

OTIMIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO PILHAS EM UM PÁTIO DE ESTOCAGEM DE PORTOS: MODELAGEM MATEMÁTICA E TÉCNICAS DE SOLUÇÃO

Marcos Wagner Jesus Servare Junior

Helder Roberto de Oliveira Rocha

José Leandro Félix Salles

Universidade Federal do Espírito Santo

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

RESUMO

Pátios de estocagem em áreas portuárias são importantes na gestão da cadeia de suprimentos, devido a agregação de custos logísticos. O seu objetivo primordial é realizar o carregamento dos navios de acordo com a sua capacidade, quantidade vendida e especificação do produto e, ainda, da maneira mais rápida possível. Para granéis sólidos, nos pátios de estocagem ocorrem a alocação das pilhas de produtos ao longo de sua extensão, juntamente ao sistema de recebimento e movimentação, além de misturas e recuperação de pilhas para abastecimento de navios. Na otimização deste sistema é observado um trade-off entre possíveis objetivos desse problema como, por exemplo, maximizar a precisão da programação, a taxa de transferência entre os estágios e minimizar o custo. Além destes aspectos, esta proposta propõe a adição de fatores como a incerteza de oferta, demanda e falha nos recursos, além de validar modelagens mais próximas dos casos reais para o problema.

1. INTRODUÇÃO

Os pátios de estocagem são elos importantes da cadeia logística a que pertencem, influenciando de forma significativa no seu desempenho. Especificamente no caso de granéis sólidos, como o carvão e o minério de ferro, o planejamento de alocação das pilhas e sequenciamento da utilização dos recursos ao longo da extensão destes pátios, impactam de maneira direta no desempenho dos processos portuários e, de acordo com a gravidade da situação, pode até interromper o processo de fornecimento por um período. Um navio que venha a ter sua partida atrasada pela ineficiência no processo pode incidir uma multa contratual oriunda do proprietário da embarcação.

Em oposição, se a alocação for feita de forma eficiente irá proporcionar maiores capacidades, menores custos e melhor resultado global desta cadeia de abastecimento. Considera-se, ainda, que este processo não é determinístico, ou seja, ocorrem variações não programadas devido às incertezas que o sistema está sujeito, desde a interrupção do fornecimento até a avaria de algum equipamento, entre outros imprevistos. Por ser uma programação é considerada altamente mutável no curto, médio e longo prazo, em função da demanda de produtos e da configuração de máquinas e instalações existentes nestes pátios, incluindo as paralisações previstas para as mesmas.

Apesar da importância dessa temática, verificam-se poucas pesquisas no sentido de gerar ferramentas que tratem da otimização da alocação de pilhas nestes pátios. E, também, se observa que tenham lacunas e potencial de pesquisa no tratamento do problema do ponto de vista de otimização.

Dada a relevância do tema tanto do ponto de vista acadêmico quanto do ponto de vista empresarial e sua alta complexidade, o trabalho compreenderá um detalhamento de iniciativas para o problema aplicado a granéis sólidos, além de observar a aplicação de estudos de programação de pátios em casos similares como, por exemplo, cavacos na indústria da celuloses, planejamento florestal e terminais de contêineres, para auxiliar na definição das possíveis soluções e a proposição de uma ou mais alternativas de otimização que possam ser eventualmente aproveitadas para incorporação ou construção de sistemas de suporte a decisão

nas atividades empresariais e desenvolvimento deste campo de conhecimento na literatura. Além de considerar a contribuição de imprevistos como a incerteza quanto a oferta e demanda, além de possíveis falhas nos equipamentos e interrupção do processo. Estas estratégias podem produzir limites mais robustos que os obtidos até o presente momento.

Ao realizar o estudo com a abrangência já descrita, o projeto implicará em determinar um conjunto de soluções que otimizem o processo segundo as medidas de desempenho que cada organização ou uma pesquisa deseja privilegiar. São exemplos destas, a maximização da taxa de transferência entre os estágios, a precisão e cumprimento da programação de abastecimento dos pátios e navios ou a minimização dos custos envolvidos nesse processo. Uma técnica que possa atuar de forma instantânea vai gerar menores impactos devido a imprevistos e o não cumprimento das atividades programadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Menezes et al (2017), os planejamentos de médio e curto prazos são decisões que a Pesquisa Operacional estuda como problema de Planejamento e Sequenciamento, considerando as quantidades a serem produzidas, preços e contratação, além da forma de alcançar as metas definidas pelos níveis superiores.

