



USO DA SIMULAÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE CAMINHÕES DE UMA TRANSPORTADORA

Lucas Sant'anna Purri Miranda

Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil. CEP: 31270-901
santannafb@gmail.com

João Flávio de Freitas Almeida

Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil. CEP: 31270-901
joao.flavio@dep.ufmg.br

Samuel Vieira Conceição

Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil. CEP: 31270-901
svieira@dep.ufmg.br

Luiz Ricardo Pinto

Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil. CEP: 31270-901
luiz@dep.ufmg.br

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo de caso do uso de simulação para dimensionar a frota de caminhões de uma transportadora de Pedro Leopoldo, Minas Gerais, que após firmar o contrato de prestação de serviço a uma grande empresa cimenteira, percebeu a complexidade da operação e a necessidade de dimensionar as capacidades de transporte o mais próximo da realidade, a fim de evitar riscos de não atender a demanda. O modelo de simulação por eventos discretos foi desenvolvido após intensa coleta e tratamento de dados e implementado no *software* ArenaTM. Por meio da análise, verificou-se a possibilidade de redução de 24 caminhões, inicialmente alocados na operação, para apenas 18 caminhões mantendo o nível de serviço em 99%. Tal estratégia resultou na redução de 25% da frota e um aumento projetado de 57% no resultado financeiro da empresa durante a vigência do contrato de 3 anos.

PALAVRAS CHAVE. Simulação, Dimensionamento de Frota, Análise Financeira.

Tópicos: SIM, IND, GF.

ABSTRACT

This paper presents a case study using simulation to size the fleet of trucks of a carrier of Pedro Leopoldo, Minas Gerais. After signing a contract with a large cement company, they realized the complexity of the operation and the need to scale transport capacities as close to reality as possible, in order to avoid risks of not meeting demand. The discrete event simulation model was developed after data analysis. It was implemented in ArenaTM. Analysis demonstrated that it was possible to reduce from 24 trucks, initially allocated to the operation, to only 18 trucks, maintaining the level of service on 99%. This strategy resulted in a reduction of 25% in the fleet and a projected increase of 57% in the company's financial result over the term of the 3-year contract.

KEYWORDS. Simulation, Fleet Sizing, Financial Analysis.

Paper topics : SIM, IND, GF.



1. Introdução

O serviço de transporte de carga no sistema rodoviário brasileiro é realizado predominantemente por caminhões. Embora este serviço seja de grande importância para a economia do país, muitas vezes ele ocorre de maneira desorganizada, ou seja, sem qualquer planejamento e gestão da frota, fator este que motiva pesquisas nesse campo.

A relevância desse serviço associada a sua expansão sugere o uso de métodos computacionais robustos para determinar seu dimensionamento. Entretanto em vários casos é difícil encontrar o número de veículos ótimo para uma frota, uma vez que o sistema é complexo, dinâmico, e envolve variáveis aleatórias [Lesyna, 1999]. O que se observa é o uso de cálculos simplificados, realizados por meio de planilhas eletrônicas, que não consideram qualquer variabilidade da operação. Esse tipo de abordagem traz uma solução aproximada, que pode, na maioria das vezes, superestimar a capacidade necessária de veículos na operação total dos contratos, possivelmente gerando custos desnecessários à empresa. O investimento inicial da operação envolve custos de aquisição e aluguel dos equipamentos e pneus. Esses custos são significativos para determinar a lucratividade da operação. Um dos indicadores adotados é o *payback* dos investimentos realizados.

Este estudo foi motivado pela necessidade de uma prestadora de serviços logísticos em dimensionar a frota de veículos após firmar o contrato de prestação de serviço de transporte de uma grande empresa cimenteira. A cimenteira possui uma fábrica em Minas Gerais e quatro Centros de Distribuição em outros estados. Em função da complexidade da operação e da baixa disponibilidade de caminhões para aluguel, há a necessidade de dimensionar as capacidades de transporte o mais próximo da realidade a fim de evitar riscos de não atender a demanda.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de simulação por eventos discretos associado a uma análise de viabilidade econômica para auxiliar o dimensionamento do transporte de carga uma transportadora localizada na cidade de Pedro Leopoldo, Minas Gerais. Pretende-se, com esse estudo, contribuir com o conhecimento sobre o dimensionamento do transporte de carga baseado na análise de viabilidade econômica e métodos computacionais robustos, o que é complexo e escasso na literatura.

O trabalho está estruturado em três partes. A primeira descreve os principais estudos sobre sistemas logísticos de transportes e o uso de simulação por eventos discretos para esse tipo de operação. Posteriormente, é apresentada a metodologia usada no estudo. Por fim, são analisados os resultados e apresentadas as considerações finais.

2. Revisão de literatura

Sistemas logísticos modernos vão além de uma simples rede de fluxo de materiais. As operações envolvidas na cadeia de suprimentos levantam questões em relação à sustentabilidade do processo, a viabilidade econômica, custos de energia e outras [Thiers e McGinnis, 2011]. Apesar da influência que o sistema de transporte tem sobre o consumo de energia e o meio ambiente, o transporte rodoviário é feito principalmente por caminhões de grande capacidade e sem qualquer planejamento [Johansson, 2016]. Empresas têm conferido a terceiros a função do transporte de seus produtos entre facilidades, quanto esses apresentam *know-how* no gerenciamento da frota e do risco das operações [Choi et al., 2016], [Giri e Sarker, 2017].

O uso de simulação na modelagem e representação de sistemas logísticos é vantajoso, uma vez que, além de considerar diversos elos da cadeia simultaneamente, a abordagem é capaz de fornecer informações de desempenho do sistema com alto nível de precisão, orientando investimentos futuros [Thiers e McGinnis, 2011], [Fioroni et al., 2015]. Assim, ao avaliar custos e o desempenho de uma rede de serviços, tomadores de decisão passam a ter informações importantes sobre as melhorias nas operações que trazem mais resultado [McLean e Biles, 2008]. Tanto os pequenos como os grandes proprietários de frotas podem se beneficiar da modelagem computacional do problema estratégico de dimensionamento, planejamento e gestão de sua frota logística [Johansson, 2016], [Ertogral et al., 2017].



Estratégias de coordenação e cooperação baseadas em tecnologia de informação fortalecem provedores de serviços logísticos terceirizados e podem influenciar a demanda em função do nível de serviço ofertado [He et al., 2013]. Dentre os sistemas de tecnologia de informação, destacamos a simulação. A simulação é um método de análise onde computadores são utilizados para avaliar um modelo numérico de modo a estimar as características desejadas do modelo real [Law et al., 1991]. Diversos fatores justificam seu uso. Entre esses está a rápida prototipagem e desenvolvimento do modelo, o alto grau de reutilização deste e o formato orientado para bancos de dados. Além disso, é possível utilizar modelos de operações de sistemas customizados para casos similares [Saylor e Dailey, 2010]. Como o algoritmo evolui com o tempo, o uso de modelos de simulação pode prever os impactos de potenciais mudanças e colaborar com o desenvolvimento de novos sistemas logísticos. A modelagem por simulação é, portanto, uma poderosa ferramenta para previsão do funcionamento de operações sob diferentes circunstâncias [Banks et al., 2005].

Problemas operacionais complexos são difíceis de serem modelados e resolvidos analiticamente. Esse fato, por si só, justifica o uso de modelos computacionais de simulação para avaliação de recursos e análise problemas logísticos. No entanto, não se pode deixar de se considerar a limitação ainda existente entre engenheiros, quanto ao uso de ferramentas e tecnologia de modelagem e simulação computacional [Schunk e Plott, 2000].

Um dos desafios encontrados no desenvolvimento de modelos de simulação representativos é a entrada e tratamento e análise dos dados. A precisão dos resultados de um modelo depende dos *inputs* utilizados, que nem sempre estão facilmente disponíveis [Rabe e Scheidler, 2014]. Dessa forma, o processo de coleta e tratamento de dados ganha destaque, principalmente porque esses devem ser representados por distribuições estáticas.

Os modelos de simulação têm sido desenvolvidos para avaliar decisões mais operacionais que estratégicas. No entanto, um modelo de simulação capaz de avaliar questões estratégicas é visto com grande valia para um sistema de distribuição física [Bookbinder, 1984]. Os modelos devem considerar as regulamentações de limite de horas de serviço que regem as operações dos condutores de veículos comerciais. Entender essas restrições é essencial para orientar as estratégias da empresa, minimizar riscos e fornecer uma base para ações proativas em seus serviços [Young, 2013].

3. Metodologia

Trata-se da modelagem de simulação por eventos discretos para avaliar o dimensionamento da frota de caminhões de uma transportadora de carga situada na cidade de Pedro Leopoldo, Minas Gerais. O estudo consiste em desenvolver um modelo conceitual por meio do Diagrama do Ciclo de Atividades (DCA), realizar a coleta, tratamento e modelagem dos dados de entrada; elaborar um modelo computacional de simulação por eventos discretos para realizar as análises dos resultados.

3.1. Modelagem do sistema

O fluxo de operações do sistema tem início na fábrica do cliente, localizada em Barroso, MG, como representado no Diagrama de Ciclo de Atividades (DCA) na Figura 1.

A primeira atividade realizada é o carregamento dos caminhões, que acontece com o apoio de duas empilhadeiras disponíveis na fábrica. Os tempos de carga e descarga dos caminhões foram levantados a partir de outras operações dentro da empresa que possuem características semelhantes. Em seguida, a próxima atividade é definição do destino do caminhão carregado, que varia de acordo com as demandas pré-estabelecidas de cada destino. Os destinos do cliente, que são centros de distribuições (CD's) da cimenteira, são: Santo André, SP, Marechal Hermes, RJ, Rio de Janeiro, RJ e São Gonçalo, RJ. Cada destino possui um tempo de deslocamento diferente. Os tempos de deslocamento são determinados a partir da distância e velocidade média de aproximadamente 50km/h em um caminhão carregado, e 55km/h em um caminhão descarregado. Assim que os caminhões chegam aos seus destinos é realizada a descarga do material transportado com o apoio

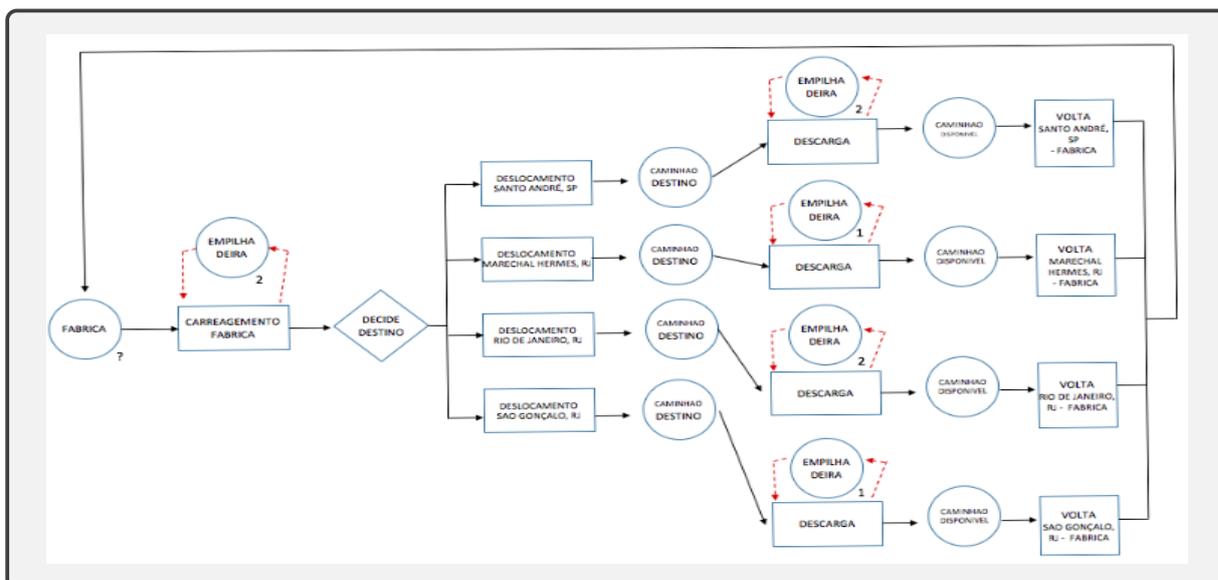


Figura 1: Diagrama de Ciclo de Atividades do sistema de transportes observado.

de uma empilhadeira. Os centros de distribuições de Santo André e do Rio de Janeiro possuem duas empilhadeiras disponíveis, e os CD's de Marechal Hermes e São Gonçalo possuem apenas uma empilhadeira para dar suporte à descarga. Finalizada a descarga, os caminhões voltam para a fábrica de Barroso.

Um caminhão inicia o processo novamente quando retorna à fábrica, e é carregado caso exista demanda em algum dos destinos, material na fábrica e uma empilhadeira. A estruturação do DCA (Figura 1) foi realizada a partir de um cenário dentro da empresa com a função de visualizar o processo e proporcionar a compreensão dos recursos envolvidos.

3.2. Amostragem, tratamento e análise dos dados

Os dados de tempo de carregamento, manutenção preventiva, manutenção de pneus e descarga dos caminhões, presentes na Tabela 1, foram coletados por meio da combinação de amostras de 50 registros, feito em cronoanálises e entrevistas com operadores e responsáveis pela operação.

Atividade	Tempo (horas)
Tempo de carregamento	$\sim N(2.15, 0.301)$
Tempo de manutenção preventiva	$\sim \text{Tri}(18,24,30)$
Tempo de manutenção de pneus	$\sim \text{Tri}(1,1.5,2)$
Tempo de descarga	$\sim \text{Tri}(1.8,2,2.1)$

Tabela 1: Distribuições de probabilidade representam os tempo de operação.

Os dados de tempo de carregamento na fábrica são estatisticamente confiáveis e foram representados pelo gráfico de Box-plot para remoção dos *outliers*. Em seguida, esses dados foram inseridos no *Input Analyzer* para a construção da distribuição de probabilidade correspondente. A Figura 2 ilustra a curva de probabilidade relacionada ao histograma dos dados.

Em relação aos tempos de deslocamentos dos caminhões entre a fábrica e os centros de distribuição, foram considerados as velocidades médias históricas da empresa.

3.3. Modelagem computacional

O modelo computacional é apresentado na Figura 3 e foi desenvolvido usando o software comercial de simulação ArenaTM, em um microcomputador com dois processadores IntelTMCore i7TM3,1GHz com 8GB de memória RAM e sistema operacional WindowsTM10. O modelo foi

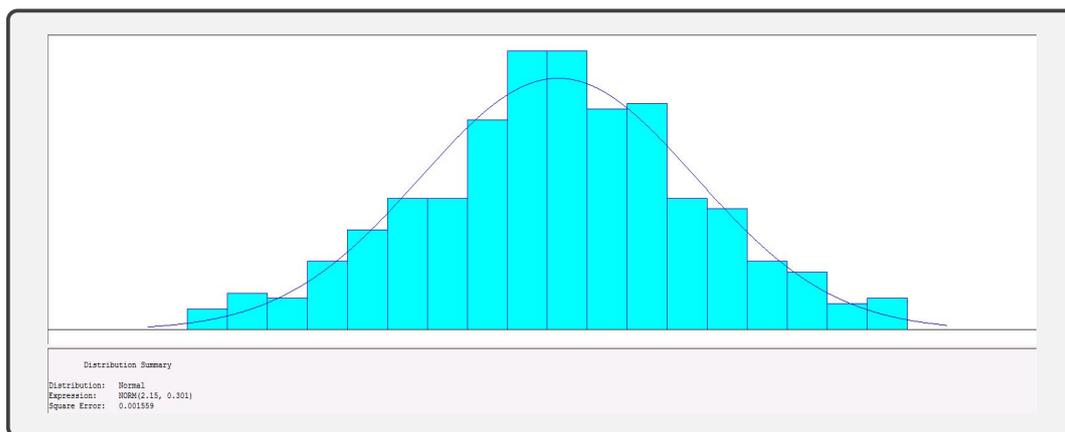


Figura 2: Ajuste dos dados de tempo de carregamento à curva de probabilidade.

construído para simular a operação de caminhões em um fluxo de atividades para o transporte de cimento. Os caminhões são entidades do modelo, enquanto que os motoristas são tratados como recursos.

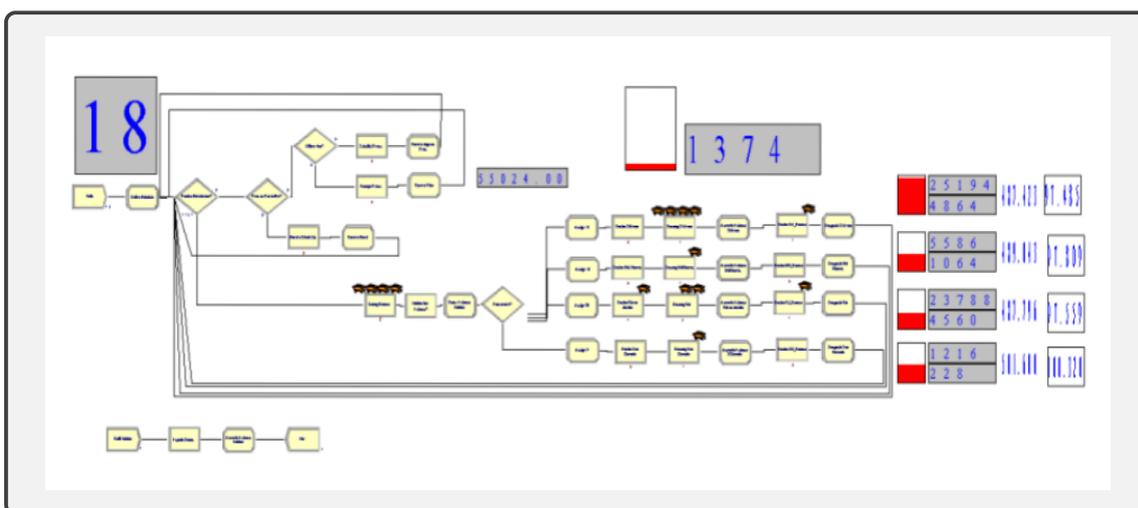


Figura 3: Modelo computacional de simulação de dimensionamento de frota.

Para a realização dos testes foi feito um recorte da operação no intuito de determinar o foco da empresa para se buscar uma solução. Os períodos de descanso dos motoristas e os tempos de manutenções aumentam a complexidade do modelo. O Anexo 1 ilustra como ocorre o fluxo de operações. Esta é uma simulação de um regime transiente, já que é necessário analisar a evolução do sistema desde o início das operações até a sua conclusão. Em um regime transiente de simulação, não existe uma constância no desempenho das variáveis do sistema.

No modelo estudado é possível identificar o início das atividades. Cada replicação considera três anos de vigência do contrato de prestação de serviço, com o objetivo de melhorar a precisão na previsão de manutenções e trocas de pneus necessárias. Determinamos o número de replicações capaz de atender as especificações de confiança estatística. Busca-se determinar o número mínimo evitando o consumo desnecessário de recurso computacional. Assim, foram necessárias cinco replicações para atingir os níveis de confiança do modelo. Tal informação foi auxiliada pela equação (1), que determina o número de replicações e foi baseada em Truong et al. [2015], e apresentou o número mínimo de replicações (N) igual a 4,995, utilizando os valores da



tabela t de Student bicaudal, a média amostral (\bar{X}) e o valor de erro percentual máximo da média ($\epsilon = 1, 25\%$):

$$N = \left\lceil \left(\frac{St_{N-1, 1-\alpha/2}}{\bar{X}\epsilon} \right)^2 \right\rceil \quad (1)$$

O modelo leva em consideração os intervalos de manutenção do equipamento, ilustrado na Figura 4. Outro ponto de destaque é o acompanhamento das entregas realizadas que precisa cumprir as demandas de cada destino (Figura 5), mesmo que o objetivo seja de minimizar a frota de caminhões. O modelo completo está disponível no Anexo 2.

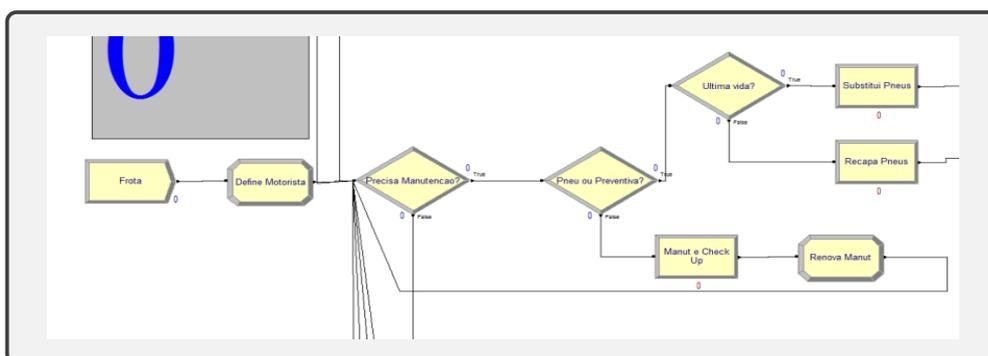


Figura 4: Modelagem da lógica de intervalos de manutenção do equipamento.

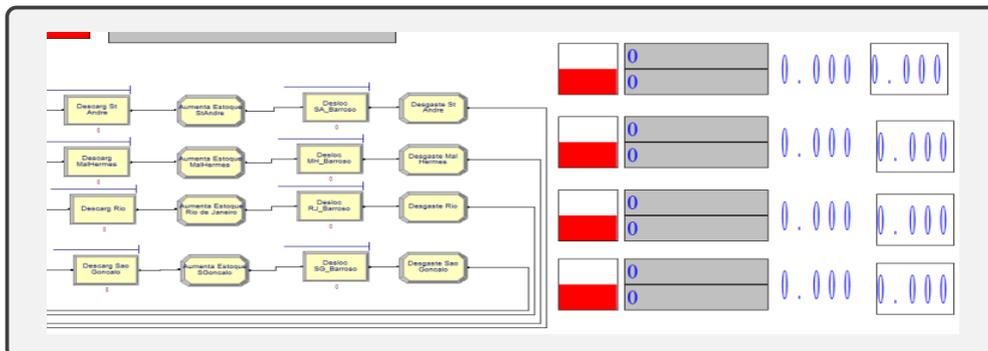


Figura 5: Modelagem da lógica de atendimento de demandas nos destinos.

A simulação da operação considera informações do cenário e visa a determinar se o número está adequado para as metas de produtividade internas e para as exigências do cliente. O estudo realizado avalia a viabilidade por meio da simulação para a operação, e a partir de então apresentar uma solução economicamente eficiente para o número de caminhões dedicados para este cliente. A empresa possui outros clientes com operações de mesma natureza. Dessa forma os registros de tempos de carga, deslocamento e descarga serão utilizados para a construção de parâmetros do sistema.

4. Resultados e discussão

Nesse estudo, utilizou-se modelos de simulação para dimensionamento da frota de caminhões que corrobora com Thiers e McGinnis [2011] que afirmam a necessidade do uso desses modelos para tomar decisões em sistemas logísticos.

O resultado da simulação forneceu informações para a estruturação da operação, como o número de conjunto pneus gastos, o número de manutenções preventivas realizadas e o número de



recapagens, como demonstrado na Tabela 2. Essas informações são importantes pois são a segunda maior fonte de despesa com as operações, perdendo apenas para o pagamento feito ao motorista.

Plano de 3 anos	Quantidade
Conjuntos de pneus gastos	576
Manutenções preventivas	72
Recapagens	1.440

Tabela 2: Plano de operações e consumo de recursos resultante do modelo

Em relação ao número de caminhões alocados na operação, a empresa já havia realizado uma estimativa que considerava a utilização de 24 veículos. A simulação indica que é possível obter uma redução de 25% no investimento inicial e no aluguel direcionado para a frota, e realizar a operação com 18 caminhões. Tais benefícios que permitem avaliar a redução de custos e efetuar melhorias no sistema de planejamento e gestão de frota foram descritas na literatura [McLean e Biles, 2008] e [Johansson, 2016]. Quaisquer valores abaixo desse número demonstram não conseguir atingir satisfatoriamente a demanda dos centros de distribuição e, por isso não foram consideradas.

A redução de 25% do investimento inicial reduz a dependência do mercado de aluguel de caminhões, fator que limita a disponibilidade de veículos, e que deve ser ponderado no momento da decisão. O resultado proposto por meio da simulação não prejudica o nível de serviço da empresa, e mantém a taxa mínima de atendimento. A taxa de atendimento da demanda ficou entre 97,19% e 103,03% da demanda total, com 95% de confiança. Os valores acima de 100% se devem ao fato de que a quantidade demandada não é múltipla da capacidade do caminhão. Essa tolerância é definida por contrato. Esses valores podem ser considerados como capacidade extra, capaz de suprir a demanda de períodos que recebem menos pedido.

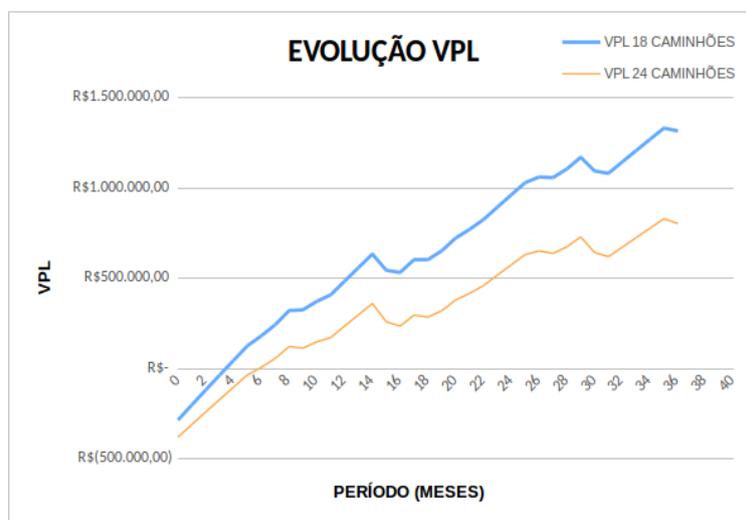


Figura 6: Avaliação do Valor Presente Líquido da operação.

Outra preocupação da empresa no momento de estruturar a operação era o *payback* do capital investido. Na análise financeira foram considerados os valores pagos à companhia determinados por contrato, o pagamento do motorista agregado por carta-frete, os custos variáveis supracitados e os débitos e créditos de impostos decorrentes da operação. Em três meses a empresa é capaz de recuperar o investimento, como visto na Figura 6. É possível observar, pela inclinação da curva do gráfico, que o processo inicia com um ganho mais acentuado e tende a se estabilizar ao longo dos meses, quando as manutenções, recapamentos e trocas de pneus ocorrem gerando mais estabilidade no gráfico.



5. Considerações Finais

O presente estudo apresentou um dimensionamento da frota de veículos de uma prestadora de serviços logísticos que, após firmar o contrato de prestação de serviço de transporte a uma grande empresa cimenteira, encontrava dificuldade em reduzir custos logísticos, dada a baixa disponibilidade de caminhões para aluguel e, ao mesmo tempo, reduzir os riscos de não atender a demanda.

Para isso, foi desenvolvido um modelo de simulação por eventos discretos para analisar tanto o dimensionamento da frota logística quanto a viabilidade financeira do investimento. Empresas confiam suas operações em modelo de apoio a decisão para determinar um nível de serviço satisfatório a custos competitivos. Considera-se o nível de serviço de 95% um valor competitivo de nível global. Níveis de serviço próximos a 100% tentem a aumentar os custos de prestação de serviço. Como resultado da análise, é possível apresentar uma estimativa do número de caminhões para a empresa atender este cliente de forma satisfatória. Com o uso da simulação foi possível observar que o número previamente estimado de 24 caminhões era considerado superior ao necessário de 18 caminhões para atender satisfatoriamente os Centros de Distribuição com nível de serviço de 99%. Em alguns meses ocorre folga na capacidade, capaz de suprir um eventual *backlog* dos CDs.

A redução de 25% na frota à disposição para a operação trouxe ganhos financeiros para a empresa estimados em de 57% do valor de contrato nos três anos de operação. Outra consequência do estudo foi a criação de um modelo de simulação genérico que pode ser adaptado e utilizado para novas operações da empresa, além de possibilitar uma análise de cenários de redução de frota para as operações em curso. Propõe-se trabalhos futuros na direção tornar o estudo presente uma modelagem genérica de forma a complementar a modelagem atual e incorporar fatores semelhantes a outros provedores de serviços logísticos.



Referências

- Banks, J., CARSON II, J. S., Barry, L., et al. (2005). *Discrete-event system simulation fourth edition*. Pearson.
- Bookbinder, J. H. (1984). Simulation vs. optimization in physical distribution planning. In *Proceedings of the 16th conference on Winter simulation*, p. 436–443. IEEE Press.
- Choi, T.-M., Wallace, S. W., e Wang, Y. (2016). Risk management and coordination in service supply chains: information, logistics and outsourcing. *Journal of the Operational Research Society*, 67(2):159–164.
- Ertogral, K., Akbalik, A., e González, S. (2017). Modelling and analysis of a strategic fleet sizing problem for a furniture distributor. *European Journal of Industrial Engineering*, 11(1):49–77.
- Fioroni, M. M., Franzese, L. A. G., de Santana, I. R., Lelis, P. E. P., da Silva, C. B., Telles, G. D., Quintáns, J. A. S., Maeda, F. K., e Varani, R. (2015). From farm to port: simulation of the grain logistics in brazil. In *Winter Simulation Conference (WSC), 2015*, p. 1936–1947. IEEE.
- Giri, B. e Sarker, B. (2017). Improving performance by coordinating a supply chain with third party logistics outsourcing under production disruption. *Computers & Industrial Engineering*, 103:168–177.
- He, X., Li, W., e Nie, K. (2013). Pricing and coordination research for TPL based on different logistics service level. In *LISS 2012*, p. 279–286. Springer.
- Johansson, K. H. (2016). Cyber-physical control of road freight transport. In *Autonomic Computing (ICAC), 2016 IEEE International Conference on*, p. 4–4. IEEE.
- Law, A. M., Kelton, W. D., e Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and analysis*, volume 2. McGraw-Hill New York.
- Lesyna, W. R. (1999). Sizing industrial rail car fleets using discrete-event simulation. In *Simulation Conference Proceedings, 1999 Winter*, volume 2, p. 1258–1261. IEEE.
- McLean, A. A. e Biles, W. E. (2008). A simulation approach to the evaluation of operational costs and performance in liner shipping operations. In *Simulation Conference, 2008. WSC 2008. Winter*, p. 2577–2584. IEEE.
- Rabe, M. e Scheidler, A. A. (2014). An approach for increasing the level of accuracy in supply chain simulation by using patterns on input data. In *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, p. 1897–1906. IEEE Press.
- Saylor, S. E. e Dailey, J. K. (2010). Advanced logistics analysis capabilities environment. In *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010 Winter*, p. 2138–2149. IEEE.
- Schunk, D. e Plott, B. (2000). Using simulation to analyze supply chains. In *Simulation Conference, 2000. Proceedings. Winter*, volume 2, p. 1095–1100. IEEE.
- Thiers, G. e McGinnis, L. (2011). Logistics systems modeling and simulation. In *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter*, p. 1531–1541. IEEE.
- Truong, L. T., Sarvi, M., Currie, G., e Garoni, T. M. (2015). How many simulation runs are required to achieve statistically confident results: a case study of simulation-based surrogate safety measures. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015 IEEE 18th International Conference on*, p. 274–278. IEEE.



Young, J. (2013). Simulation-based truck fleet analysis to study the impact of federal motor carrier safety administration's 2013 hours of service regulation changes. In *Simulation Conference (WSC), 2013 Winter*, p. 3395–3405. IEEE.