insere este artigo, nota-se que a programação da escala dos operadores depende das particularidades operacionais dos terminais portuários, tal que a utilização de uma modelagem está condicionada aos objetivos da organização e

justifica a proposta de um modelo matemático específico para o terminal de contêineres objeto de análise neste artigo.

3. MODELAGEM DO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE OPERADORES

Esta seção contém a descrição da operação dos processos de carregamento e descarregamento de contêineres no terminal portuário de Itapoá-SC e a caracterização do modelo matemático para alocação dos operadores aos equipamentos necessários àquelas operações, contemplando os atributos operacionais do porto ao minimizar os custos de contratação de recursos humanos.

3.1. Operação do terminal portuário de Itapoá-SC

O terminal portuário de contêineres de Itapoá, localizado no litoral norte do estado de Santa Catarina e administrado pela “Porto Itapoá”, tem potencial de movimentação de 500 mil *Twenty Foot Equivalent Units* (TEUs) por ano em um pátio de 156 mil m².

Para isso, o terminal possui os equipamentos: 6 Portêineres (PTs), guindastes de cais com estrutura de pórtico utilizado para carregar e descarregar contêineres de navios; 17 *Rubber Tyred Gantry Cranes* (RTGs), guindastes de pátio rolante com estrutura de pórtico em “U” invertido para empilhamento de contêineres no pátio; 2 *Reach Stackers* (RSs), empilhadores de contêiner com uma lança e um *spreader* (dispositivo para levantar o contêiner) utilizado para movimentação vertical e horizontal de cargas; e 26 *Terminal Tractors* (TTs), equipamentos para movimentar contêineres do PT para o RTG e vice-versa. Além disso, existem *Empilhadeiras de Vazios* (EVs) utilizadas para contêineres vazios com uma empilhadeira frontal e um *spreader*.

A operação desses equipamentos exige mão de obra especializada subdividida em equipes para o carregamento e descarregamento de um navio, ou organização de cargas no pátio. Existem diferentes classes para cada operador em função de suas habilidades: Júnior (JR) opera TT; Pleno (PL) opera RTG, RS, TT e EV; e Sênior (SR) opera PT, RTG, RS, TT e EV.

Os funcionários são divididos em quatro equipes com escala quatro por quatro em turnos de 12 horas diárias (ou seja, cada funcionário trabalha 4 dias consecutivos com intervalos de 12 horas e descansa durante quatro dias), em uma operação de 24 horas por dia e 7 dias por semana. Em cada turno existe um período de uma hora para almoço e dois períodos de 42 minutos para descanso, tal que o funcionário trabalha efetivamente 9,6 horas e permanece 2,4 horas em parada obrigatória durante 15 períodos sucessivos conforme exemplo da Tabela 2 com turno iniciado às sete horas da manhã.

Tabela 2: Períodos com intervalos de 42 e 60 minutos no turno de 12 horas

Intervalos 42 min			Intervalos 60 min			Intervalos 42 min		
Período <i>t</i>	Início	Fim	Período <i>t</i>	Início	Fim	Período <i>t</i>	Início	Fim
1	07:00	07:42	6	10:30	11:30	11	15:30	16:12
2	07:42	08:24	7	11:30	12:30	12	16:12	16:54
3	08:24	09:06	8	12:30	13:30	13	16:54	17:36
4	09:06	09:48	9	13:30	14:30	14	17:36	18:18
5	09:48	10:30	10	14:30	15:30	15	18:18	19:00

Dados os intervalos intrajornadas dos operadores titulares, é necessário que outro funcionário

opere um equipamento em um processo denominado “rendição”, em que este operador rende a função do titular. Assim, os responsáveis pela rendição chegam a realizar um esforço físico quatro vezes maior que os titulares pela necessidade de acesso recorrente aos equipamentos.

Para evitar essa situação a empresa decidiu pela substituição do sistema de rendição com operadores titulares e rendedores por uma escala “carrossel”, em que um operador é obrigado a parar por um período a cada quatro períodos trabalhados, sendo rendido por outro funcionário que permanecerá nele por quatro períodos sucessivos até ser rendido por um terceiro operador.