A solução do problema planejamento de alocação de pilhas e sequenciamento não é trivial, exigindo uma pesquisa detalhada para identificar as alternativas existentes, de tal forma a propor e construir as de maior efetividade e potencial de utilização. Dado o grau de complexidade verificado, este problema pode ser classificado como NP-hard, ou seja, os que requerem tempo exponencial para obtenção de solução ótima global (VOUDOURIS, 1997). Assim, além da busca pela solução ótima, é importante que se busque alternativas com soluções locais de boa qualidade que possam ser utilizadas pelos operadores e gestores do pátio no processo de tomada de decisão.

Pimentel (2011) aborda otimização da cadeia logística do minério como um todo, sendo que as análises efetuadas na gestão de pátios das minas são feitas de maneira simplificada, sem considerar os aspectos de rotas e manutenções de equipamentos. A solução adotada por Almeida e Pimentel (2010) utilizou um modelo de programação inteira mista para resolver o problema de programação de curto prazo de produção, processamento e expedição de minério. Em conjunto com o modelo utilizado, foi adotada a abordagem de Programação por Metas (IGNIZIO, 1978) para lidar com o aspecto de conflito de objetivos de cada etapa ou parte do processo (PIMENTEL, 2011).

Nobrega (1996) também trata o problema do ponto de vista da cadeia, sendo que na etapa de pátios de estocagem aborda somente que existem pilhas que são formadas e recuperadas sem haver preocupação de localização ou dimensões e geometria das mesmas. Neste caso, utiliza métodos clássicos de programação inteira e programação linear. Bittencourt e Matede (2009) fazem uma análise de pátios de estocagem de bobinas de aço de uma forma simplificada, considerando somente as movimentações internas de bobinas e formatos resultantes dos empilhamentos destes produtos. Neste caso é usado algoritmo de evolução diferencial para solução do problema.

Em um outro estudo, Amorim Júnior (2006) analisa a estocagem de bobinas de aço com objetivo de acelerar o processo de despachos realizado em um período de planejamento pré-

estabelecido. Mais recentemente, a integração entre o planejamento e sequenciamento tem sido um campo investigado por diversos autores, tais como Ago et al (2007), Mateus et al (2010), Kis e Kovacs (2012), Meyr e Mann (2013) e Menezes et al (2017), por exemplo. Nos trabalhos destes autores tratam do processo integrado e planejamento e sequenciamento considerando fatores que podem contemplar até a definição de rotas nas correias transportadoras e diversas técnicas de solução.

3. METODOLOGIA

A tese fará uso de diversas técnicas de solução para que o problema de alocação de pilhas de minério seja resolvido de forma eficiente. A utilização de uma ou mais técnicas ou, ainda, uma proposta de melhoria em alguma das ferramentas irão permitir a análise do ambiente atual para tomada de decisão para as próximas movimentações de minério

Para tanto, serão utilizados modelos que partem de problemas lineares até a programação dinâmica para que permita uma representação em tempo real do problema em estudo, de forma com que este seja o mais próximo possível da realidade, e permita a análise de estratégias para tomada de decisão.

Dessa forma, será realizado um levantamento na literatura dos modelos já existentes e, em paralelo desenvolvimento de novos modelos matemáticos com diversas variáveis e objetivos que possam atender às necessidades deste problema. Ao fim do levantamento e com desenvolvimento dos diversos modelos, será produzido um novo modelo, considerando os objetivos e suas combinações que foram estudados.

Ocorrerá a implementação e validação do modelo matemático usando o solver comercial CPLEX (IBM, 2012), usando parâmetros gerados com a criação de um gerador de valores aleatórios desenvolvidos na linguagem de programação C. Então, será realizada a análise e estudo para realização do levantamento das variáveis, conjuntos e parâmetros que alimentarão o modelo para apoio na tomada de decisão.

Um pátio, objeto de estudo desta tese será usada para validação e implementação da técnica de solução exata, a ser realizada uma análise quantitativa por meio da solução encontrada, esforço computacional para se obter a solução. Caso a técnica exata seja suficiente para apresentar uma solução em um tempo aceitável será desenvolvida uma interface de comunicação entre o usuário da indústria e a utilização da técnica exata. Assim será aplicada outras técnicas alternativas usando programação de heurísticas e meta-heurísticas, para avaliar a eficiência destas técnicas em comparação com a utilização do *Solver* Comercial.

