



ENCONTRO **ANTF** DE
FERROVIAS
— **EDIÇÃO DIGITAL** —

Modelos de simulação para o planejamento tático e estratégico em ferrovias de carga. Experiência Acadêmica.

Marta Monteiro da Costa Cruz





Apresentação

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1991), mestrado e doutorado em Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1997).

Professora Titular da Universidade Federal do Espírito Santo e coordenadora do Curso de Engenharia de Produção da UFES.

Em 2002, trabalhou na implantação da ANTT na Superintendência de Transporte de Cargas.

Possui projetos de pesquisa e consultoria em simulações de transportes ferroviário de cargas desde 1997.

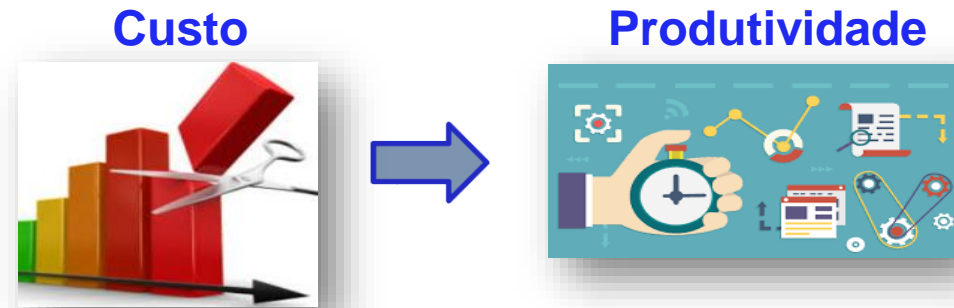


Sumário da Apresentação

- Conceitos Fundamentais
- Principais Softwares
- Aplicações em ferrovias
- Conclusões

Motivação:

- Diante do contexto de cenário mundial de incertezas relacionadas ao preço das commodities as ferrovias buscam em suas atividades a excelência operacional, mantendo sua produção em escala, mas com custos bem menores.



- É imprescindível revisar suas operações atuais e, sobretudo, seu planejamento futuro, entre eles a parte relacionada ao transporte ferroviário.

O que é simulação?

- ❖ É uma das técnicas de Pesquisa Operacional (PO) que através de um modelo lógico-matemático descreve um processo ou um sistema, incluindo parâmetros que permitem que o modelo seja ajustável de forma a representar diferentes configurações.
- ❖ É utilizada para analisar sistemas que são complexos demais para serem atacados via métodos analíticos, como cálculo, probabilidade e estatística ou teoria das filas.

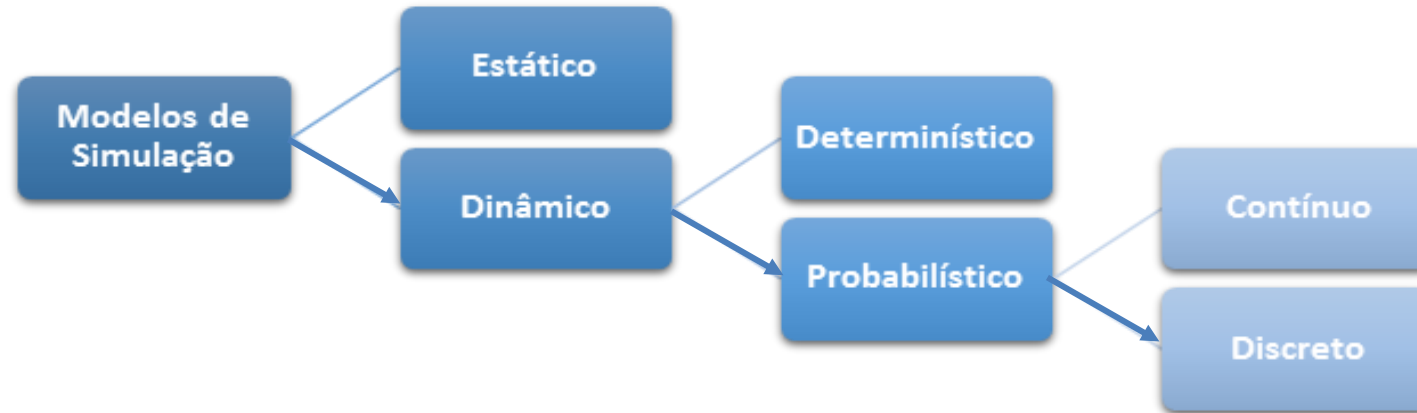
Principais aplicações:

- ✓ Análise de um novo sistema antes da sua implantação;
- ✓ Avaliação de um sistema já existente (problemas, gargalos e deficiências);
- ✓ Confrontar resultados;
- ✓ Medir eficiências.

GOLDSMAN (2007)



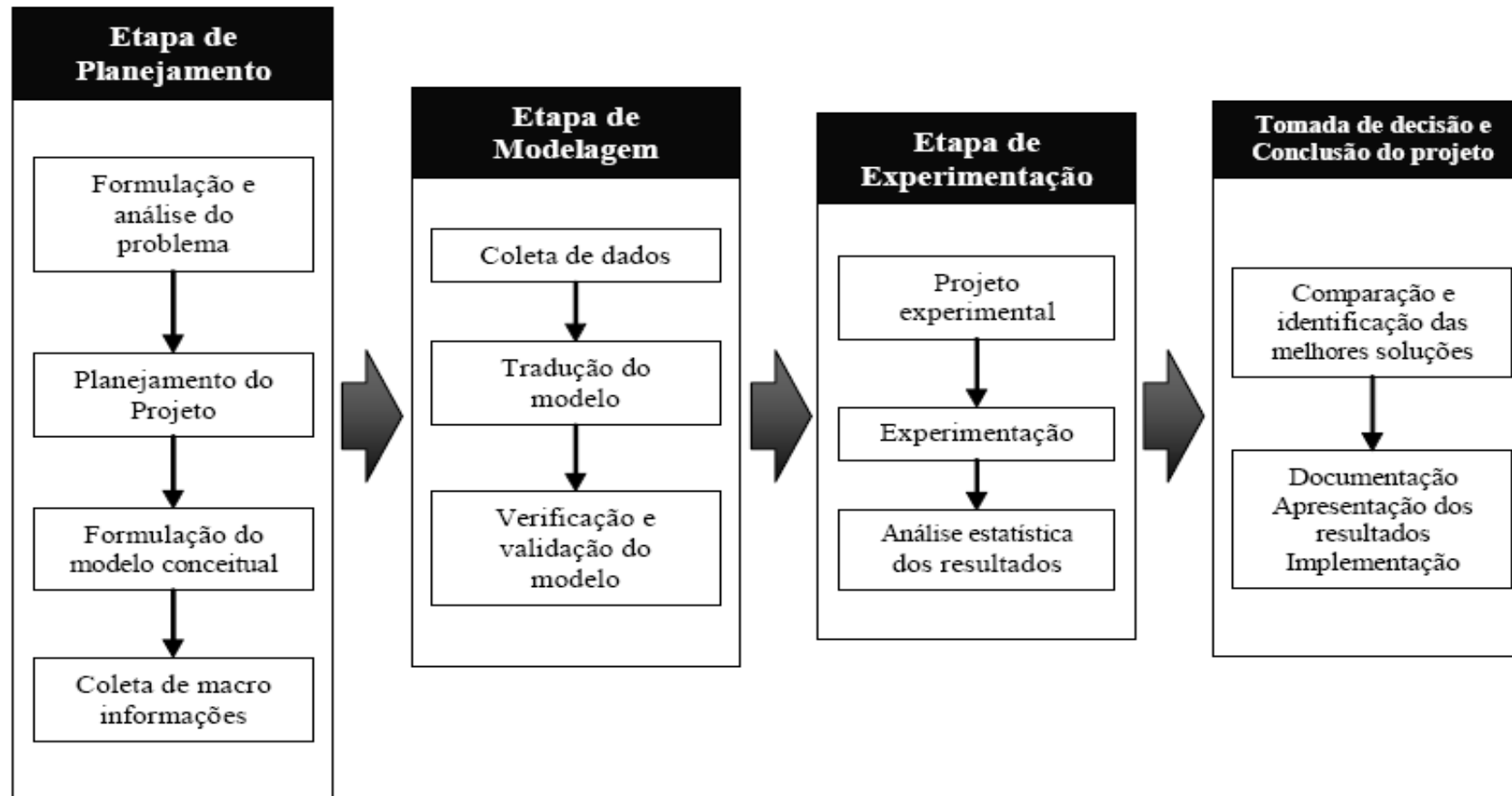
Classificação dos modelos de simulação



Elementos de um Modelo de Simulação

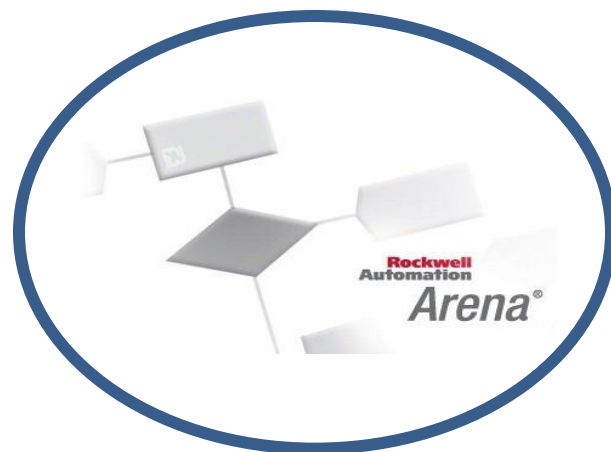


Metodologia Utilizada





Principais Softwares



SIMUL8



LINDO SYSTEMS INC.

What's
Best!
Lindo

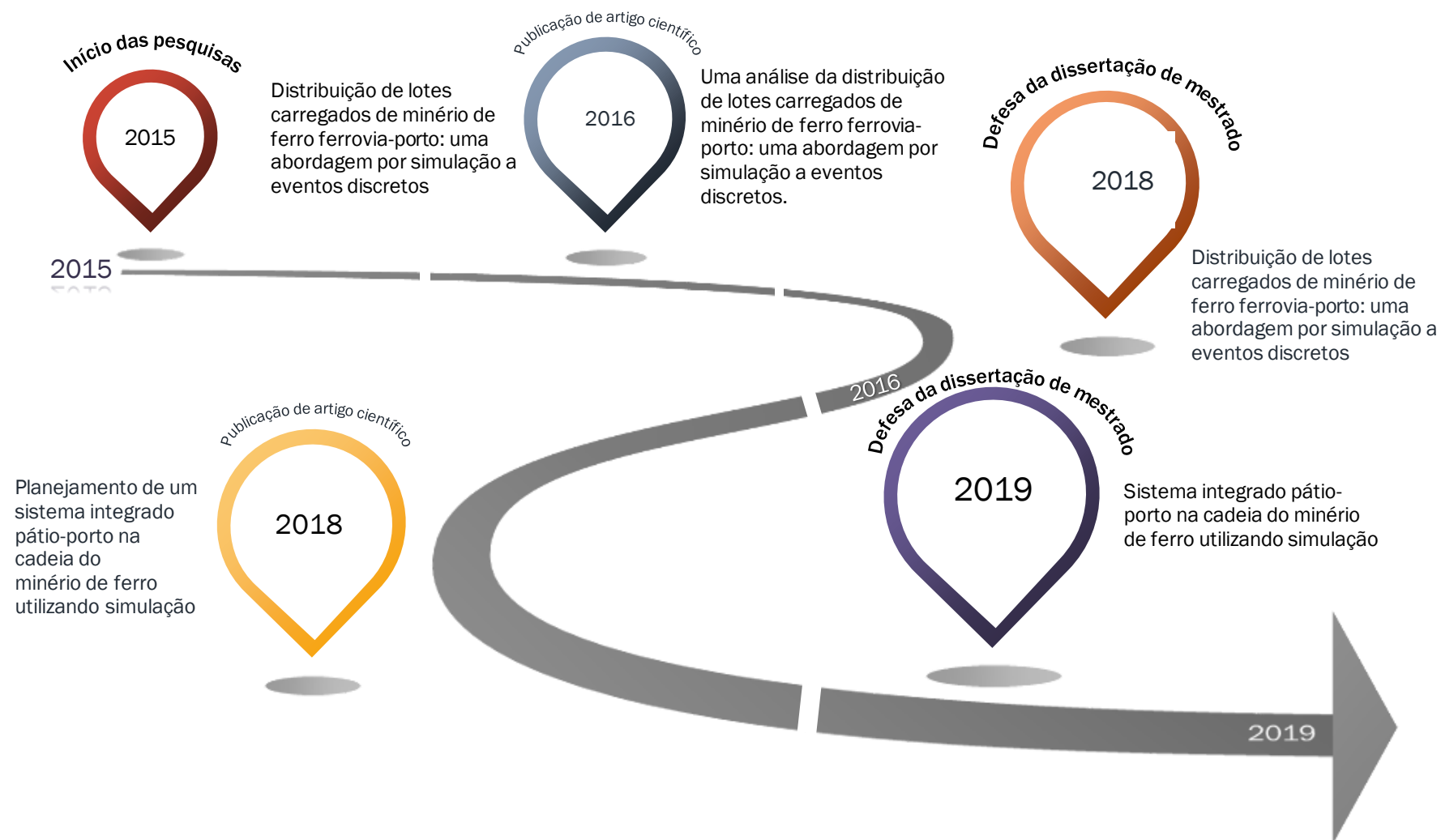
IBM ILOG CPLEX:
Optimization software
package



RailSys  ¹⁰

Referência	Título	Objetivo	Aplicação	Software
CARNEIRO (2008)	Simulação do Circuito de Minério do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM)	Avaliação de cenários por simulação em terminal ferroviário.	Pátio ferrov. (Brasil)	ARENA
MEIRELES (2010)	Modelagem e simulação da malha ferroviária em circuito fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas	Desenvolver um modelo de simulação dinâmica em circuito fechado para a cadeia logística do minério de ferro	Ferrovia (Brasil)	ARENA
MARINOV e VIEGAS (2011)	<i>A mesoscopic simulation modelling methodology for analyzing and evaluating freight train operations in a rail network</i>	Modelagem em simulação para estudar os processos operacionais de uma ferrovia.	Ferrovia (Portugal)	SIMUL8
MARINOV et. al. (2013)	<i>Railway operations, time-tabling and control</i>	Revisão sobre níveis de decisão e sistemas de apoio no controle de tráfego ferroviário.	Ferrovia (Europa)	RailSys, Open Track, ARENA e SIMUL8
WORONIUK e MARINOV (2013)	<i>Simulation modelling to analyse the current level of utilisation of sections along a rail route</i>	Avaliação dos níveis de utilização de corredores ferroviários por simulação.	Ferrovia (Espanha)	ARENA
DORDA e TEICHMANN (2013)	<i>Modelling of freight trains classification using queueing system subject to breakdowns</i>	Modelagem e simulação do processo de classificação de vagões	Pátio ferrov. (Rep. Tcheca)	CPN Tools
FARIA e CRUZ (2015)	<i>Simulation modelling of Vitória-Minas closed-loop rail network</i>	Simulação do circuito fechado de uma rede logística de minério de ferro.	Ferrovia (Brasil)	ARENA

Aplicações em ferrovias



Estudo de Caso 1:

- DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Rowena Maria Teixeira Vieira, 2018
- Distribuição de lotes carregados de minério de ferro ferrovia-porto: uma abordagem por simulação a eventos discretos
 - ❖ Local: EFVM e Porto de Tubarão.
 - ❖ Transporte de aproximadamente 12 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (ANTT, 2015).
 - ❖ A EFVM possui 905 km de extensão e corta os estados de MG e ES.





Estudo de Caso 1: Contextualização do Problema

- ❖ 11 pontos de carregamento de minério de ferro.
- ❖ Carregamento por pá mecânica ou por silo.
- ❖ Vagões do tipo GDE.
- ❖ Trens formados por lotes de 84 vagões GDE ou múltiplos (trem tipo: 168 e 252 vagões).

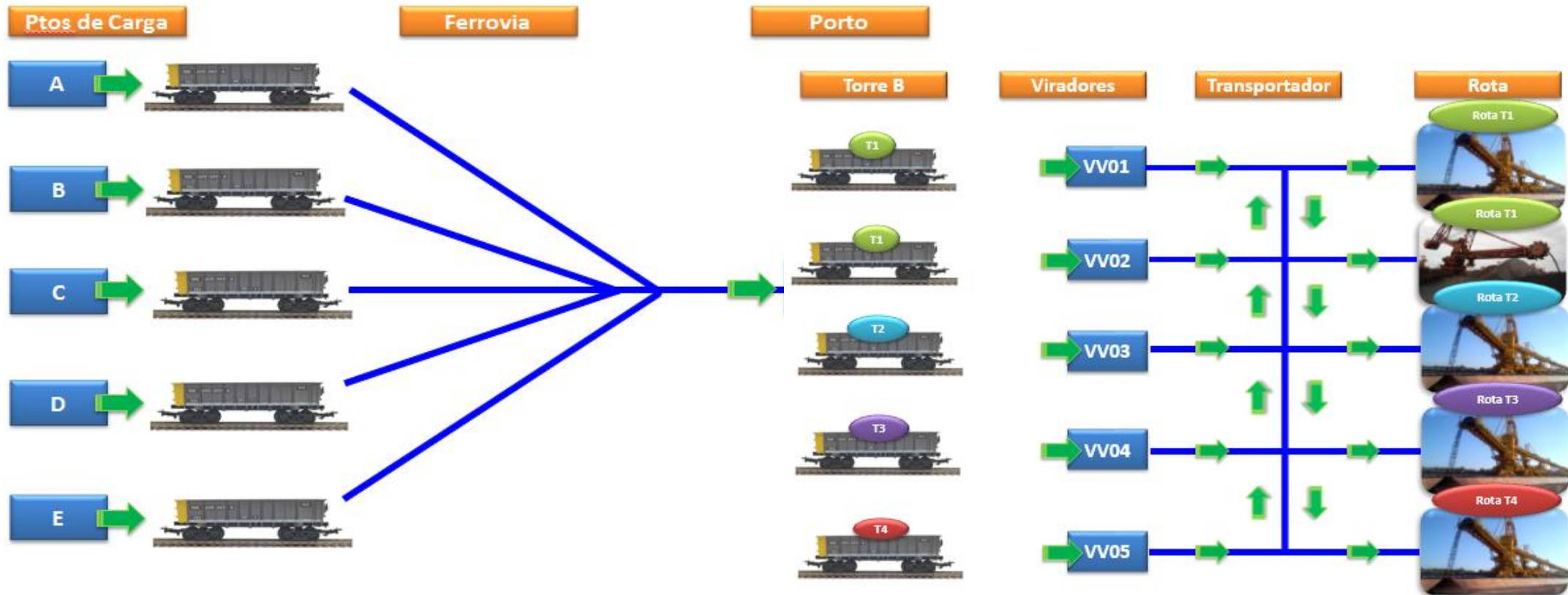


Fonte: O próprio autor



Fonte: VALE (2018)

Estudo de Caso 1: Contextualização do Problema

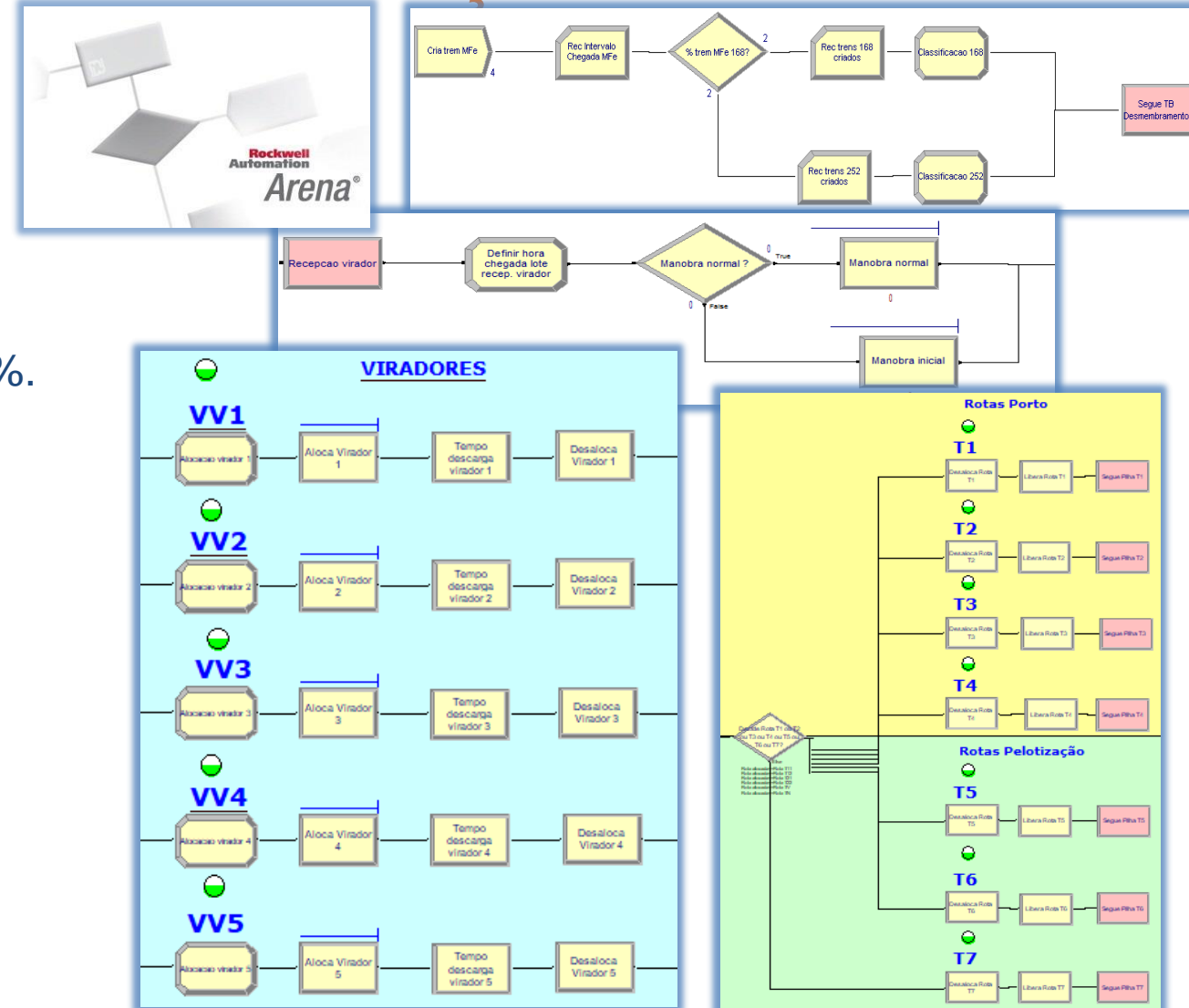


Fonte: VIEIRA e CRUZ (2016)

Estudo de Caso 1: Modelo de Simulação

❖ Ferramentas e Parâmetros de Simulação:

- ✓ Software ARENA 14.0, versão completa.
- ✓ 20 replicações e intervalo de confiança de 95%.
- ✓ Tempo de *warm up*: 1 dia.
- ✓ Tempo de simulação efetiva: 30 dias.
- ✓ Tempo da rodada de simulação: 3 minutos.



Estudo de Caso 1: Resultados

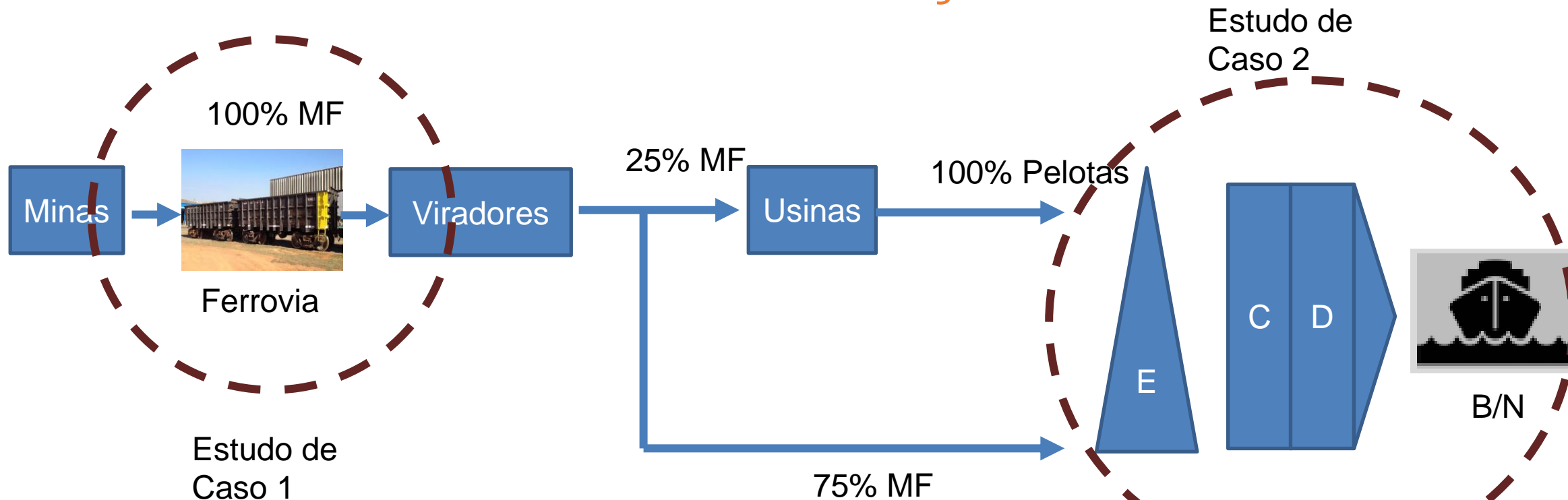
Variáveis	Cenário 1 (50% de 252)	Cenário 2 (65% de 252)	Cenário 3 (80% de 252)
Tempo médio entre chegadas de trens (min)	68,7	69,3	69,1
Nº de trens por dia	21,0	20,8	20,9
Tempo em fila para manobra Normal (min)	30,3	35,5	41,3
Tempo em fila para manobra Inicial (min)	26,8	31,8	36,1
Tempo em fila para Rota T1 (min)	115,2	121,2	125,5
Tempo em fila para Rota T2 (min)	194,4	192,6	202,2
Tempo em fila para Rota T3 (min)	140,4	128,4	124,9
Tempo em fila para Rota T4 (min)	167,9	159,6	151,4
Tempo em fila para Rota T5 (min)	133,2	138,6	127,7
Tempo em fila para Rota T6 (min)	137,9	117,0	124,8
Tempo em fila para Rota T7 (min)	213,6	228,6	262,5
Nº lotes por dia descarregados Rota T1	12,9	12,5	11,6
Nº lotes por dia descarregados Rota T2	5,3	5,7	6,0
Nº lotes por dia descarregados Rota T3	5,7	5,8	6,2
Nº lotes por dia descarregados Rota T4	6,0	6,2	6,7
Nº lotes por dia descarregados Rota T5	4,6	4,7	5,0
Nº lotes por dia descarregados Rota T6	6,4	6,7	7,3
Nº lotes por dia descarregados Rota T7	3,7	3,9	3,9
Nº total lotes por dia descarregados	44,6	45,5	46,8

**5,5
Mton**

**US\$
385M**

↑ 4,9 %

Estudo de Caso 2: Contextualização do Problema

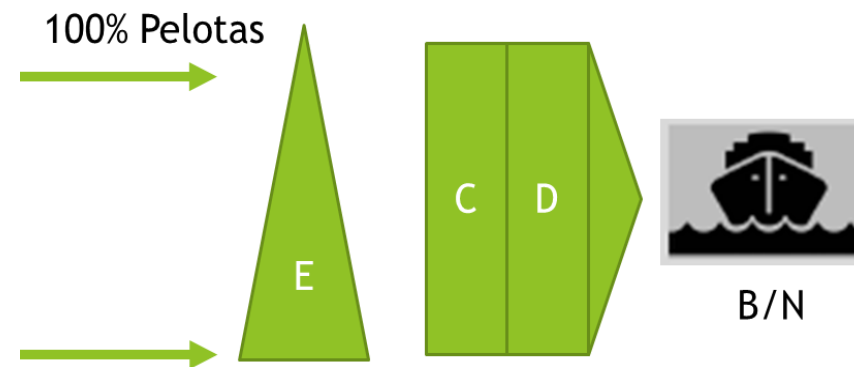


D: Demanda (Demanda dos navios)

B/N: Berço/Navio (3 berços e 3 tipos de navios)

Estudo de Caso 2: Contextualização do Problema

- Cenários analisados:
- Variação dos tipos de navios para embarque
- Resultados encontrados:
- Capacidade dos pátios, filas de navios e rotas

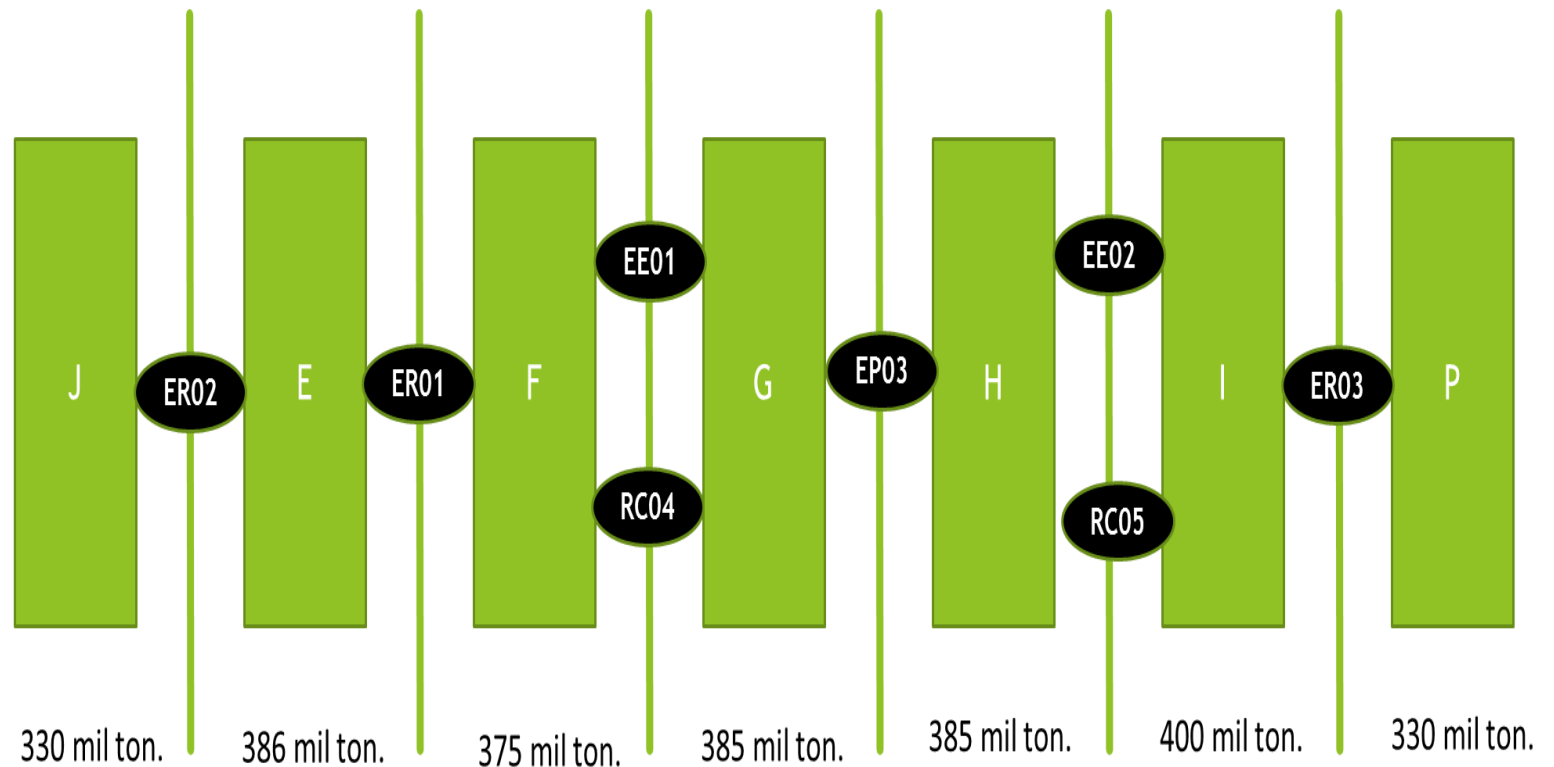
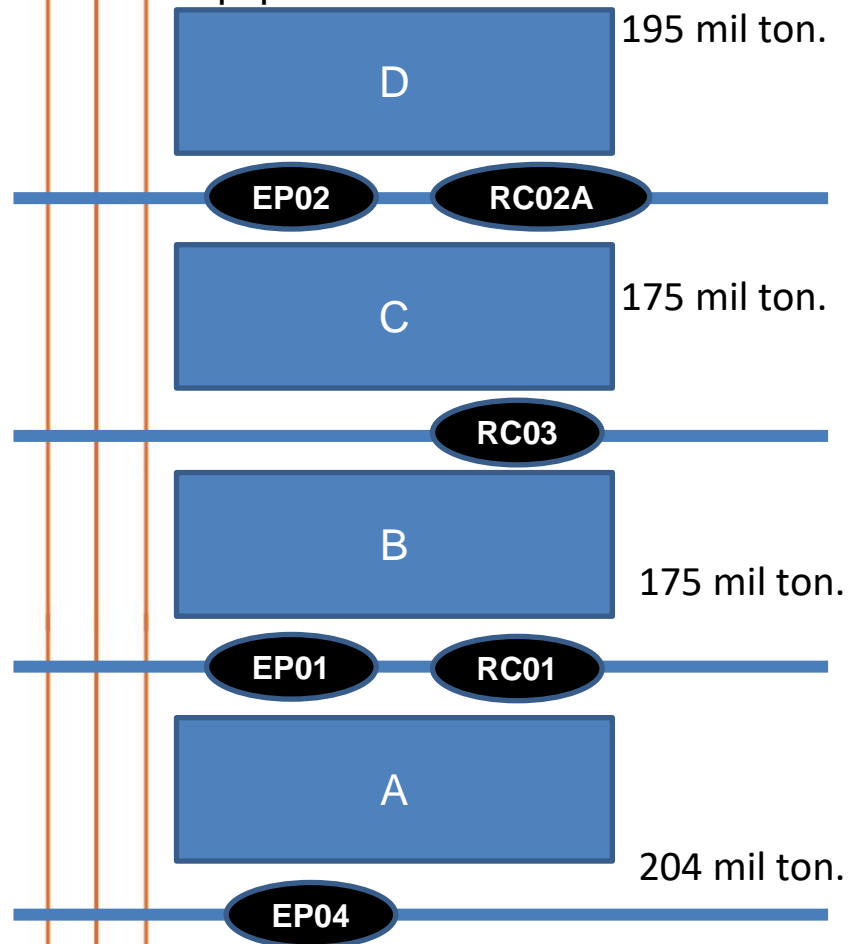


Necessidade de detalhar todos os pátios, equipamentos e navios

Detalhamento dos pátios

Pátios e equipamentos da área nova

Pátios e equipamentos da área velha



Legenda:

EP: Empilhadeira

RC: Recuperadora



Caso 2: Detalhamento dos Tipos de navios

Navio tipo Valemax
Chegando a
390.000 mil t



Navio tipo Capesize
Chegando a
180.000 mil t

Navio tipo Panamax
Chegando a
90.000 mil t

Caso 2: Resultados Encontrados

Figura do estoque acumulado dos pátios



Figura do empilhamento acumulado dos pátios

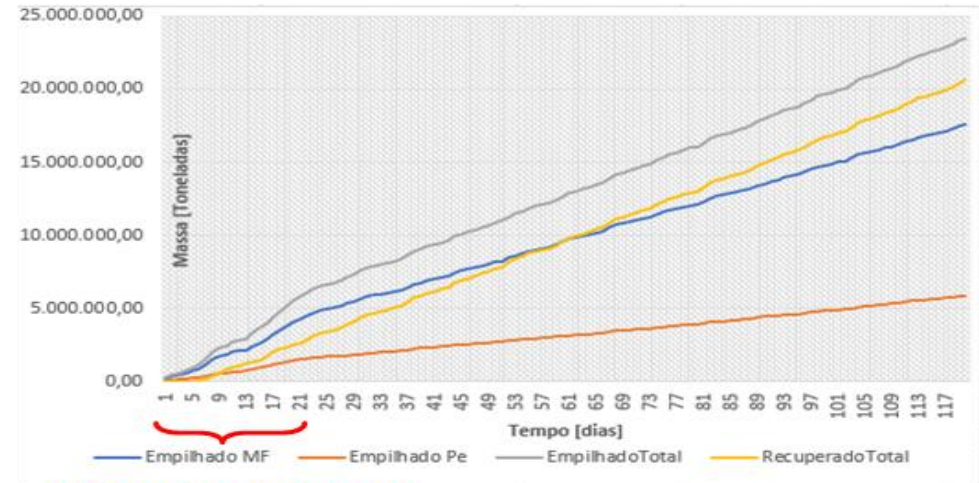
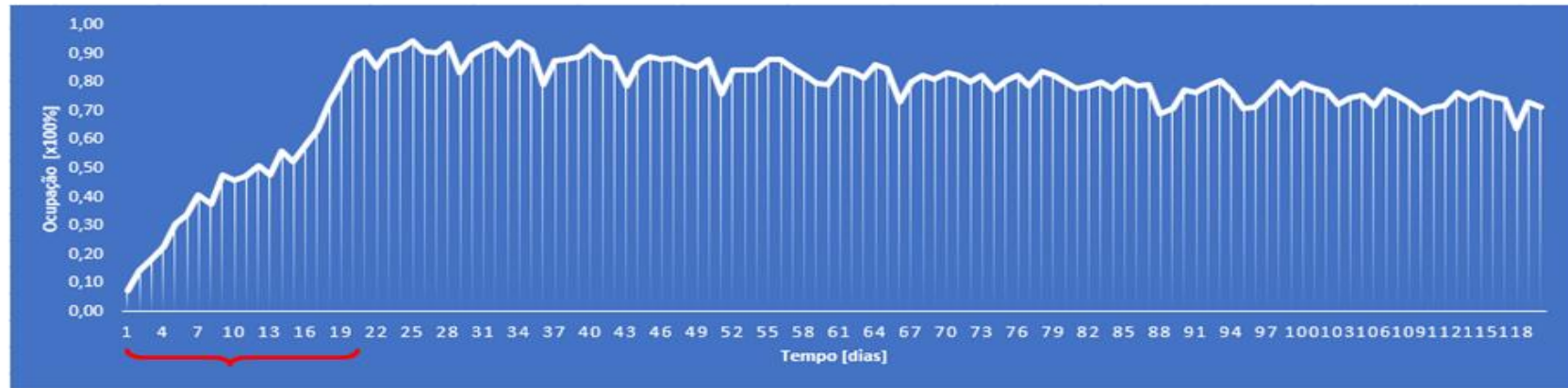


Figura da ocupação acumulada dos pátios





Considerações Finais

- A simulação pode trazer grandes benefícios para o planejamento tático e operacional, guiando as equipes nas decisões que devem ser tomadas no médio e curto prazo dentro da empresa.
- A análise de cenário por simulação se adapta as necessidades de entendimento do problema para chegar a alternativas mais específicas aos casos em estudo.
- As simulações possibilitam uma análise de como o sistema se comporta em situações de parada de equipamentos e qual o impacto que tiveram na quantidade de carga transportada, no giro de estoque e também nos tempos de fila de vagões e em transporte intermodal, nos berços e quantidade de navios em filas para atracar.



Novas Pesquisas

- Implementação de otimizadores associados aos modelos de simulação de forma a permitir a busca de resultados ótimos além da análise de cenários.
- Uso de micro-simulação para incluir tempos mais detalhados de frenagem, abertura de portas sinalização, etc.

Referências

- AHUJA, R. K.; CUNHA, C. B.; SAHIN, G. **Network Models in Railroad Planning and Scheduling**. *INFORMS Tutorials in Operations Research*, p. 54-101, 2014.
- ANDRADE, E. L. **Introdução a Pesquisa Operacional**. 3. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Página acessada em 28 de novembro de 2015. <http://www.antt.gov.br/>
- ASSAD, A. A. **Models for rail transportation**. *Transportation Research Part A*, v. 14 A, p. 205-220, 1979.
- BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L. **Discrete-event system simulation**. 4. ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BARROS, A. L. M.; **Modelo de otimização para distribuição horária de lotes de vagões ferroviários GDE para carregamento de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Transportes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- CACCHIANI, V.; CAPRARA, A.; TOTH, P. **Scheduling extra freight trains on railway networks**. *Transportation Research Part B*, v. 44, p. 215-231, 2010.
- CAMARGO, P. V.; CUNHA, C. B. **Um modelo híbrido simulação-otimização para análise de capacidade de um sistema de transporte ferroviário de granéis agrícolas em ciclo fechado**. *Journal of Transport Literature*, v. 6, n. 2, p. 33-65, 2012.
- CAMPOS, V. B. G. **Planejamento de transportes: conceitos e modelos**. 1. ed., Brochura, 2013.
- CAMPOS, L. B. **Modelo de otimização para o planejamento da rede de serviços no transporte ferroviário de cargas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Transportes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- CAMPOS, L. B.; CRUZ, M. M. C.; POMPERMAYER, F. M. **Modelo integrado de apoio ao planejamento da rede de serviços no transporte ferroviário de cargas: aplicação para transporte de minério de ferro**. *TRANSPORTES*, v. 18, n. 2, p. 62-71, 2010.
- CARNEIRO, F. M. **Simulação do Circuito de Minério do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM)**. Monografia – Especialização em Transporte Ferroviário de Carga, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.
- CARSON II, J. S. **Introduction to modeling and simulation**. *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, Washington, p 9-16, 2004.
- CRANIC, T. G.; LAPORTE, G. **Planning models for freight transportation**. *European Journal of Operational Research*, v. 97, p. 409-438, 1997.
- DORDA, M; TEICHMANN, D. **Modelling os freight trains classification using queueing system subject to breakdowns**. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2013, p. 1-11, 2013.
- FARIA, C. H. F.; CRUZ, M. M. C. **Simulation modelling of Vitória-Minas closed-loop rail network**. *Transport Problems*, v. 10, p. 126-139, 2015.
- FARIA, C. H. F. **Análise do planejamento ferroviário: uma abordagem utilizando simulação de eventos discretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Transportes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.
- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- GAMS. Página acessada em 01 de Dezembro de 2015. <https://www.gams.com/>

Referências

- GOLDSMAN, D. *Introduction to simulation. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, Washington*, p. 26-37, 2007.
- GOOGLE MAPS. Página acessada em 14 de Março de 2018. <https://www.google.com.br/maps/>
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução à pesquisa operacional*. 9. ed. Porto Alegre, 2013.
- IBM. Página acessada em 01 de Dezembro de 2015. <https://www.ibm.com/>
- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Página acessada em 02 de Fevereiro de 2018. <http://www.ibram.org.br/>
- INDEX MUNDI. Página acessada em 02 de Fevereiro de 2018. <http://www.indexmundi.com/pt/>
- KAWAMOTO, E. *Análise de sistemas de transporte*. 2. ed., São Paulo, 2002.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. *Simulation with Arena*. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation, modeling and analysis*. 2. ed., McGraw Hill, 1991.
- LINDO Systems Inc. Página acessada em 01 de Dezembro de 2015. <https://www.lindo.com/>
- LOPES, H. S. *Modelagem e simulação como ferramentas ao diagnóstico operacional de sistemas: estudo aplicado ao transporte de minério de ferro na hidrovia do araguaia-tocantins*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- LOPES, H. S.; FERREIRA, R. C.; LIMA, R. S. *Logística da soja brasileira para exportação: modelo de otimização orientado para minimização de custos logísticos*. XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, Ouro Preto, p. 1003-1014, 2015.
- MARINOV, M.; DI GIOVANI, L.; BELLISAI, G.; CLEVERMANN, J.; MASTELLOU, A.; VICTÓRIA, D.; DELEVA, L. *Analysis of rail yard and terminal performances*. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 8, n.2, p.178-200, 2014.
- MARINOV, M.; MORTIMER, P.; ZUNDER, T.; ISLAM, D. M. Z. *A steady state analysis for yard performances*. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 5, n.1, p.33-49, 2011a.
- MARINOV, M.; MORTIMER, P.; ZUNDER, T.; ISLAM, D. M. Z. *Short haul rail freight services*. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 5, n.4, p.136-153, 2011b.
- MARINOV, M.; SAHIN, I.; RICCI, S.; VASIC-FRANKLIN, G. *Railway operations, time-tabling and control*. *Research in Transportation Economics*, v. 41, p. 59-75, 2013.
- MARINOV, M.; VIEGAS, J. *A simulation modelling methodology for evaluating flat-shunted yard operations*. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 17 n. 6, p. 1106-1129, 2009.
- MARINOV, M.; VIEGAS, J. *A mesoscopic simulation modelling methodology for analyzing and evaluating freight train operations in a rail network*. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 19, p. 516-539, 2011.

Referências

- MEIRELES, R. P. L. *Modelagem e simulação da malha ferroviária em circuito fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Transportes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- NGUYEN, P. K.; CRANIC, G. T.; TOULOUSE, M. *A tabu search for Time-dependent Multi-zone Multi-trip Vehicle Routing Problem with Time Windows*. *European Journal of Operational Research*, v. 231 p. 43–56, 2013.
- PEREIRA, A. *Teoria Geral de Sistemas*. Curso do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003
- RAGSDALE, C. T. *Modelagem e análise de decisão*. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- RODRIGUES, A. D.; CRUZ, M. M. C. *A generic decision model of refueling policies: a case study of a Brazilian motor carrier*. *Journal of Transport Literature*, v.. 7, n. 4, p. 8-22, 2013.
- SILVA, H. L. F.; CRUZ, M. M. C. C. *Uma revisão de literatura sobre problemas de reabastecimento de veículos transportadores de cargas*. XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, Curitiba, 2014.
- VALE. Página acessada em 14 de Março de 2018. <http://www.vale.com/brasil/>
- VIDAL, T.; CRANIC, T. G.; GENDREAU, M.; PRINS, C. *A unified solution framework for multi-attribute vehicle routing problems*. *European Journal of Operational Research*, v. 234, p. 658-673, 2014.
- VIEIRA, R. M. T.; CRUZ, M. M. C. *Uma análise da distribuição de lotes carregados de minério de ferro ferrovia-porto: uma abordagem por simulação a eventos discretos*. XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p. 1661-1672, Vitória, 2016.
- YEUNG, H. K.; MARINOV, M. *A state of the art on railway simulation modelling software and its application to designing baggage transfer service*. *RailExchange conference 2017*, 005, v. 1, Newcastle, 2017.
- WORONIUK, c.; MARINOV, M. *Simulation modelling to analyse the current level of utilisation of sections along a rail route*. *Journal of Transport Literature*, v. 7, n. 2, p. 235-252, 2013.

Obrigada !

Realização



Apoio editorial



Organização