Nesse caso, quando o primeiro operador retorna do descanso, precisa render outro em um equipamento específico e iniciar seu novo turno de quatro períodos. Assim, há um revezamento na função de rendição na tentativa de homogeneizar o máximo possível o esforço físico de acesso aos equipamentos entre os funcionários.

A tarefa diária de definição de escala para os turnos é árdua e morosa para ser realizada manualmente, além da necessidade de treinamento específico da equipe operacional devido à alteração do método de escala. Assim, sob restrições de custos de contratação de recursos humanos para garantir a manutenção das atividades do terminal, o modelo matemático proposto neste artigo é pertinente ao viabilizar a automatização na definição dos instantes de início da jornada de cada operador nos equipamentos em um dado turno sob a perspectiva da escala do tipo carrossel.

3.2. Modelo matemático

Seja JR o conjunto de operadores com habilidades que os classificam como Júnior, PL o conjunto de funcionários da categoria Pleno e SR o conjunto de operadores Sênior disponíveis para operação dos equipamentos no conjunto de períodos $T = \{1, \dots, 15\}$ de um turno, tal que o conjunto de operadores disponíveis no turno é $J = JR \cup PL \cup SR$.

Analogamente, em um dado turno existem equipamentos que devem ser operados tal que os respectivos conjuntos são: TT para *Terminal Tractors*; RTG para *Rubber Tyred Gantry Craners*; RS para *Reach Stackers*; EV para *Empilhadeiras Vazias*; PT para *Portêineres*.

Dependendo da quantidade de equipamentos a serem operados não é possível alocar todos os operadores requisitados, sendo definido um conjunto de equipamentos virtuais AUX para operadores que obrigatoriamente deveriam retornar do intervalo intrajornada sem que haja equipamento disponível no período. Essa alocação equivale à atribuição de uma atividade alternativa que não corresponde à operação de nenhum dos outros equipamentos (por exemplo, realização de cursos de capacitação).

Nessas condições, o conjunto de equipamentos disponíveis para alocação dos operadores é $K = TT \cup RTG \cup RS \cup EV \cup PT \cup AUX$.

Seja c_j o custo de contratação de um operador segundo as suas habilidades, tal que:

$$c_j = \begin{cases} R\$ 4.391,00/\text{mês}, & \forall j \in JR \\ R\$ 8.325,00/\text{mês}, & \forall j \in PL \\ R\$ 11.598,00/\text{mês}, & \forall j \in SR \end{cases}$$

Além disso, seja B_{jk} uma matriz de habilidades tal que $B_{jk} = 1$ se o operador j tem habilidade para operar o equipamento k , e $B_{jk} = 0$ caso contrário. Ademais, considere um parâmetro E_{kt}

sobre a necessidade de operação de um equipamento em um período específico, tal que $E_{kt} = 1$ se o equipamento k deve ser operado no período t . Considere ainda o parâmetro M igual a um número grande (*Big M*).

Sejam y_j e x_{jk}^t as variáveis de decisão do modelo matemático, tais que:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{se o operador } j \in J \text{ é contratado pela empresa;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$x_{jk}^t = \begin{cases} 1, & \text{se o operador } j \in J \text{ começa a operar o equipamento } k \in K \text{ no período } t \in T; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

O modelo matemático para resolver o problema de alocação de operadores no terminal portuário de Itapoá-SC pela escala carrossel é definido entre a Equação (1) e a Equação (13).

$$\text{Minimizar } \sum_{j \in J} y_j \cdot c_j \quad (1)$$

sujeito a

$$\sum_{j \in J} x_{jk}^t \leq \sum_{j \in J} M \cdot y_j \quad \forall k \in K, t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} x_{jk}^t \leq 1 \quad \forall j \in J, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in T} x_{jk}^l \leq 4 \cdot E_{kt} \quad \forall t \in T, k \in K - AUX \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} x_{jk}^t \leq 3 \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in \{t, \dots, t+3\}} x_{jk}^l = E_{kt} \quad \forall t \in T - \{13, 14, 15\}, k \in K - AUX \quad (6)$$

$$\sum_{j \in JR} \sum_{\substack{k \in TT \\ k \in K - AUX}} x_{jk}^t = \sum_{j \in JR} \sum_{\substack{k \in TT \\ k \in K - AUX}} x_{jk}^{13} \quad \forall t \in \{13, 14, 15\} \quad (7)$$

$$\sum_{\substack{j \in JR \\ j \in PL}} \sum_{\substack{k \in TT \\ k \in RTG \\ k \in K - AUX}} x_{jk}^t = \sum_{\substack{j \in JR \\ j \in PL}} \sum_{\substack{k \in TT \\ k \in RTG \\ k \in K - AUX}} x_{jk}^{13} \quad \forall t \in \{13, 14, 15\} \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in \{t, \dots, t+3\}} x_{jk}^l \leq E_{kt} \quad \forall t \in T - \{13, 14, 15\}, k \in AUX \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in \{t, \dots, t+4\}} x_{jk}^l = y_j \quad \forall j \in J, t \in T - \{12, 13, 14, 15\} \quad (10)$$

$$x_{jk}^t \leq B_{jk} \quad \forall j \in J, k \in K, t \in T \quad (11)$$

$$x_{jk}^t \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, k \in K, t \in T \quad (12)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (13)$$

A função objetivo (1) representa o custo total de contratação de operadores no turno. O conjunto de restrições (2) garante que se o operador j for alocado em um equipamento k pelo menos uma vez no turno T ele deve ser contratado pela empresa. As restrições (3) garantem que existe no máximo um operador j em cada equipamento k em cada período t e (4) garantem que existem no máximo quatro escalas contínuas iniciando em cada equipamento k diferente de AUX durante um turno T . As restrições (5) garantem que todo operador j inicia uma escala contínua no máximo três vezes em qualquer equipamento k e (6) garantem que o operador j permanecerá em um equipamento k até o período $t + 3$ se iniciou a escala no período t , à exceção dos AUX .

As restrições (7) garantem que os operadores JR só iniciarão o turno em equipamentos TT ou AUX segundo suas habilidades, (8) garantem que os operadores PL só iniciarão o turno em equipamentos TT , RTG ou AUX devido às suas habilidades, e (9) garantem que o operador j será alocado em um equipamento AUX somente se for necessário e permanecerá nesse equipamento, no máximo, até o período $t + 3$.

O conjunto de restrições (10) garante que todos os operadores j que iniciam a escala no período t iniciam a próxima escala no período $t + 5$ e (11) garante que o operador j tem habilidade para operar o equipamento k , analogamente ao proposto por Mohan (2008). Finalmente, (12) e (13) estabelecem o domínio das variáveis de decisão.

4. APLICAÇÃO DO MODELO

Nesta seção são apresentados os resultados da aplicação do modelo matemático proposto para demonstrar a eficácia na alocação de operadores aos equipamentos em uma jornada de trabalho de 12 horas e sua aplicabilidade em problemas reais de maior porte.

O modelo matemático foi implementado na linguagem C++ e resolvido pelo solver Gurobi (GUROBI, 2016) em um computador *Intel Core i5-3470 3.20GHz RAM*, com leitura de parâmetros e impressão de resultados em planilhas eletrônicas.

4.1. Problemas de pequeno porte

4.1.1. Alocação em quatro TT

Neste cenário disponibilizam-se 10 operadores JR , enumerados de 1 a 10, para operação de quatro equipamentos TT , enumerados de 1 a 4, no turno de 15 períodos. A solução ótima do modelo matemático resolvido em 0,26 segundos foi a alocação de cinco operadores JR para a operação dos quatro equipamentos, com custo de contratação de R\$21.955,00.

Conforme a Tabela 3 é possível verificar que não foi necessário alocar equipamentos AUX , tal que o operador $JR = 1$ inicia o turno com dois períodos de operação do equipamento $k = 3$ e posterior descanso, o operador $JR = 2$ opera o equipamento $k = 4$ em apenas um período e descansa em seguida, o operador $JR = 3$ opera o equipamento $k = 2$ por três períodos sucessivos e o operador $JR = 4$ opera o equipamento $k = 1$ durante quatro períodos seguidos do descanso de um período.

Tabela 3: Resultado da alocação em 4 TT

k/t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<i>TT</i>	1	4	4	4	4	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2
	2	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2	5	5	5	5
	3	1	1	2	2	2	2	5	5	5	5	4	4	4	4	3
	4	2	5	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	1	1

A solução do modelo matemático indica que cinco operadores são necessários para operar quatro equipamentos durante o turno, equivalente ao sistema de rendição atualmente praticado pela empresa, porém implementado sob a forma de escala carrossel.

Além disso, pelos resultados deste cenário é possível afirmar que 40% dos colaboradores realiza 25% menos esforço físico que os demais, mesmo que todos realizem três paradas obrigatórias durante a jornada de 12 horas de operação, pelo fato de que 60% dos colaboradores realizam a primeira e a última escala fracionada para adequação da escala carrossel.

4.1.2. Alocação em um TT e cinco RTG

Neste cenário disponibilizam-se, para o turno de 12 horas, 10 operadores *JR* enumerados de 1 a 10 e 10 operadores *PL* enumerados de 11 a 20, para operação de um equipamento *TT* enumerado como 1 e cinco *RTG* enumerados de 2 a 6. Foram disponibilizados dois equipamentos *AUX* enumerados de 7 a 9 dado que o número total de equipamentos que deverá ser operado multiplicado por 15 períodos não é múltiplo de quatro (o número de períodos que um operador deve permanecer em um equipamento).

O modelo executado em 15,63 segundos resultou em custo total de contratação de equipe igual a R\$79.316,00 com alocação de 10 colaboradores (um *JR* e nove *PL*) conforme ilustrado na Tabela 4. Como o intervalo de equipamentos *AUX* não está incluso nas restrições (6), o modelo não obriga o preenchimento de todos os horários na escala deles, sendo utilizados somente pela necessidade de alocação de operadores nos equipamentos obrigatórios.

Tabela 4: Resultado da alocação em 1 TT e 5 RTG

k/t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<i>TT</i>	1	1	1	1	1	13	13	13	13	19	19	19	19	12	12	12
	2	19	19	16	16	16	16	14	14	14	14	17	17	17	17	13
	3	13	13	13	15	15	15	15	16	16	16	16	14	14	14	14
	4	17	17	17	17	11	11	11	11	15	15	15	15	16	16	16
	5	16	14	14	14	14	17	17	17	17	11	11	11	11	15	15
	6	11	11	11	19	19	19	19	12	12	12	12	18	18	18	18
<i>AUX</i>	7	15	15	12	12	12	12	18	18	18	18	1	1	1	1	–
	8	12	–	–	–	–	–	–	–	–	13	13	13	13	19	19
	9	–	18	18	18	18	1	1	1	1	–	–	–	–	–	11

Cabe ressaltar que, para conseguir reduzir o custo da operação, o modelo alocou um operador *JR* em apenas quatro períodos do equipamento *TT* e no restante da jornada esse operador foi alocado em equipamentos *AUX* devido à falta de habilidade para operar *RTG*.

4.2. Problemas reais

Os cenários caracterizados na Tabela 5 foram definidos para demonstrar a eficácia na resolução do problema de alocação de operadores para carregamento de navios que exigem dois, três e quatro *PT*, ou somente organizando o pátio com diferentes equipamentos.

Tabela 5: Cenários de aplicação do modelo matemático

Cenário	Operadores				Equipamentos							Períodos
	<i>JR</i>	<i>PL</i>	<i>SR</i>	<i>J</i>	<i>TT</i>	<i>RTG</i>	<i>EV</i>	<i>RS</i>	<i>PT</i>	<i>AUX</i>	<i>K</i>	<i>T</i>
1	30	20	10	60	12	4	2	2	–	3	23	21
2	30	20	10	60	12	4	1	1	2	3	23	21
3	30	20	10	60	16	8	2	2	–	3	31	21
4	30	20	10	60	16	7	1	1	3	3	31	21
5	30	20	10	60	24	12	2	2	–	3	43	21
6	30	20	10	60	24	10	1	1	4	3	43	21

Todos os cenários foram estabelecidos com a mesma quantidade de operadores disponíveis por categoria de especialização. Entretanto, o cenário 1 corresponde à operação do terminal somente para movimentação interna de contêineres, ou seja, sem nenhum navio atracado pois o número de Portêineres *PT* em operação é nulo. Por outro lado, no segundo cenário considera-se a operação de equipamentos no pátio do terminal e um navio que exige dois *PT* para operações de carregamento e/ou descarregamento de contêineres.

O cenário 3 estabelece maior movimentação no pátio do terminal, com aumento do número de *TT* e *RTG* em comparação com o cenário 1, mas igualmente sem navio no porto. O cenário 4 prevê um navio atracado que exige a operação de três Portêineres e também maior quantidade de equipamentos auxiliares para operação quanto ao cenário dois.

O quinto cenário também considera apenas operação interna, porém com o dobro de *TT* e triplo de *RTG* quanto ao cenário 1. Finalmente, o cenário 6 considera que o porto opera na capacidade atual, com quatro *PT* para atendimento de um navio de maior porte, e consequentemente maior número de equipamentos *TT* e *RTG*.

A aplicação do modelo matemático a esses problemas resultou em tabelas de horários de início de trabalho nos períodos do turno análogas à Tabela 3 e Tabela 4. A comparação do custo de contratação de recursos humanos atuais sob o sistema de rendição e aqueles resultantes do modelo na escala carrossel é indicada na Tabela 6, bem como os tempos de processamento computacional requeridos para atingir esses valores.

Tabela 6: Resultados de custo de contratação dos operadores nos cenários propostos

Cenário	Custo	Custo	Redução		Tempo execução
	Atual (R\$)	Modelo (R\$)	R\$	%	(segundos)
1	149.115,00	149.115,00	0,00	0,00%	287
2	167.259,00	165.480,00	-1.779,00	-1,06%	490
3	225.868,00	234.650,00	8.782,00	3,89%	4.348
4	258.883,00	251.015,00	-7.868,00	-3,04%	3.975
5	298.230,00	298.230,00	0,00	0,00%	163
6	326.193,00	314.595,00	-11.598,00	-3,56%	735

Complementarmente, a Tabela 7 indica o número de operadores por habilidade requeridos para operar os equipamentos nos respectivos cenários sob o sistema de escala de rendição e as alterações decorrentes da mudança para a escala carrossel, bem como a quantidade de equipamentos *AUX* e o número de períodos que alocações nesses equipamentos virtuais foram solicitados.

Tabela 7: Resultados do número de operadores requisitados em cada cenário

Cenário	Atual			Modelo			Redução			Equipamentos <i>AUX</i>	
	JR	PL	SR	JR	PL	SR	JR	PL	SR	Quantidade	Períodos
1	15	10	0	15	10	0	0	0	0	0	0
2	15	8	3	15	5	5	0	-3	2	0	0
3	23	15	0	25	15	0	2	0	0	3	30
4	23	12	5	25	10	5	2	-2	0	3	30
5	30	20	0	30	20	0	0	0	0	0	0
6	30	15	6	30	15	5	0	0	-1	0	0

No cenário 1 observa-se a manutenção da quantidade de operadores *JR* e *PL* (15 e 10, respectivamente) para operar os equipamentos e, conseqüentemente, os mesmos custos de contratação. Entretanto, os resultados do modelo matemático incorre na distribuição do esforço físico dos operadores na troca de equipamentos nos intervalos entre jornadas de operação.

Quanto ao segundo cenário, houve redução do custo total em R\$1.779,00 por turno mediante os equipamentos a serem operados, ou 1,06% comparado com os custos atuais da escala de rendição. Neste cenário o número de operadores *JR* se manteve igual a 15, e houve aumento de *SR* de três para cinco, compensado pela redução de três operadores *PL*. Nos respectivos cenários 1 e 2 os tempos de processamento foram de 287 segundos e 490 segundos.

No cenário 3 observa-se aumento de 3,89% de custo pela necessidade de inclusão de dois operadores *JR* para completar a escala carrossel, exigindo ainda a atribuição de operadores em 30 períodos nos três equipamentos *AUX* entre os 45 períodos disponíveis para alocação. Resultado análogo é observado no quarto cenário quanto à quantidade e ocupação de equipamentos *AUX*, porém houve redução do custo de contratação em R\$7.868,00, pelo aumento de dois operadores *JR* compensados pela redução de dois *PL*. Nos cenários 3 e 4, respectivamente, o tempo de processamento foi relativamente elevado, de 4.348 segundos e 3.975 segundos.

Tanto a necessidade de alocação de operadores aos equipamentos virtuais *AUX* quanto o aumento do tempo de processamento computacional, em comparação com os cenário 1 e 2, podem ser justificados pelo fato de que 30 equipamentos a serem operados obrigatoriamente não é múltiplo do número de períodos que o operador deve permanecer em um equipamento (quatro). Nessas circunstâncias, os operadores *SR* habilitados a trabalhar no *PT* devem ser alocados em equipamentos menos especializados, como *TT*, e os operadores *JR* que estariam disponíveis para esses equipamentos foram atribuídos aos *AUX* em ambos os cenários.

Analogamente ao primeiro cenário, o cenário 5 não resultou em redução de custo e manteve a mesma quantidade de operadores *JR* e *PL* quanto ao atual sistema de escala, de 30 e 20 funcionários respectivamente. Entretanto, cabe ressaltar que, novamente, o esforço de troca de equipamentos é distribuído entre os operadores na nova escala carrossel. Por fim, o sexto cenário indica redução de 3,56% no custo de contratação de um operador *SR* (R\$11.598,00) mantendo-se o número de *JR* e *PL* em 30 e 15, respectivamente.

Cabe ressaltar que o tempo de processamento para os dois últimos cenários foi reduzido, de 163 segundos e 735 segundos para o 5 e 6, respectivamente, e que em ambos não houve de alocação em *AUX* pelo fato dos 40 equipamentos a serem operados ser múltiplo da quantidade de períodos que um operador deve permanecer no equipamento (quatro).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou resultados práticos da aplicação de um modelo matemático de caracterização da escala de trabalho dos operadores nos equipamentos para movimentação de contêineres no terminal portuário de Itapoá-SC, minimizando, sob o aspecto estratégico, os custos de contratação com recursos humanos em função do tipo de equipamento e da habilidade dos operadores. Operacionalmente, o modelo proposto contribui para resolução de problemas práticos ao automatizar a definição do início da operação de cada equipamento pelos operadores disponíveis em um turno específico, reduzindo os esforços necessários pelas equipes de planejamento para estabelecer os horários de trabalho de cada operador.

Considerando que o porto de Itapoá-SC passa por um processo de expansão devido ao crescimento expressivo em movimentação de cargas – com previsão de dois milhões de TEUs anualmente com 13 PTs, 38 RTGs, 7 RSs, 80 TTs em um pátio de 455 mil m² –, o modelo matemático proposto neste artigo é uma ferramenta conveniente para auxiliar no processo de planejamento dos recursos humanos requeridos para operação futura do terminal.

É importante ressaltar que o modelo tem várias vantagens práticas: a redução do esforço da equipe administrativa na tarefa de alocar operadores aos equipamentos, que requer tempo e ainda exigirá treinamento para alteração do sistema de rendição atual para o sistema carrossel; a redução de custos com contratação pela determinação do número exato de funcionários necessários; a estimativa dos encargos referentes à contratação de pessoal, bem como o dimensionamento das instalações destinadas aos funcionários; e resulta em uma tabela de horários de início e final da operação de cada operador em cada equipamento.

Além disso, é possível adaptar o modelo para contemplar a alteração dos equipamentos a serem operados durante o turno em decorrência das necessidades do porto, por exemplo, pela chegada de um navio que requer quantidade de movimentos diferentes daqueles executados até um dado período. Além das aplicações práticas, esse modelo pode ser útil em pesquisas sobre o problema de alocação de operadores em equipamentos, mediante as particularidades operacionais e requisitos específicos de terminais portuários em geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfares, H. K. (2004). Survey, categorization, and comparison of recent tour scheduling literature. *Annals of Operations Research* 127(1-4), 145–175.
- Bard, J. F., C. Binici, e A. H. d. Silva (2003). Staff scheduling at the united states postal service. *Computers & Operations Research* 30(5), 745–771.
- Bard, J. F. e H. W. Purnomo (2005a). A column generation-based approach to solve the preference scheduling problem for nurses with downgrading. *Socio-Economic Planning Sciences* 39(3), 193–213.
- Bard, J. F. e H. W. Purnomo (2005b). Preference scheduling for nurses using column generation. *European Journal of Operational Research* 164(2), 510–534.
- Bester, M., I. Nieuwoudt, e J. H. Van Vuuren (2007). Finding good nurse duty schedules: a case study. *Journal of Scheduling* 10(6), 387–405.
- Bruecker, P. D., J. Van den Bergh, J. Beliën, e E. Demeulemeester (2015). Workforce planning incorporating skills: State of the art. *European Journal of Operational Research* 243(1), 1–16.

- Castillo, I., T. Joro, e Y. Y. Li (2009). Workforce scheduling with multiple objectives. *European Journal of Operational Research* 196(1), 162–170.
- Causmaecker, P. D. e G. V. Berghe (2011). A categorisation of nurse rostering problems. *Journal of Scheduling* 14(1), 3–16.
- Dantzig, G. B. (1954). A comment on edie's "traffic delays at toll booths". *Journal of the Operations Research Society of America* 2(3), 339–341.
- Eitzen, G., D. Panton, e G. Mills (2004). Multiskilled workforce optimisation. *Annals of Operations Research* 127(1-4), 359–372.
- Firat, M. e C. Hurkens (2012). An improved mip-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem. *Journal of Scheduling* 15(3), 363–380.
- GUROBI (2016). Gurobi optimizer reference manual.
- Helber, S. e K. Henken (2010). Profit-oriented shift scheduling of inbound contact centers with skills-based routing, impatient customers, and retrials. *Or Spectrum* 32(1), 109–134.
- Huang, H.-C., L.-H. Lee, H. Song, e B. T. Eck (2009). Simman - a simulation model for workforce capacity planning. *Computers & Operations Research* 36(8), 2490–2497.
- Kim, K. H., K. W. Kim, H. Hwang, e C. S. Ko (2004). Operator-scheduling using a constraint satisfaction technique in port container terminals. *Computers and Industrial Engineering* 46(2), 373–381.
- Maenhout, B. e M. Vanhoucke (2013). An integrated nurse staffing and scheduling analysis for longer-term nursing staff allocation problems. *Omega* 41(2), 485–499.
- Mohan, S. (2008). Scheduling part-time personnel with availability restrictions and preferences to maximize employee satisfaction. *Mathematical and Computer Modelling* 48(11-12), 1806 – 1813.
- Rocha, M. S. F. S. (2013). *The staff scheduling problem: a general model and applications*. Tese de Doutorado, Program in Industrial Engineering and Management, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Sampson, S. E. (2006). Optimization of volunteer labor assignments. *Journal of Operations Management* 24(4), 363–377.
- Tiwari, V., J. H. Patterson, e V. A. Mabert (2009). Scheduling projects with heterogeneous resources to meet time and quality objectives. *European Journal of Operational Research* 193(3), 780–790.
- Warner, D. M. (1976). Scheduling nursing personnel according to nursing preference: A mathematical programming approach. *Operations Research* 24(5), 842–856.

Jeferson Kalckmann Gilgen (jeferson.gilgen@portoitapoa.com)

Porto Itapoá,

Avenida Beira Mar 05, 2900 - Itapoá, SC

Vanina Macowski Durski Silva (vanina.durski@ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville

Rua Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Joinville, SC

Cassiano Augusto Isler (cassiano.isler@usp.br)

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica

Av. Prof. Almeida Prado, 83, Travessa 2 - Edifício Engenharia Civil - São Paulo, SP