O estado atual desta pesquisa contempla dois modelos matemáticos desenvolvidos, um de programação não linear inteira mista que visa minimizar o tempo de carregamento de navios submetido em julho de 2018 para um congresso internacional na área de aplicações industriais, aqui chamado de Modelo 1, e o segundo modelo matemático desenvolvido foi um modelo de programação linear inteira mista com o objetivo de maximizar a carga total transportada ou a quantidade de navios carregados a ainda ser submetido, chamado de Modelo 2.

De maneira geral, a Tabela 1 apresenta o tempo computacional para resolver os problemas de acordo com a quantidade de variáveis das instâncias aplicadas a cada um dos modelos.

Tabela 1: Esforço computacional para resolução dos modelos matemáticos submetidos

Instância	Modelo 1		Modelo 2	
	Variáveis	Tempo (s)	Variáveis	Tempo (s)
1	547	0,2	560	0,12
2	553	0,2	564	0,21
3	559	0,26	578	0,18
4	574	0,1	606	0,18
5	589	0,17	620	0,17
6	604	0,5	634	0,12
7	619 (*)	864,28	(**)	-

(*) A partir dessa instância a técnica exata não retornou uma solução

(**) A técnica foi capaz de propor solução para todas as instâncias propostas

Como os primeiros modelos matemáticos desenvolvidos foram capazes de propor soluções para instâncias simuladas, espera-se ao fim da tese avaliar diferentes estratégias na decisão a partir da resolução destes e de outros modelos matemático com o uso da técnica exata e, de outras técnicas de solução, para a implementação em um estudo de caso em uma indústria no setor.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPES/Vale pelo financiamento desta pesquisa no projeto nº 529/2016 do edital 1/2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ago, M. et al. (2007) Simultaneous optimization of storage allocation and routing problems for belt-conveyor transportation. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, v. 1, n. 2, p. 250-261.
- Almeida, F. A. e Pimentel, B. S (2010) Um modelo matemático para o problema de programação integrada de curto prazo em minas. *Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, SBPO*, Bento Gonçalves.
- Amorim Júnior, W. P. (2006) Sistema de alocação em pátios de estocagem: uma aplicação no armazenamento de bobinas de aço (dissertação). Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo.
- Bittencourt, S.V. e Matede, W.C. Uma abordagem acerca dos problemas de otimização referentes ao sistema de alocação em pátios de estocagem e às movimentações de bobinas de aço laminadas. *Simpósio Projeto e Análise de Algoritmos*, UFES, Vitória.
- Ignizio, J. P. (1978) A review of Goal Programming: a tool for multiobjective analysis. *Journal of the Operational Research Society*, v. 29, n. 11, p. 1109–1119.
- Kis, T. e Kovács, A. (2012) A cutting plane approach for integrated planning and scheduling. *Computers & Operations Research*, v. 39, n. 2, p. 320-327.
- Mateus, G. R. et al. (2010) Capacitated lot sizing and sequence dependent setup scheduling: an iterative approach for integration. *Journal of Scheduling*, v. 13, n. 3, p. 245-259.
- Meyr, H. e Mann, M. (2013) A decomposition approach for the general lotsizing and scheduling problem for parallel production lines. *European Journal of Operational Research*, v. 229, n. 3, p. 718-731.
- Menezes, G. C. et al. (2017) A branch and price algorithm to solve the integrated production planning and scheduling in bulk ports. *European Journal of Operational Research*, v. 258, n. 3, p. 926-937.
- Nóbrega, M. A. (1996) Modelagem matemática de um sistema de produção e transporte de minério de ferro (dissertação de mestrado). Campinas: Universidade estadual de Campinas.
- Pimentel, B. S. (2011) Modelos e Algoritmos para Planejamento Integrado da Indústria da Mineração (Tese de Doutorado). Belo Horizonte (MG-Brasil): Universidade Federal de Minas Gerais.
- Voudoris, C. (1997) Guided local search for combinatorial optimisation problems (Tese PhD). Colchester (UK): Department of Computer Science, University of Essex.

Marcos Wagner Jesus Servare Junior (marcoswjuniior@gmail.com)

Helder Roberto de Oliveira Rocha (helder.rocha@ufes.br)

José Leandro Felix Salles (jleandro@ele.ufes.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES