

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO**

**ARTHUR NORÕES REIS**

**SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE CARREGAMENTO EM UM  
TERMINAL DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS**

Fortaleza  
2016

**ARTHUR NORÕES REIS**

**SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE CARREGAMENTO EM UM  
TERMINAL DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS**

Trabalho Final de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia de  
Produção Mecânica, como requisito parcial  
para a obtenção do título de Engenheiro de  
Produção Mecânica.

Área de concentração: Pesquisa Operacional

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Ramalho  
Pitombeira Neto

Fortaleza

2016

**ARTHUR NORÕES REIS**

**SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE CARREGAMENTO EM UM  
TERMINAL DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS**

Trabalho Final de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia de Produção Mecânica, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

---

Prof. Marcos Ronaldo Albertin, Dr.  
Coordenador do Curso

Nota final: (    ) \_\_\_\_\_

Fortaleza, 27 de Junho de 2016

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto, Dr. (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Heráclito Lopes Jaguaribe Pontes, Dr.  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Bruno de Athayde Prata, Dr.  
Universidade Federal do Ceará - UFC

A todos que me disseram não, pelo aprendizado  
e a todos que me disseram sim, pelo incentivo

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, por todo o suporte e orientação durante toda a vida, e principalmente pela importância dedicada à educação.

Ao Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto, pelo singular envolvimento e orientação durante a elaboração desta monografia.

A todos os brilhantes professores do Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, por todo o esforço e dedicação que fazem do departamento e do curso de Engenharia de Produção a referência que são hoje, permitindo que seus estudantes concluam seus estudos com toda a preparação necessária para se tornarem excelentes profissionais.

À toda a equipe de operações do Terminal de Fortaleza, pelo grande desenvolvimento profissional adquirido.

Aos amigos do curso de Engenharia de Produção da turma 2010.1;

## RESUMO

Neste trabalho, é desenvolvido um modelo de simulação computacional que busca reproduzir com fidelidade as operações de carregamento em um terminal de distribuição de combustíveis, e é estudado o comportamento deste sistema sob diferentes cenários nos quais seu funcionamento é alterado, facilitando a tomada de decisão em projetos de aumento da eficiência operacional ou da capacidade de atender a demanda . O processo de carregamento, do instante em que o motorista se apresenta à recepção até sair do terminal com o caminhão-tanque devidamente carregado é detalhado e cada etapa do processo é analisada estatisticamente, o que é utilizado para construir o modelo computacional utilizando o *software FlexSim*. O cenário de aumento de vazão é identificado como o investimento que trará melhores resultados se aplicado aos produtos gasolina e diesel S-10, com maior movimentação. Testa-se também a instalação de um braço de carregamento adicional de gasolina em uma das ilhas de carregamento, o que resulta em aumento de eficiência, embora menor que a observada na alteração de vazão. Observa-se que a utilização de um método heurístico associado a uma simples política de alocação de caminhões às baias pode aumentar significativamente a eficiência das operações, mesmo não envolvendo grandes investimentos como as demais alterações estudadas. A capacidade do terminal é analisada e se mostra adequada para atender a demanda atual, e são realizados experimentos para estimar a demanda máxima que pode ser atendida nas condições atuais e em um cenário onde o horário de carregamento é estendido.

**Palavras-chave:** Pesquisa Operacional; Modelos de Simulação; Distribuição de Óleo e Gás.

## ABSTRACT

In this study, a computer simulation model is developed in order to replicate the fuel loading operations of a fuel distribution terminal, and the system's behavior is studied under different scenarios, providing useful information to decision makers in projects that aim to increase operational efficiency or capacity to meet demand requirements. The whole loading process, starting at the instant that a driver arrives at the terminal until the truck is completely loaded and exits the terminal, is studied in detail and each stage of the process is statistically analyzed, which is then used to build the simulation model, using the FlexSim software. Among the tested alternatives, the flow rate increase is definitely the investment that can yield the best results if applied to gasoline and S-10 diesel. Adding a gasoline loading arm to one of the loading bays is also an advantageous option, although less impacting than the flow rate increase. It is also noted that using a heuristic method associated with a simple policy of allocation of trucks to loading bays can significantly increase the operational efficiency, even without involving larger investments such as the other proposed changes. The terminal's capacity is analyzed and is shown to be suitable for current demand requirements, and experiments are made to estimate the maximum demand that can be met within regular hours and in another scenario where the terminal's hours are extended.

**Keywords:** Operations Research, Simulation Models; Oil & Gas Distribution

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1– Ilustração de um modelo de simulação discreto simples
- Figura 2 – Sequência de tarefas processadas por uma máquina envolvendo ociosidade
- Figura 3 – Principais blocos utilizados no FlexSim e exemplo de um processo modelado
- Figura 4 – Configurações do Bloco Processor
- Figura 5 – Mapa do Terminal de Fortaleza
- Figura 6 – Configuração da plataforma de carregamento
- Figura 7 - Fluxograma com visão geral do processo de carregamento
- Figura 8 – Exemplo de relatório gerado pelo modelo de simulação, similar ao relatório gerado pelo sistema de automação da empresa
- Figura 9 – Exemplos da variação da demanda em função do horário
- Figura 10 – Teste qui-quadrado para a amostra dos tempos entre chegada
- Figura 11 - Histograma do tempo de atendimento em segundos
- Figura 12 – Histograma dos tempos de atendimento sem as observações extremas
- Figura 13 – Histograma dos dados observados para os tempo de setup de carregamento
- Figura 14 – Teste K-S para as observações do tempo de setup do carregamento
- Figura 15- Modelagem computacional das filas do estacionamento e atendimento(Gate) e propriedades da entidade Auto-Tanque
- Figura 16 – Representação gráfica da plataforma de carregamento
- Figura 17– Blocos que representam o processo de carregamento de cada compartimento do AT
- Figura 18 – Visão geral do modelo computacional no FlexSim com todos os blocos utilizados
- Figura 19 – Resultados obtidos para simulação com número de replicações inicial (R=10)
- Figura 20 – Configurações do modelo para execução de experimentos de simulação
- Figura 21 – Diagrama de caixa comparativo entre os lead times obtidos com alteração de vazão
- Figura 22 -- Diagrama de caixa comparativo entre os tempos de espera obtidos com a alteração de vazão
- Figura 23– Diagrama de caixa comparativo entre os lead times obtidos com a simulação com alteração de vazão
- Figura 24 – Sequência de carregamento em uma ilha com dois ATs
- Figura 25 – Algoritmo para determinar a ociosidade gerada pela associação de dois ATs à uma mesma ilha



Figura 26 – Algoritmo para determinar a ociosidade gerada pela associação de dois ATs à uma mesma ilha

Figura 27– Indicadores G2G e Tempo de Espera para diferentes valores de  $l$

Figura 28 – Indicador de ociosidade geral na plataforma para diferentes valores de  $l$

Figura 29 – Diagrama de caixa para o horário de saída do último AT sob funcionamento normal

Figura 30 – Diagrama de caixa comparativo entre três possíveis cenários para a demanda

Figura 31 – Diagrama de caixa comparativo entre cenários intermediários para a demanda

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Probabilidade de que a programação de um caminhão aleatório apresente determinada combinação de combustíveis em sua programação

Tabela 2– Probabilidade de que um compartimento aleatório de um caminhão tenha o volume especificado

Tabela 3 - Resultados obtidos para a simulação com o terminal sob funcionamento normal

Tabela 4 – Resultados obtidos com o acréscimo de um braço de carregamento de gasolina

Tabela 5 - Resultados da simulação com e restrição do horário a 22h

Tabela 6 – Resultados da simulação com demanda máxima e restrição do horário a 23h

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 Definição e justificativa do problema abordado .....	12
1.2 Objetivos .....	13
1.2.1 Objetivo Geral .....	13
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
1.3 Estrutura do trabalho .....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
2.1- Pesquisa Operacional .....	15
2.2 Simulação de Sistemas .....	16
2.3 Métodos de Sequenciamento .....	17
2.4 O Software FlexSim .....	22
3 ESTUDO DE CASO .....	25
3.1 Metodologia .....	25
3.2 Descrição do Processo em Estudo .....	26
3.3 Definição do Escopo do Estudo de Simulação .....	30
3.4 Coleta e Análise de Dados .....	32
3.4.1 Chegada de caminhões .....	33
3.4.2 Programação dos Compartimentos .....	36
3.4.3 Faturamento .....	39
3.4.4 Falhas e Interrupções .....	40
3.4.5 Demais etapas .....	41
3.5 Modelagem Computacional do Sistema .....	42
3.5.1 Estacionamento e Atendimento .....	42
3.5.2 Faixa de Espera e Plataforma .....	44
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	48
4.1 Validação do Modelo .....	48
4.1.1 Indicadores de Performance .....	48
4.1.2 Determinação das configurações da simulação .....	49
4.1.3 Comparação dos indicadores .....	50
4.2 Experimentos de Simulação .....	52
4.2.1 Aumento da vazão de carregamento .....	52
4.2.2 Acréscimo de braços de carregamento .....	54
4.2.3 Utilizando um método heurístico para direcionar carros as baias .....	54
4.2.4 Demanda e Capacidade .....	59
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	64
5.1 Considerações .....	64
5.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
APÊNDICES .....	68

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Definição e justificativa do problema abordado

Nos mais variados sistemas que envolvem a produção de bens ou prestação de serviços, inúmeras decisões são tomadas todos os dias. Na grande maioria dos casos, as decisões corporativas são baseadas na experiência dos gestores, ou a partir de estimativas imprecisas. Para muitas situações, principalmente em organizações de menor porte, esta pode ser a maneira mais adequada para se tomar uma decisão. Em um ambiente de rápidas mudanças e pouco tempo para agir, adotar este simples processo decisório pode trazer resultados razoáveis para o problema em questão com um baixíssimo custo.

Entretanto, na medida em que os sistemas administrados pelos mesmos gestores se tornam progressivamente complexos, e qualquer mudança em sua infraestrutura ou em sua maneira de operação se torna difícil de implementar e tem um alto custo associado, não há mais tolerância para estimativas grosseiras ou intuições equivocadas. O valor esperado pelo retorno do investimento estudado ao se tomar uma decisão empírica passa a ser menor, pois a probabilidade de falha da decisão (que também aumenta devido a complexidade do sistema) é associada a um prejuízo financeiro considerável.

A tomada de decisão por meio de abordagem científica é mais cara e, na maioria dos casos, mais lenta, pois requer profissionais especializados, *softwares* específicos, e a análise requer várias horas de trabalho para ser concluída. Todavia, uma vez analisado o problema com os profissionais e ferramentas adequadas, reduz-se significativamente a probabilidade de erro, o que aumenta o retorno esperado do investimento, tornando a decisão utilizando métodos científicos claramente mais vantajosa.

O setor de Petróleo e Gás é repleto de sistemas onde esta realidade se aplica. Os investimentos são altíssimos, os processos são pouco flexíveis, e uma decisão errada pode significar um grande prejuízo, que se torna difícil de reverter. No Brasil, este setor representa em torno de 13% do PIB, e movimenta 2,1 milhões de barris de petróleo por dia, com a expectativa de duplicar este valor até 2025 (EY, 2014).

A indústria, que compreende as atividades de exploração, extração, refinamento e transporte de produtos derivados do petróleo, é dividida em três componentes básicos: *upstream*, *midstream* e *downstream*, sendo o *upstream* ligado a exploração e produção de petróleo ou gás

natural, e o *downstream* associado ao armazenamento e distribuição de combustíveis até o consumidor final, enquanto o *midstream* abrange uma parcela dos dois outros setores.

O Terminal de Fortaleza se enquadra no *downstream*, recebendo gasolina, diesel, biodiesel, querosene de aviação e etanol pelos modais marítimo, dutoviário e rodoviário, os armazena em tanques com capacidade que variam entre 400.000 e 5.700.000 litros e expede os produtos para clientes, sejam estes consumidores finais ou distribuidores de menor porte, movimentando um total de 97 milhões de litros por mês. O sistema de carregamento de caminhões-tanque envolve os principais processos que ocorrem no terminal, pois qualquer atraso em um desses processos pode significar um impacto direto para os clientes, e sua eficiência é frequentemente avaliada.

Existem alterações em estrutura física, como vazão de carregamento e configuração dos braços de carregamento, e em suas operações, como horário de funcionamento e política de alocação de caminhões que podem ser implementadas para aumentar a eficiência do carregamento no terminal, embora não seja possível identificar empiricamente os cenários mais vantajosos e o ganho em eficiência que cada um deles proporcionaria.

Justifica-se, portanto, a importância de se estudar essas possíveis alterações no funcionamento do terminal, proporcionando informações que possam auxiliar na tomada de decisão em projetos de aumento de capacidade e eficiência operacional. Realizando simulações do terminal sob diferentes cenários, é possível utilizar os resultados obtidos para determinar quais os investimentos mais vantajosos, quais modificações podem ser feitas no sistema atual com o intuito de melhorar a eficiência e em que momento tais alterações se fazem necessárias, com base na demanda observada.

## **1.2 Objetivos**

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é indentificar e analisar o impacto impacto que determinadas mudanças no processo carregamento em um terminal de distribuição de combustíveis podem ter sobre a eficiência operacional e capacidade de atender a demanda.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Compreender e estudar o sistema de carregamento de combustíveis;

- Modelar o sistema de carregamento utilizando o *Software* FlexSim;
- Avaliar o impacto de cada alteração no processo sobre a eficiência, simulando o mesmo sistema sob diferentes cenários e comparando os resultados.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O trabalho está dividido em 5 capítulos: introdução, fundamentação teórica, estudo de caso, análise dos resultados e considerações finais.

No capítulo um, é contextualizado o estudo, descrevendo o setor, a empresa estudada, e os problemas abordados, definido em seguida os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, é feita uma breve descrição sobre a Pesquisa Operacional, área que engloba vários métodos utilizados com objetivos similares ao do trabalho em questão, buscando identificar melhorias em sistemas que aumentem sua eficiência. É discutida a Simulação de Sistemas, uma das abordagens para solução de problemas de Pesquisa Operacional escolhida para ser utilizada neste estudo. São apresentados problemas de sequenciamento e algoritmos utilizados para resolvê-los e, por fim, é introduzido o *software* FlexSim, explicando suas funcionalidades.

No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia utilizada no trabalho, que serve como base para o planejamento e execução das atividades necessárias. O processo em estudo é descrito, e são definidas as principais limitações do projeto de simulação. É descrito como os dados foram coletados e tratados, apresentando os resultados obtidos da análise estatística e as distribuições de probabilidade utilizadas no modelo. É descrito o funcionamento do modelo de maneira detalhada, exemplificando suas construções lógicas e recursos do *software* de simulação utilizados.

No capítulo quatro, são apresentados os resultados dos primeiros testes que validam o modelo computacional, comparando os resultados obtidos com a simulação com as estatísticas reais da empresa. Uma vez validado o modelo, são discutidos os resultados obtidos com a simulação dos diferentes cenários.

O capítulo 5 apresenta as principais considerações acerca dos resultados obtidos no estudo, verificando que os objetivos definidos foram alcançados, e apresenta algumas sugestões de como a problemática abordada pode ser utilizada em trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1- Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional(PO) é uma abordagem científica à tomada de decisões, que busca projetar e operar um sistema da melhor maneira possível, geralmente sob condições que requerem a alocação de recursos escassos (WINSTON, 2004).

Embora compreenda-se que a PO teve sua origem na Segunda Guerra Mundial, para Hiller e Lieberman (2012), as raízes desta disciplina podem ter surgido há muitas décadas, desde quando se observaram tentativas iniciais de utilizar métodos científicos na gestão de organizações. A Pesquisa Operacional como conhecemos hoje de fato se deve aos esforços realizados durante o período da guerra para alocar recursos escassos para as várias operações militares de uma maneira eficaz. Os americanos e ingleses empregaram um grande número de cientistas na pesquisa e solução de problemas táticos e estratégicos, que comporam as primeiras equipes de pesquisa de operações.

Após o fim da guerra, com o sucesso de muitas das operações militares atribuído aos métodos utilizados por estes cientistas, o rápido crescimento industrial e o conseqüente aumento de complexidade e especialização nas organizações contribuiu para que estas técnicas passassem a ser utilizadas em um outro contexto. Profissionais que participaram dos times de PO introduziram seus conceitos a várias organizações, negócios, indústrias, disseminando rapidamente a Pesquisa Operacional.

Não há uma técnica absoluta capaz de resolver todos os problemas que surgem na prática. O tipo e a complexidade do problema encontrado determinam a natureza do método utilizado em sua solução (TAHA, 2007). Embora qualquer técnica utilizada para melhorar a maneira que um sistema funciona possa ser entendida como parte deste ramo, algumas merecem destaque pelo seu uso frequente, como Programação Linear, Programação Inteira, Programação Dinâmica, Programação de Redes, Programação Não-Linear, e Simulação são outros dentre os vários métodos existentes. Uma característica da maioria das abordagens de PO é que as soluções dificilmente são encontradas diretamente, por meio da solução de uma fórmula ou processo similar. Geralmente a técnica envolve um algoritmo que, a partir de uma solução inicial, realiza várias iterações que aproximam progressivamente o resultado da solução ótima, até encontrar a solução desejada (TAHA, 2007).

Muitas das técnicas utilizadas tem como objetivo otimizar o sistema. Otimizar significa encontrar valores para as variáveis de decisão que maximizem ou minimizem uma determinada função objetivo dentre todos os valores associados as variáveis de decisão que satisfazem as restrições estabelecidas (WINSTON, 2004). Taha (2007) comenta que alguns modelos são demasiado complexos, de tal maneira que é impossível resolvê-los por algoritmos de otimização. Nestes casos, o analista deve verificar se, em vez da solução ótima, é possível encontrar apenas uma solução boa para o problema estudado, utilizando métodos heurísticos.

## **2.2 Simulação de Sistemas**

A Simulação de Sistemas é uma das mais importantes abordagens para resolver problemas de Pesquisa Operacional, utilizada amplamente por se tratar de uma ferramenta poderosa, flexível, e que vem se tornando cada vez mais intuitiva e acessível, com o desenvolvimento de vários softwares especializados nos anos recentes.

Define-se Sistema como "uma organização de componentes independentes, cujos recursos são utilizados para atingir um objetivo" (WINSTON, 2004). Um sistema pode ser compreendido em vários níveis de detalhamento, de modo que o grupo de entidades de um sistema pode ser apenas visto como um subgrupo de um sistema mais abrangente, logo a determinação do sistema também depende do foco do estudo em questão (KELTON; LAW, 1991).

Uma definição generalizada da Simulação é a técnica de imitar um determinado comportamento ou situação por meio de uma situação análoga, usualmente com o objetivo de obter informações de maneira mais conveniente. A Simulação Computacional consiste em projetar um modelo de um sistema real, simulando-o em um computador e analisando seus resultados. Utilizar recursos computacionais para a simulação se justifica a partir do momento em que a situação é demasiado complexa para ser analisada por uma pessoa desprovida da ferramenta (CHOI; KANG, 2013).

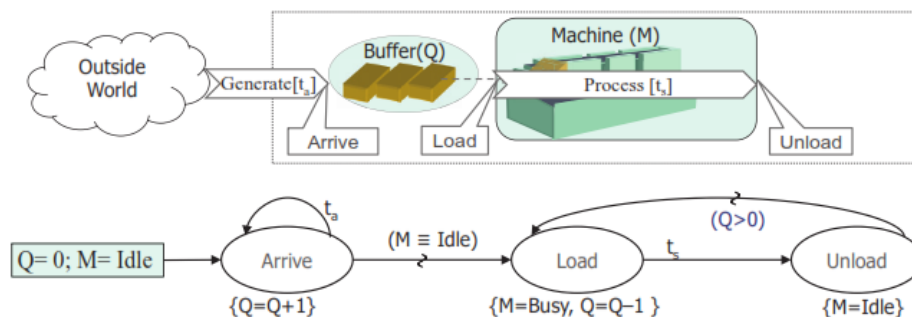
Os sistemas podem ser estáticos ou dinâmicos. Em sistemas estáticos, suas variáveis não são alteradas ao longo do tempo, enquanto em sistemas dinâmicos, as variáveis de estado que constituem o sistema sofrem alterações ao longo do tempo. Pode-se classificar os sistemas ainda em discretos ou contínuos. Em sistemas discretos, suas variáveis sofrem alterações instantâneas, em pontos separados no tempo. Em sistemas contínuos, as variáveis mudam continuamente em função do tempo. Kelton e Law (1992) afirmam que na prática, poucos



sistemas podem ser classificados como totalmente contínuos ou discretos, mas geralmente é possível identificar qual a característica predominante e classificá-lo adequadamente.

Quando simula-se computacionalmente um sistema discreto com elementos aleatórios com distribuições de probabilidade conhecidas ao longo de uma linha do tempo, trata-se de uma simulação de Monte Carlo (ALTIOK; MELAMED, 2007). Um exemplo simples deste tipo de simulação é mostrado por Choi e Kang (2013) na Figura 1: Uma entidade surge no sistema com um tempo entre chegadas definido ( $t_a$ ), é carregada na máquina  $M$  se a mesma estiver ociosa, caso contrário esta entidade aguarda em fila, no *buffer* ( $Q$ ) e uma vez carregada é processada na máquina por um tempo  $t_s$  e descarregado. Após a descarga, uma nova entidade é carregada, caso existam entidades em fila.

Figura 1– Ilustração de um modelo de simulação discreto simples



Fonte: Choi e Kang (2013).

É com base neste tipo de simulação que surgiram a maioria dos *softwares* modernos de simulação de eventos discretos, como Arena, Simul8, FlexSim, Anylogic, ProModel, dentre outros. Tais ferramentas permitem que o usuário crie o modelo de maneira mais intuitiva, e o *software* busque uma maneira eficiente de executar o sistema modelado e obter os resultados desejados.

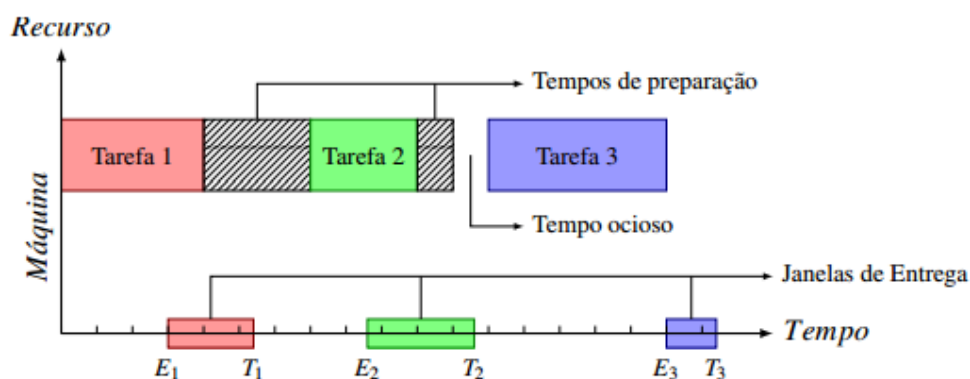
### 2.3 Métodos de Sequenciamento

A programação de operações e sequenciamento de tarefas é um tema amplamente abordado com inúmeras aplicações em sistemas produtivos, principalmente em planejamento e programação da produção em unidades fabris. Os elementos usualmente presentes neste tipo de problema são: as tarefas, definidas como trabalhos elementares que requerem tempo e recursos para serem concluídas; os recursos, como máquinas, matérias-primas, mão-de-obra, dentre outros elementos que são necessários para executar as tarefas; os *jobs*, seqüências de uma ou

mais operações, que podem estar associadas a uma entidade específica, geralmente um produto inacabado em uma linha de produção (GOMES *et al.*, 2007).

O problema típico é definido por  $n$  jobs a serem executados, cada um com tempo de setup, tempo de processamento e uma data limite. Para ser considerado concluído, cada *job* precisa ser processado por diferentes máquinas até que todas suas tarefas envolvidas sejam executadas. A solução do problema consiste em encontrar o sequenciamento de tarefas nestas máquinas que proporciona o melhor resultado possível para o indicador de performance relevante para o sistema (ELSAYED; BOUCHER, 1994). As tarefas são sequenciadas e atribuídas às máquinas, que processam cada *job* na ordem estabelecida, incluindo os tempos de *setup* e eventuais intervalos ociosos durante os quais não seja possível alocar um *job* para processamento, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Sequência de tarefas processadas por uma máquina envolvendo ociosidade



Fonte: Gonçalves (2010).

Dentre os fatores que podem ser utilizados para descrever e classificar um problema de sequenciamento específico, é possível citar: o número de *jobs* a serem programados, o número de máquinas, o tipo de sistema produtivo, a maneira que os *jobs* chegam à instalação e o critério pelo qual as alternativas de sequenciamento serão avaliadas (ELSAYED; BOUCHER, 1994).

Gonçalves (2010 *apud* ALLAHVERDI *et al.*, 2008) apresenta algumas das classificações comumente utilizadas envolvendo estes fatores, como sequenciamento em uma máquina (*single-machine*), no qual todas as tarefas são processadas em apenas uma máquina, sequenciamento em máquinas paralelas (*parallel machines*), considerando a existência de  $m$  máquinas em paralelo, considerando que cada tarefa poderá ser processada em qualquer uma delas. Em um ambiente *flow shop* com  $m$  máquinas, considera-se a existência de  $m$  estágios em série, onde cada estágio poderá ser constituído por uma ou mais máquinas. Neste tipo de

problema, cada tarefa deve ser processada em cada um dos  $m$  estágios na mesma ordem, de modo que as máquinas não são intersubstituíveis como no sequenciamento de máquinas paralelas mais simples.

O *flow shop* pode ser classificado em: (a) regular: considera-se a existência de uma única máquina em cada estágio; (b) *no-wait flow shop*: as operações para uma determinada tarefa são processadas de forma contínua do início ao fim; (c) *flexible (hybrid) flow shop*: considera-se a existência de mais de uma máquina em cada estágio; (d) *assembly flow shop*: considera-se a existência de  $k + 1$  máquinas diferentes e são definidas  $n$  tarefas onde cada tarefa passa por  $k + 1$  operações, as  $k$  primeiras operações serão conduzidas ao primeiro estágio em paralelo, restando ao segundo estágio a operação final, também conhecida como operação de montagem; (e) *Job shop*: O *design* mais flexível de todos, que considera-se a existência de  $m$  máquinas diferentes, e cada *Job* possui sua rota de processamento, envolvendo as máquinas necessárias; (f) *Open shop*: Cada tarefa deve ser processada uma única vez em cada uma das  $m$  máquinas seguindo qualquer rota de processamento.

Os métodos para solucionar estes problemas dependem dos elementos e características do sistema, além dos indicadores de performance que se deseja aumentar ou reduzir. Em grande parte das situações reais, são adotadas políticas simples para estabelecer uma prioridade para os *Jobs* que serão executados, como:

- FIFO (*First In, First Out*): *Jobs* são realizados por ordem de chegada. Esta política procura reduzir o tempo de espera para cada *job*, embora em sistemas mais complexos, realizar determinada tarefa por ordem de chegada pode gerar um atraso maior para os outros *jobs* em espera, aumentando o tempo de espera;
- Menor Data de Entrega: Utilizado quando cada *job* tem um prazo bem definido e exista uma penalidade para o atraso. Tarefas com data limite inferior são priorizadas, reduzindo os atrasos;
- Menor Tempo de processamento: tarefas com o menor tempo de processamento são priorizadas objetivando aumentar o fluxo de materiais e diminuir estoque em processo. Uma desvantagem é que os lotes de grande processamento tendem a sofrer atraso maior devido à baixa prioridade que lhes é atribuída;
- Maior Tempo de processamento: tarefas com o maior tempo de processamento são priorizadas objetivando evitar espera de grandes lotes, permitindo, entretanto, grande geração de estoque no processo.

Estas políticas são mais comuns porque podem ser utilizadas apenas com controles adequados, sem necessariamente envolver maiores investimentos em tecnologia. Quando a diversidade das máquinas, tarefas e produtos e processos aumenta, tornando o sistema como um todo mais complexo, o sequenciamento por meio destas políticas pode permitir que decisões que aumentem a ociosidade das máquinas, os tempos de espera e piorem os indicadores de performance de maneira geral sejam tomadas. Uma análise adequada para estes casos envolve métodos mais avançados, e alguns destes são mencionados a seguir:

*GRASP (Greedy Randomised Adaptive Search Procedure)*: Um algoritmo guloso (*greedy*) busca uma solução para o problema com base em uma série de escolhas ótimas locais, com o objetivo de encontrar uma melhor solução global. O GRASP é um processo iterativo que consiste em duas fases por iteração: construção e busca local. A primeira fase constrói uma solução viável, e a segunda explora as alternativas vizinhas até que um mínimo local seja encontrado. A melhor solução geral é definida como resultado.

As soluções são construídas por uma função *greedy*, que avalia a adição de um próximo elemento  $e$  à solução parcial dentre todos os que podem ser incorporados sem prejudicar a viabilidade, tipicamente pela incremento que esta adição proporciona ao custo,  $c(e)$ . A avaliação de elementos com esta função gera uma lista de candidatos restritos, cuja incorporação à solução resulta em menores custos incrementais. O valor limiar para adição à lista restrita é determinado por  $\alpha$ , de modo que um elemento é adicionado à lista apenas se  $c(e) \leq c^{min} + \alpha(c^{max} - c^{min})$ , sejam  $c^{max}$  e  $c^{min}$  os incrementos máximo e mínimo respectivamente ao custo, dentre o conjunto de elementos que podem ser adicionados. Os elementos da lista são adicionados aleatoriamente à solução parcial e, uma vez que o elemento é incorporado, a lista de candidatos é atualizada e os custos incrementais são re-avaliados. As soluções geradas, uma vez que envolvem aleatoriedade e avaliações locais, não necessariamente são consideradas ótimas, sendo então melhoradas por um algoritmo de busca local, que substitui a solução atual por soluções melhores vizinhas à solução atual, e termina quando soluções melhores não são encontradas na vizinhança (RESENDE; RIBEIRO, 2002).

*Variable Neighborhood Descent (VND)*: Uma metaheurística que encontra soluções através de trocas sistemáticas. Neste método, uma solução previamente encontrada é alterada de modo a explorar o espaço de soluções vizinhas e verificar o seu resultado. Uma solução vizinha pode ser obtida pela troca da ordem de processamento de dois *jobs* da seqüência de produção. Dado um conjunto com  $n$  jobs, na primeira estrutura de vizinhança, há  $n(n - 1)/2$  movimentos possíveis, ou equivalentemente, esse mesmo número de vizinhos. A solução é

representada por um vetor  $v$  de  $n$  posições, e cada elemento do vetor indica a ordem de processamento do  $i$ -ésimo *job*. Por exemplo, a solução  $v' = \{4, 2, 6, 3, 1, 5\}$  é uma vizinha da solução  $v = \{3, 2, 6, 4, 1, 5\}$ , pois é obtida pela troca do primeiro com o quarto *job*. A troca de vizinhança ocorre quando se alcança um ótimo local com relação à vizinhança adotada. As iterações chegam ao fim quando a solução corrente represente um ótimo local com relação a todas as vizinhanças consideradas. Gomes *et al.* (2007) utilizou um método híbrido, envolvendo VND, GRASP, e *Iterated Local Search* (ILS) para resolver um problema de minimização das penalidades associadas aos atrasos e antecipações para uma única máquina, no qual este método é utilizado para melhorar a solução inicial encontrada com o algoritmo GRASP.

*Branch and Bound*: para utilizar este algoritmo na alocação de *jobs* à máquinas, o problema é representado por um diagrama ramificado, no qual cada nó representa uma sequência parcial viável. O final de cada ramificação representa um conjunto total de elementos sequenciados. Para determinar qual sequência deve ser seguida, calcula-se o limite inferior da função objetivo, geralmente associada a um indicador como o *makespan* para todos os nós. Segue-se então o ramo do nó que apresenta o menor limite inferior, e calcula-se novamente os limites dos nós adjacentes. O processo se repete até que seja encontrado o último elemento da solução, ao final da ramificação.

Algoritmos Genéticos: estes algoritmos consistem em uma busca heurística por soluções, utilizando um processo análogo ao de seleção natural. Cada solução compreende determinadas propriedades que são alteradas em um processo iterativo. As soluções com melhor valor para a função objetivo tem uma probabilidade maior de permanecerem no sistema e serem recombinadas com outras soluções, sofrendo também alterações aleatórias. O processo se repete até que um número máximo de iterações seja atingido ou encontre-se na população uma solução com o valor desejado. Haddad *et al.* (2011) utilizou este método para resolver problemas de sequenciamento em máquinas paralelas não-relacionadas, com um tempo de *setup* que depende da sequência escolhida, construindo a população inicial com as soluções iniciais geradas pela heurística *Adaptive Shortest Processing Time* (ASPT), por um algoritmo GRASP, e outras soluções geradas de maneira aleatória. Porções aleatórias da população passam então a ser selecionadas e identificada a solução com menor *makespan*, que é recombinada com outra solução selecionada de outra porção da população. Após a recombinação suas características são mudadas de acordo com probabilidade definida, e soluções com pior indicador são eliminadas.

## 2.4 O Software FlexSim

O FlexSim foi lançado pela *FlexSim Software Products, Inc.* em 2003. Antes do lançamento deste produto, a empresa trabalhava com consultoria, venda e suporte do *software* de simulação predecessor, Taylor II, que em 1998 ganhou uma versão orientada a objeto 3D, o Taylor ED, considerada a primeira ferramenta de simulação de eventos discretos com esta funcionalidade. Em 2000, após a venda da companhia, até então chamada F&H Holland, iniciou-se o estudo da arquitetura de produto e o desenvolvimento de uma nova geração de *softwares* de simulação orientado a objetos 3D, lançando o FlexSim.

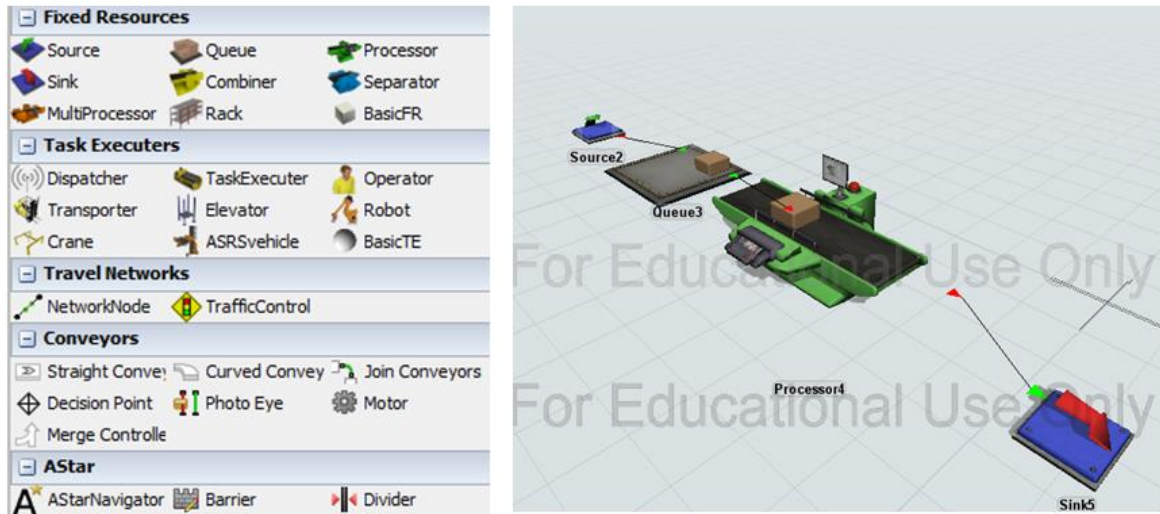
Desenvolvido em C++, trata-se de um simulador de uso geral, visual, interativo, cuja aplicação principal são sistemas de produção. O Software permite a criação de blocos e entidades (*flow items*) completamente encapsulados e modulares, o que significa que cada um desses elementos tem uma série de atributos e funções associadas, extensões definidas pelo usuário (ZAPATA *et al.*, 2014).

Associar variáveis e funções a cada bloco é vantajoso, principalmente em modelos que envolvem construções lógicas complexas e, por consequência, envolvem um uso maior de algoritmos, além de tornar o modelo mais organizado, pois menos blocos são necessários. Em seu estudo comparativo, Zapata *et al.* (2014), comenta que embora o FlexSim seja baseado em paradigmas de orientação a objeto, a herança de classes, uma característica fundamental desta abordagem, não se faz presente. A reusabilidade é possível usando a ferramenta visual como um recipiente da parte do modelo que se deseja replicar, criando uma biblioteca que pode ser utilizada na construção de outros modelos.

O software utilizado conta com um ambiente de desenvolvimento de modelos de simulação bastante intuitivo e visualmente diferenciado. A integração da modelagem com a construção de um modelo visual em 3D é uma das características que mais impacta a experiência do usuário.

De maneira semelhante à maioria dos *softwares* de simulação, o FlexSim permite adicionar blocos ao modelo com atributos e funcionalidades específicas. Os blocos mais essenciais são os do tipo *Source*, que criam entidades novas no modelo, *Queue*, que armazenam entidades em fila, *Processor*, que processa as entidades por um intervalo de tempo estabelecido, e o bloco *Sink*, que representa a saída das entidades do modelo. A Figura 3 exibe os principais blocos utilizados e ilustra como um simples processo pode ser modelado no FlexSim. Devido à disponibilidade dos recursos visuais em 3D, nem sempre os blocos assumem a mesma forma, podendo ser associados a qualquer desenho 3D configurado pelo usuário.

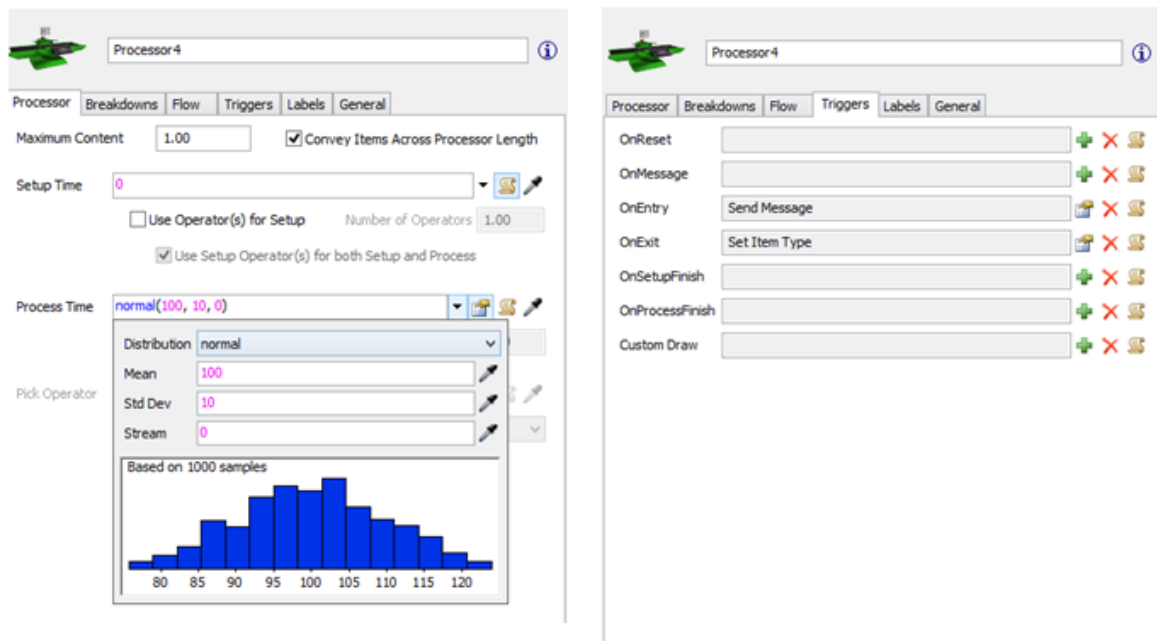
Figura 3 – Principais blocos utilizados no FlexSim e exemplo de um processo modelado



Fonte: FlexSim (2016).

Ao acessar as propriedades de cada bloco, observa-se a presença de diversos parâmetros de configuração, como os representados na Figura 4, do bloco Processor: a quantidade máxima de entidades que o bloco suporta, o tempo de setup, o tempo de processamento, dentre outros. Todos estes parâmetros podem ser definidos por uma constante, um número aleatório conforme distribuição de probabilidade definida, ou ainda serem determinados conforme lógica condicional definida pelo usuário.

Figura 4 – Configurações do Bloco Processor



Fonte: FlexSim (2016).

Uma das funcionalidades mais importantes do FlexSim é possibilidade de utilizar algoritmos de programação em várias partes do modelo. Na Figura 4, observa-se que a determinação do tempo de setup e do tempo de processamento podem acionar um código implementado pelo usuário. Estes comandos também podem ser acionados a partir da configuração dos *Triggers* de cada bloco. No bloco *Processor*, por exemplo, observa-se que pode-se executar um código específico em *flexscript* toda vez que o modelo é reiniciado, quando uma mensagem é enviada ao bloco, quando uma entidade entra ou sai do bloco, ou assim que o setup do processo é concluído.

Como resultado desta funcionalidade, o modelo computacional se torna capaz de compreender uma lógica muito mais complexa com pouquíssimos blocos utilizados e bem menos conexões entre os blocos existentes, tornando o modelo visualmente mais organizado. A possibilidade de enviar mensagens entre os blocos também facilita a modelagem lógica, reduzindo as conexões físicas entre os blocos. Entretanto, uma das maiores desvantagem desta abordagem é que não é possível visualizar tão facilmente as sequência lógica de eventos no modelo, pois grande parte destes eventos estão definidos em cada configuração de cada bloco independente.



## 3 ESTUDO DE CASO

### 3.1 Metodologia

As etapas que compreendem o design de um projeto de simulação, de sua concepção ao resultado final, são definidas de maneiras distintas segundo a ótica de cada autor, embora note-se muitas semelhanças entre os métodos utilizados. Altiok(2007) apresenta um método razoavelmente detalhado que é bastante adequado aos objetivos deste trabalho, envolvendo 8 etapas:

#### - Análise do problema e coleta de informações

Nesta etapa o analista coleta as informações relevantes para o problema estudado e as representa em um formato conveniente, o que inclui identificar parâmetros, medidas de performance, relações entre parâmetros e variáveis, regras presentes na operação dos componentes do sistema, dentre outras informações.

#### - Coleta de dados

Essencial para estimar os dados de entrada. É nesta etapa que são formuladas e testadas hipóteses sobre as distribuições de variáveis aleatórias no modelo. Caso alguns dados não possam ser coletados, pode ainda ser possível estabelecer intervalos para estes dados e realizar simulações para determinados valores destes intervalos.

#### - Construção do modelo

Uma vez que o problema foi profundamente estudado e os dados necessários foram coletados, o analista pode então implementar o modelo, seja utilizando uma linguagem de programação ou utilizando um software específico para este fim.

#### - Verificação do modelo

Consiste em inspecionar o modelo construído, comparando suas especificações e a forma como foi implementado. Discrepâncias nesta etapa são eliminadas corrigindo a implementação do modelo ou suas especificações. Na prática, é comum que as etapas de construção, verificação e validação ocorram em múltiplos ciclos, pois cada modificação importante realizada no modelo necessita ser verificada e validada para prosseguir com o seu desenvolvimento.

#### - Validação do modelo

Na validação, é examinado o quão o modelo se aproxima dos dados reais. Espera-se que determinadas medidas de performance previstas no modelo coincidam ou mostrem-se razoavelmente próximas das medidas observadas no sistema real. Esta etapa só é possível quando o sistema que se deseja modelar já existe de fato e suas medidas de performance podem ser coletadas. Divergências significativas podem indicar que o modelo proposto é inadequado e necessita de modificações, seja em sua lógica ou na análise dos dados de entrada.

#### - *Design* e condução de experimentos de simulação

Uma vez que o modelo é considerado válido, são definidos experimentos de simulação para estimar a performance do modelo e servir como base para resolver o problema proposto. São escolhidos cenários, que são simulados por várias vezes, com diferentes sequências de números aleatórios de modo a reduzir a variabilidade estatística e proporcionar resultados consistentes.

#### - Análise dos resultados

As medidas de performance são sujeitas a análise lógica e estatística. Comparando-se os resultados obtidos com os diferentes cenários, é possível compor argumentos que sustentem as recomendações propostas em seguida.

#### - Recomendações finais

O analista elabora um relatório reunindo os resultados obtidos para formular as recomendações finais do problema estudado no sistema.

### **3.2 Descrição do Processo em Estudo**

O Terminal de Fortaleza, ou BFOR (Base de Fortaleza), é capaz de armazenar em torno de 47 milhões de litros de combustíveis, operando com os produtos Gasolina A, Diesel S-10, Diesel S-500, Biodiesel, Etanol Anidro, Etanol Hidratado e JET (Querosene de Aviação).

O Etanol Hidratado é vendido nos postos de serviço como “Etanol”, utilizado nos carros *flex*. O Etanol Anidro apresenta concentração de álcool superior ao o Hidratado e apresenta coloração avermelhada, devido a adição de corante feita no processo de recebimento. Este combustível não é vendido diretamente para consumo final, sendo adicionado à Gasolina A na

proporção de 27%, conforme exigido por resolução da ANP, a Agência Nacional de Petróleo, o que é comercializado nos postos de serviço como Gasolina C. O mesmo ocorre com o Biodiesel, que é adicionado a todo Diesel comercializado em postos, na proporção de 7%, constituindo o Diesel B. O Diesel S-10 possui menor quantidade de enxofre que o S-500, por isto é vendido na cidade, enquanto o S-500 é vendido no interior do estado.

Periodicamente ocorrem descargas de navios-tanque (NT), geralmente trazendo uma quantidade elevada dos produtos Gasolina, S-10, S-500, JET e Etanol Anidro. O Etanol Hidratado e o Biodiesel, por serem vendidos em menor quantidade, tipicamente são recebidos apenas por descarga rodoviária, modal que atende ocasionalmente também os demais produtos.

O Terminal é dividido em duas áreas, cada uma com bacia de tanques e plataforma de carregamento independentes, embora alguns dos tanques sejam interligados, permitindo a transferência dutoviária entre estes tanques. Neste estudo é abordado apenas a Área 1. Na Figura 5 está indicada a localização de cada elemento da área, além do trajeto realizado pelo caminhão dentro da base para carregamento.

Figura 5 – Mapa do Terminal de Fortaleza



Fonte: Terminal Raízen de Fortaleza (2015).

Durante o horário de funcionamento, motoristas chegam ao estacionamento com os caminhões (também chamados de caminhões-tanque, auto-tanques, ou ainda pelas siglas CT ou AT) vazios para carregamento, e aguardam em fila o atendimento do terminal. No atendimento (*Gate*), é realizado o faturamento da nota fiscal, é feita a programação dos compartimentos a carregar no sistema de automação e é entregue ao motorista os lacres que serão utilizados nas válvulas de fundo e nas tampas superiores dos compartimentos, além das sacolas utilizadas para transportar as amostras de cada compartimento. Concluído o processo, o motorista ingressa na fila para entrar no terminal.

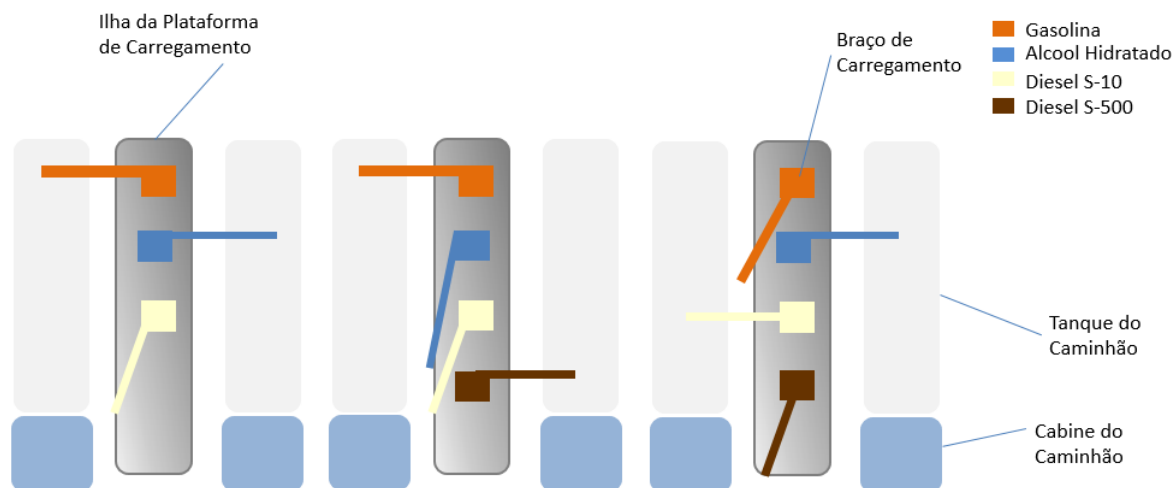
Os caminhões que realizam carregamento podem ser de 3 modalidades diferentes:

- FOB: São fretes de terceiros, que pagam apenas pelo produto, e o cliente se responsabiliza pelo transporte até o destino. Geralmente o cliente contrata uma transportadora para efetuar a entrega, enquanto grandes clientes contam com frota própria para reabastecer seus estoques.
- CIF: O cliente paga pela entrega do produto, logo o transporte é de responsabilidade da distribuidora, que conta com uma transportadora contratada para efetuar as entregas. Os ATs CIF têm prioridade para faturamento, e entram diretamente no terminal, sem necessidade de aguardar na fila externa.
- Congênere (CON): Na base, carregam também os caminhões de outras companhias, que têm contratos para armazenamento de combustíveis, carregamento e descarga. Na fila externa ao terminal, é estabelecido que os ATs FOB e Congênere devem entrar no terminal na proporção de 2:1, respectivamente.

Após o faturamento, a cada caminhão é associada uma programação de carregamento, indicando os produtos e respectivos volumes a carregar. Em fila, o motorista aguarda que a portaria chame o próximo a entrar no terminal. Ao ser chamado, o motorista guia o seu caminhão até a entrada e se dirige à faixa de espera, onde estaciona seu AT. O motorista então desce da cabine, realiza a lacração das válvulas de fundo de todos os compartimentos e confere a programação que vai carregar. Neste momento, já procura verificar com os outros motoristas presentes quais produtos que eles carregarão e o que está sendo carregado nas ilhas ocupadas, para que, quando a próxima vaga surgir, os motoristas saibam quem deverá se dirigir à plataforma. Uma vez na plataforma, o caminhão é estacionado, o motorista acopla o cabo de aterramento ao seu caminhão, e sobe na plataforma utilizando a escada. O processo de carregamento do estacionamento na plataforma até a saída está representado pelo fluxograma no apêndice E.

As 3 ilhas contam com 4 braços de carregamento, cada um associado a um produto diferente ( Diesel B S-10, Diesel B S-500, Gasolina C e Etanol Hidratado), com exceção da ilha 1 que não possui carregamento de S-500. A mistura do Diesel com o Biodiesel é realizada automaticamente durante o carregamento, de modo que o compartimento do caminhão já recebe os dois produtos na proporção correta, e o mesmo ocorre para a mistura de Gasolina A e Anidro. Cada ilha permite o posicionamento de dois carros em suas baias laterais, conforme mostra a Figura 6 embora cada braço de carregamento só possa ser utilizado para carregar um compartimento de um dos ATs posicionados por vez.

Figura 6 – Configuração da plataforma de carregamento



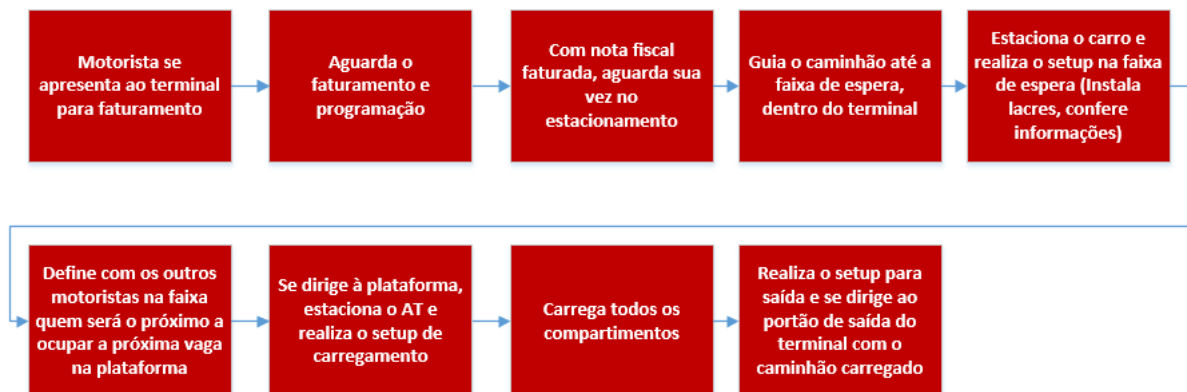
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao subir na plataforma, o motorista desloca a escada pantográfica de modo a apoiá-la sobre o tanque do AT, acopla o trava-quedas ao cinto de segurança e sobe no caminhão, verificando inicialmente se todos os compartimentos estão vazios. Feita a verificação, insere o braço de carregamento do produto desejado em seu compartimento e posiciona o *overflow*, sensor que interrompe automaticamente o carregamento se o produto atingir nível acima da capacidade do compartimento. O motorista então retorna à plataforma pela escada, e inicia a digitação de sua programação no equipamento de automação do carregamento. Após inserir o número do compartimento e confirmar o volume a ser carregado, o motorista pressiona o botão de início, quando as válvulas que bloqueiam a passagem de produto são acionadas e o produto começa a fluir da tubulação para o compartimento do caminhão. O processo de carregamento é exibido em um fluxograma no apêndice E.

Quando todo o volume programado flui para o interior do compartimento, o fluxo de produto é interrompido e o motorista se desloca para o caminhão novamente para escorrer o braço de carregamento e conferir o volume depositado. O motorista insere então o próximo braço de carregamento no próximo compartimento e repete o processo até que todos os compartimentos programados sejam carregados. Geralmente os braços de carregamento na plataforma só alcançam até 4 compartimentos, de modo que, ao concluir o 4º compartimento, o motorista deve deslocar o caminhão para carregar os compartimentos anteriores. Concluídos todos os compartimentos, o motorista realiza então a lacração das tampas superiores, recolhe a escada, retira o cabo de aterramento e movimenta o caminhão até a saída do terminal.

Por volta de 20:00, o faturamento é interrompido e o carregamento prossegue apenas com os carros que já estão dentro da base, até que todos os caminhões concluam seu carregamento e saiam do terminal, o que geralmente ocorre até as 22:00. Com o carregamento concluído e os tanques em repouso, é iniciada a medição de todos os tanques, para verificação do estoque. Uma vez que o estoque é verificado e todas as contabilizações são realizadas, geralmente após a meia-noite, o faturamento é liberado, reiniciando o ciclo diário. O fluxograma da Figura 7 representa a visão geral do processo.

Figura 7 - Fluxograma com visão geral do processo de carregamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3 Definição do Escopo do Estudo de Simulação

A modelagem está naturalmente associada à abstração e simplificação. Se todas as características do sistema em estudo fossem reproduzidas em mínimos detalhes, então o custo

do modelo se aproximaria ao do sistema modelado, e a construção do modelo não traria vantagem alguma (ALTIOK; MELAMED, 2007).

Dentre todos os processos que são realizados no terminal, é definido como objeto deste estudo o processo de carregamento de caminhões, que compreende os eventos que ocorrem desde a chegada do motorista ao terminal até a saída para realizar a entrega do produto no cliente. O carregamento foi escolhido por se tratar de um dos processos mais críticos, no qual a eficiência é fundamental, e qualquer atraso pode ter um impacto direto no cliente.

Neste trabalho, busca-se representar o sistema real de uma maneira que os tempos dos processos e as medidas de performance obtidos com a simulação sejam próximos o suficiente das observações reais, sendo possível observar como o sistema se comportaria em cenários alternativos, configurados no modelo. No sistema em estudo, existem várias particularidades que, se modeladas, elevariam em demasia o tempo de coleta de dados e de desenvolvimento do modelo, tornariam a simulação computacional menos eficiente, além de deixar o modelo mais suscetível a erros, sem que isto necessariamente trouxesse melhorias significativas na qualidade dos resultados obtidos. Algumas das premissas e simplificações adotadas na modelagem deste sistema são apresentadas a seguir:

- São desconsideradas as variações de demanda influenciadas por fatores externos, como alteração de preços de combustíveis, época do ano, feriados, disponibilidade de produto dentre outros. A demanda de caminhões para carregamento é estimada a partir das observações reais segmentadas por faixa horária e por modalidade de frete.
- Assume-se que se houver um aumento futuro na demanda, os tempos entre chegadas por cada faixa horária manterão a mesma proporção e podem ser modelados utilizando as mesmas distribuições de probabilidade, de modo que o tempo médio entre chegadas para uma demanda superior ou inferior a atual pode ser estimado multiplicando os tempos entre chegadas obtidos por uma constante.
- Na geração aleatória de programações de carregamento, desconsidera-se a correlação entre a probabilidade de uma determinada configuração (volume e tipo do combustível) ocorrer em um compartimento com as configurações dos compartimentos anteriormente gerados aleatoriamente.
- A vazão de carregamento é considerada constante. Embora a vazão varie devido a fatores como nível de produto no tanque, número de ATs em carregamento e condição dos equipamentos, tais variações não são consideradas relevantes para o objetivo desta simulação.

- No modelo não são contempladas certas falhas como panes gerais na plataforma, falha no motor do caminhão, paradas esporádicas no carregamento para realização de medição de tanques, dentre outros eventos de maior imprevisibilidade e probabilidade de ocorrência muito baixa. Como falhas, são consideradas apenas os alarmes registrados pelos equipamentos de automação, cuja frequência é maior e pode ser estimada com maior precisão.
- Assume-se que as decisões tomadas pelos motoristas em relação ao carregamento (qual baía ocuparão na plataforma, em que ordem carregarão os compartimentos, dentre outras decisões) são sempre tomadas segundo a mesma lógica, ilustrado no apêndice F.
- Assume-se que os braços de carregamento são capazes de alcançar todos os compartimentos e não há necessidade de movimentar o caminhão uma vez que estacione à plataforma para carregamento.

### 3.4 Coleta e Análise de Dados

Os principais dados necessários para construir o modelo foram obtidos a partir do banco de dados do sistema de automação da empresa. A grande vantagem de utilizar estes dados é que, devido o registro acontecer de forma automática, é possível obter uma quantidade expressiva de dados em pouco tempo e com baixo custo. Os relatórios do controle de entrada, por exemplo, incluem os horários de entrada, saída, início e fim do carregamento, dentre outras informações, conforme ilustrado na Figura 8, em um formato similar ao relatório gerado pelo sistema de automação da empresa. Estes dados podem ser utilizados para calcular o *lead time* real, e outros indicadores como o número de AT carregados por dia.

Figura 8 – Exemplo de relatório similar ao relatório gerado pelo sistema de automação da empresa

Chegada	Companhi	Início Faturamento	Fim Faturamento	Entrada	Início Carregamento	Fim do Carregamento	Hora Saída
0:06:24	FOB	0:06:24	0:10:40	0:10:42	0:17:55	0:53:54	0:55:04
0:10:40	FOB	0:10:40	0:14:28	0:14:30	0:21:43	0:58:39	0:59:49
0:14:28	CIF	0:14:28	0:18:15	0:18:15	0:41:50	1:06:08	1:07:18
0:18:15	CIF	0:18:15	0:22:34	0:22:34	0:41:50	1:11:33	1:12:43
0:30:46	FOB	0:30:46	0:34:35	0:34:37	0:53:54	1:19:42	1:20:52
0:34:35	CIF	0:34:35	0:38:47	0:38:47	1:10:38	1:34:46	1:35:56
0:38:47	CIF	0:38:47	0:42:41	0:42:41	1:16:03	1:51:21	1:52:31
0:42:41	FOB	0:42:41	0:46:52	0:46:54	0:54:07	1:39:20	1:40:30
0:47:09	FOB	0:47:09	0:50:51	0:50:53	0:58:06	1:48:13	1:49:23
0:54:23	FOB	0:54:23	0:59:15	0:59:17	1:06:30	1:28:54	1:30:04
1:49:18	FOB	1:49:18	1:53:36	1:53:38	2:00:51	2:23:46	2:24:56
2:04:35	FOB	2:04:35	2:08:49	2:08:51	2:16:04	2:40:31	2:41:41
2:08:49	CIF	2:08:49	2:13:22	2:13:22	2:23:46	2:52:39	2:53:49
2:14:37	FOB	2:14:37	2:18:32	2:18:34	2:25:47	2:56:17	2:57:27
2:18:32	FOB	2:18:32	2:22:18	2:22:20	2:29:33	2:53:51	2:55:01
2:31:49	CON	2:31:49	2:42:07	2:42:09	2:49:22	3:19:21	3:20:31
2:43:33	CON	2:43:33	2:55:28	2:55:30	3:02:43	3:29:33	3:30:43

Fonte: Elaborado pelo autor.



A programação de cada AT também é registrada no relatório de carregamento, especificando o medidor utilizado para realizar o carregamento (que referencia a ilha em que o AT foi alocado), o volume total programado, o volume carregado e a temperatura média durante o processo. Ainda é possível obter os alarmes registrados pelos equipamentos, indicando o horário em que ocorreram e o horário em que foram corrigidos. Deste banco de dados foi utilizado um intervalo de 3 meses, de Julho à Setembro de 2015.

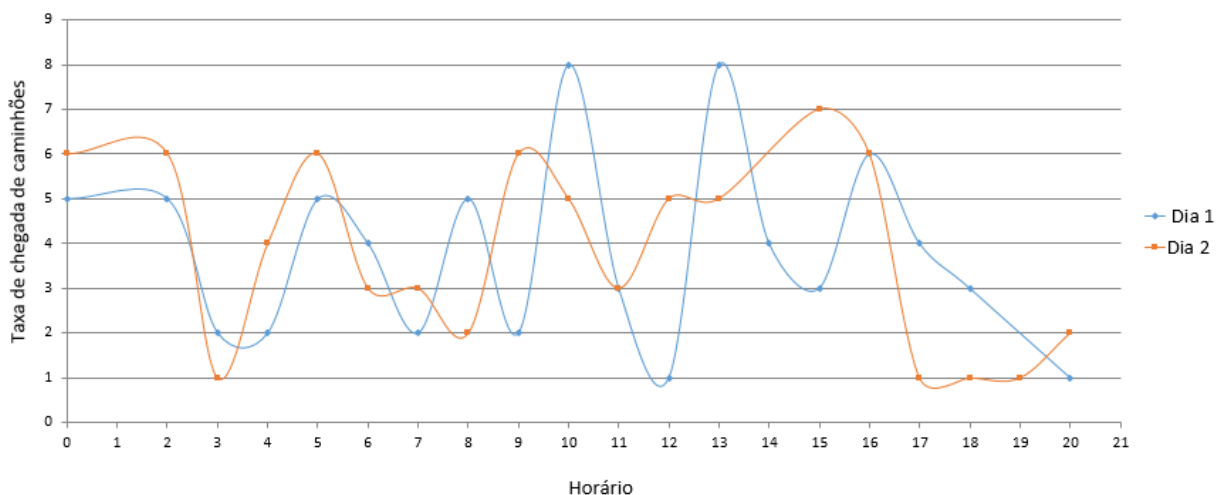
As etapas mais detalhadas do processo, como movimentação do caminhão dentro do terminal, tempo de setup do carregamento, tempo necessário para remover o braço de carregamento de um compartimento e inseri-lo em outro, tempo de deslocamento da plataforma à saída do terminal não são mensurados automaticamente pela impossibilidade da coleta automática, ou por não haver necessidade de fazê-lo, uma vez que os indicadores relevantes para a administração da instalação já conseguem representar o conjunto destes processos. Como exemplo, o intervalo entre o início e o término do carregamento depende diretamente das etapas do processo, como setup do compartimento e digitação da programação de carregamento no sistema. Para obter um maior nível de detalhamento da operação no modelo, entretanto, foi necessário coletar manualmente os dados destas etapas por meio de cronometragem.

#### 3.4.1 Chegada de caminhões

Verifica-se que a taxa de chegada varia significativamente durante o dia. Se esta variável fosse considerada constante, ou com uma distribuição estatística com média constante, seriam obtidos resultados pobres, pois não seriam observados os efeitos das sobrecargas e ociosidades ao longo do dia, resultado da variação da demanda em função do horário.

Na Figura 9, são evidenciadas estas variações, comparando as taxas de chegada entre dois dias do mês de Agosto de 2015. Podem ser observadas algumas características similares, como a taxa alta no início do dia, pois neste horário se inicia o faturamento e geralmente observa-se uma grande fila de motoristas aguardando o atendimento logo ao retomar as operações, a queda da taxa por volta de 3 horas da manhã, porque a grande maioria dos motoristas que aguardava faturamento desde cedo já está com suas notas fiscais emitidas e aguarda carregamento ou já está transportando o produto até o cliente, o aumento da taxa ao final da tarde, quando os motoristas procuram realizar o último carregamento do dia, e finalmente a redução da taxa por volta de 20h, quando as operações do terminal são então interrompidas por completo. Finalizado o processo, as 0 horas do dia seguinte, o Terminal volta a receber ATs para faturamento, iniciando novamente o ciclo.

Figura 9 – Exemplos da variação da demanda em função do horário



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora existam várias diferenças entre os dois dias, assim como oscilações imprevisíveis ao longo de cada dia, é possível obter uma solução para a modelagem da chegada de caminhões, analisando conjuntamente os tempos entre chegadas para cada faixa horária e cada companhia, utilizando dados reais de um período suficientemente longo (neste modelo foram utilizados dados de um período de 3 meses). Esta análise consiste em verificar se é possível modelar os dados conforme distribuição de probabilidade teórica e procura identificar a distribuição que mais se adequa aos dados observados, aproximando o modelo de simulação do sistema real, processo que envolve um série de testes de hipóteses estatísticas.

Define-se uma hipótese estatística como uma afirmação acerca dos parâmetros de uma ou mais populações, como a média ou o desvio padrão. Uma vez que são utilizadas distribuições de probabilidade para representar populações, uma hipótese estatística pode ser utilizada como uma afirmação sobre a distribuição de probabilidade de uma variável aleatória. (MONTGOMERY, 2003). Desta maneira, formula-se a hipótese nula ( $H_0$ ) que a variável aleatória investigada segue uma determinada distribuição de probabilidade, e a afirmação que a variável aleatória não possui relação com a distribuição de probabilidade constitui a hipótese alternativa.

Como os testes são realizados quase sempre com uma amostra da população, em vez da população inteira, não se pode afirmar com certeza absoluta que a hipótese nula é falsa, mesmo se o teste realizado indicar este resultado. Existe portanto uma chance que a hipótese seja rejeitada, mesmo quando verdadeira. Esta rejeição é conhecida como erro tipo I, e sua probabilidade de ocorrência é chamada de  $\alpha$ , ou nível de significância (MONTGOMERY,

2003), e é um importantíssimo indicador da evidência estatística em favor de  $H_0$ . O valor  $p$  é mais comumente utilizado como indicador, definido como o menor nível de significância que levaria a rejeitar a hipótese nula com os dados observados. Tipicamente o valor limiar para  $p$  é de 0,05 ou 0,01. Neste trabalho é estabelecido que se o valor  $p$  encontrado for menor que 0,05, os dados observados são considerados inconsistentes com a hipótese nula, levando a sua rejeição.

Quando os testes envolvem verificar a adequação dos dados amostrais à distribuições de probabilidades teóricas, existem dois métodos mais comumente utilizados: o teste qui-quadrado e o teste Kolmogorov-Smirnov (K-S). Ambos utilizam o mesmo princípio, avaliando quão distante são os dados observados de determinada distribuição de probabilidade teórica, fornecendo evidências para analisar se a hipótese deve ser rejeitada ou não. O teste qui-quadrado compara o histograma empírico de densidade de probabilidade, construído a partir dos dados amostrais com a função densidade de probabilidade teórica. Como o teste qui-quadrado utiliza histogramas na comparação, requer uma quantidade considerável de dados para obter-se um resultado que de fato se assemelhe a curva da distribuição avaliada, enquanto o teste K-S é considerado adequado mesmo para amostras menores, justamente por não segmentar os dados amostrais em intervalos de um histograma (ALTIOK; MELAMED, 2007).

Para esta análise, utiliza-se a ferramenta do FlexSim, o *ExpertFit*, que auxilia nesta análise de dados, gerando gráficos comparativos entre várias distribuições adequadas aos dados inseridos e realizando os dois tipos de teste mencionados. Para cada grupo de dados analisado, são examinadas as comparações visuais entre os histogramas dos dados de entrada e as curvas de distribuição de probabilidade, os *p-plots*, e outros gráficos comparativos, para a lista de distribuições indicadas pelo *software* como mais adequadas, com base nos dados inseridos. As distribuições que mais se adequam são testadas utilizando o teste qui-quadrado e, quando as amostras são menores, utiliza-se o teste K-S. No caso dos tempos de chegada, há um volume considerável de dados para as modalidades de frete Congênere e FOB, logo utilizou-se o qui-quadrado na maioria das avaliações, como é o caso dos tempos de chegada entre 2 e 3h, cujo resultado dos testes é ilustrado na Figura 10.

A análise dos tempos entre chegadas é dividida em intervalos de 1h de duração, para cada modalidade de frete, totalizando 72 grupos de dados a serem analisados separadamente. Em geral, observa-se razoável adequação dos dados as distribuições encontradas, obtendo-se um elevado valor  $p$  e, mesmo nos casos em que o valor  $p$  encontrado é menor, ainda é superior

aos 5% estabelecidos como limiar, por exemplo, na faixa horária de 17h, apresentando valor  $p$  de 7% . A lista completa de distribuições consta nos apêndices A e B.

Figura 10 – Teste qui-quadrado para a amostra dos tempos entre chegadas

Equal-Probable Chi-Square Test with Model 1 - Pearson Type VI

Number of intervals                    40  
 Expected (model) count                6.475  
 Test statistic                            32.11969

Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
39	0.774	44.539	48.126	50.660	54.572	62.428
	Reject?	No				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os ATs CIF, é mais difícil obter resultados consistentes analisando os tempos entre chegadas. Isto ocorre devido ao fato de os tempos entre chegadas destes ATs serem mais suscetíveis a variações, além do tamanho menor da amostra, o que dificulta a identificação de padrões para estes tempos. Deste modo, é preferível inserir no *FlexSim* a taxa média de chegada. O *software* considera a chegada de caminhões CIF como um processo de Poisson, e gera os tempos entre chegadas exponenciais, com base nas taxas médias inseridas. As taxas obtidas para todas as faixas horárias constam no apêndice C.

### 3.4.2 Programação dos Compartimentos

A programação de cada carregamento consiste em definir um conjunto de compartimentos, e a cada compartimento se atribui o produto que será carregado e o respectivo volume. Na prática, vários fatores influenciam na programação escolhida, como a capacidade do tanque do caminhão, sua compartimentação, a necessidade do cliente e a disponibilidade do produto.

Define-se então a programação de cada AT com três variáveis:

$n$ , o número de compartimentos programados para carregamento;

$P_i = [P_1, P_1, \dots, P_n]$  , um vetor contendo o tipo de produto carregado em cada compartimento  $i$  , sendo  $P_i$  representado por um número inteiro de 1 a 4 ( 1 para Gasolina, 2 para S-10, 3 para S-500, e 4 para Etanol);

$V_i = [V_1, V_2, \dots, V_n]$  , um vetor contendo o volume de produto carregado em cada compartimento  $i$ .

Com o objetivo de gerar programações aleatórias que reproduzam o que é observado na prática, inicia-se a análise classificando as programações quanto à combinação de produtos utilizada. Os carregamentos registrados no relatório para o período de 3 meses são classificados quanto a combinação dos tipos de combustível, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Probabilidade de que a programação de um caminhão aleatório apresente determinada combinação de combustíveis em sua programação

% de Observações	Probabilidade Acumulada	Combinação
28,82%	28,82%	GA+S10
19,07%	47,89%	GA+S10+AH
11,19%	59,08%	GA
10,77%	69,85%	GA+AH
8,77%	78,62%	GA+S10+S500
8,61%	87,24%	S10
6,08%	93,31%	GA+S500
1,58%	94,90%	Todos
1,41%	96,31%	S10+S500
1,39%	97,70%	GA+S500+AH
1,04%	98,74%	S500
0,81%	99,56%	S10+AH
0,23%	99,78%	AH
0,12%	99,91%	S10+S500+AH
0,09%	100,00%	S500+AH

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta classificação se mostra importante quando se observa que existe grande correlação entre os tipos de combustíveis programados. Por exemplo, a chance de um caminhão ser programado para carregar apenas Diesel S-500 e Álcool Hidratado é menor que 1%. Enquanto a chance de unir Gasolina e Diesel S-10 em uma programação é de 28%.

A geração aleatória de compartimentos se inicia com a determinação da combinação atribuída ao AT, utilizando a inversa da função de distribuição cumulativa, obtida a partir dos dados observados. Na Tabela 1, está listada a série de combinações possíveis  $x_i$ , assim como a probabilidade de que uma variável aleatória  $X$  assumira uma combinação igual ou anterior a  $x_i$ ,  $P(X \leq x_i)$ . No modelo, uma variável aleatória  $a$  que segue distribuição uniforme de 0 a 1 é gerada, e é atribuída a combinação  $x_i$  ao AT, se  $P(X \leq x_{i-1}) \leq a < P(X \leq x_i)$ .

Uma vez definida a combinação, é escolhido o número total de compartimentos  $n$ . Este número é obtido a partir da análise dos números de compartimentos de cada combinação de produtos separadamente. Esta separação também se deve a correlação entre os dados: verifica-se, por exemplo, que quando uma programação é feita exclusivamente para o combustível

Álcool Hidratado, o número de compartimentos é sempre igual a 1, enquanto para uma programação com Gasolina, exclusivamente, o número médio de compartimentos é igual a 4, mas pode variar de 1 a 9. Devido a alta variabilidade encontrada nos dados, foram utilizadas distribuições empíricas para todos os intervalos, com exceção das combinações de S-500,S-5000+AH, modeladas com distribuição binomial, e as combinações AH e S-500+AH, consideradas como constantes.

Após definir o número de compartimentos, são gerados os valores de  $V_i$  e  $P_i$ .  $P_i$  é definido com base na probabilidade de um compartimento ser atribuído a um determinado tipo de produto. Esta probabilidade é estimada com base nas observações de cada combinação de produtos. Em programações com Gasolina e S-10, por exemplo, a probabilidade de  $P_i$  assumir o valor 1 (ser gasolina) é de 59,5%. Em uma combinação que envolve apenas Gasolina e Alcool, a chance de um compartimento aleatório ser programado para carregar Gasolina é maior, assumindo o valor de 72,93%.

O valor de  $V_i$  é gerado aleatoriamente do mesmo modo que as combinações de produtos, com base na probabilidade de ocorrência de cada volume. Na Tabela 2, verifica-se que a grande maioria dos compartimentos programados assume um volume de 5.000 litros, enquanto outros valores próximos são pouco representativos.

Tabela 2– Probabilidade de que um compartimento aleatório de um caminhão tenha o volume especificado

Volume do Compartimento	Probabilidade de Ocorrência	Probabilidade Cumulativa
5000	89,79%	89,79%
3000	3,56%	93,36%
10000	2,47%	95,82%
4000	1,30%	97,12%
8000	1,10%	98,22%
6000	0,96%	99,18%
7000	0,82%	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

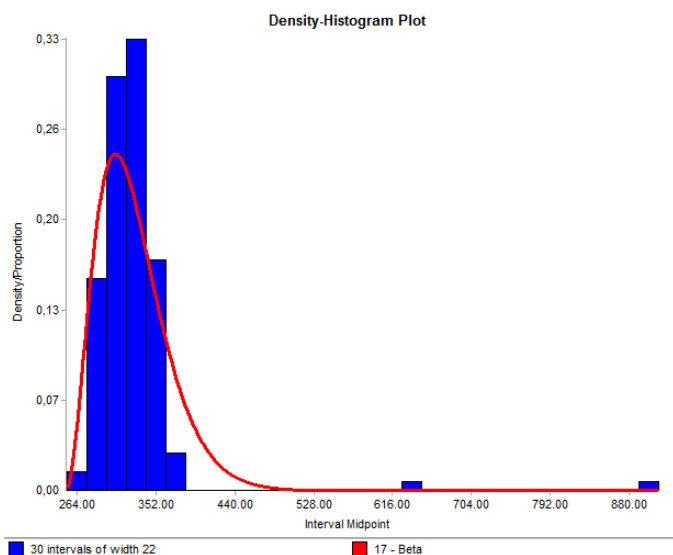
A programação é concluída com a definição de todas as variáveis. Isto terá influência direta no tempo de processamento, pois como a vazão é constante, o volume é diretamente proporcional ao tempo de escoamento do produto, e os tipos de produtos escolhidos podem influenciar na ociosidade observada nas plataformas, uma vez que, em cada ilha, só pode ser carregado um tipo de produto por vez.

### 3.4.3 Faturamento

O faturamento pode ser dividido em duas etapas. Na primeira, o motorista consulta seu pedido com o faturista, confirma a programação, e recebe os lacres e sacolas para carregamento. Em seguida, se dirige até a sala de autoatendimento, aguarda que as informações sejam processadas pelo sistema, seleciona suas notas fiscais para impressão e recolhe todo o material. Nota-se que esta segunda etapa não ocupa o atendente, é feita apenas pelo motorista.

Ao analisar os tempos de atendimento da segunda etapa em segundos, verifica-se na Figura 11 que apenas alguns pontos isolados se distanciam significativamente das demais observações.

Figura 11 - Histograma do tempo de atendimento em segundos



Fonte: Elaborado pelo autor.

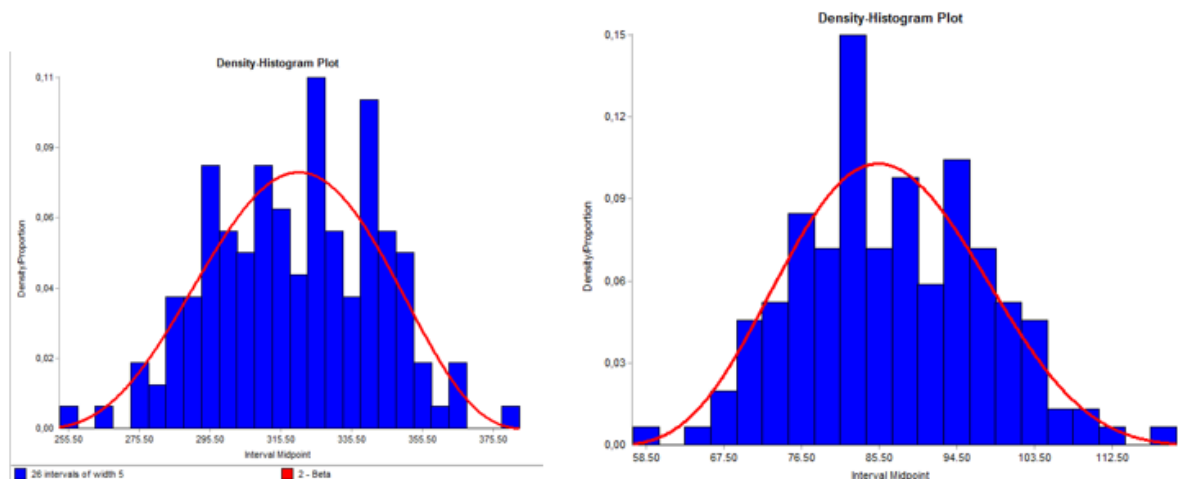
Em um primeiro instante, pode-se interpretar esses valores como *outliers* e desconsiderá-los. Montgomery (2003), comenta que *outliers* as vezes podem representar informações importantes sobre circunstâncias não usuais de interesse para experimentos e não devem ser automaticamente descartados. De fato, para este processo, é possível observar variações significativas apenas em dois casos: se o funcionário do atendimento estiver ocupado com outra atividade ou se houver alguma falha no sistema.

É preferível, para analisar corretamente os dados, separar os tempos de atendimento que se distanciam por demais da média, utilizando apenas o restante dos dados para definir a distribuição de probabilidades utilizada no modelo. As observações extremas são interpretadas como falhas no processo neste contexto, cujas causas mais comuns foram previamente

apresentadas, e a estas é associada uma probabilidade de ocorrência, com base na frequência que são observadas.

Analisando os dados sem as duas observações extremas, identifica-se que o processo pode ser melhor representado pela distribuição Beta, com um valor  $p$  de 0.22 para o teste K-S. Com base nas observações, é estimada a taxa de falha no processo 1.33%. A estas falhas, atribui-se um atraso médio de 12 minutos, igual à média dos tempos de faturamento em caso de falha. É realizada a mesma análise para a primeira etapa do atendimento, encontrando resultados exibidos na Figura 12.

Figura 12 – Histograma dos tempos de atendimento sem as observações extremas



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.4.4 Falhas e Interrupções

Várias podem ser as causas das falhas observadas no carregamento, assim como suas durações. Conforme definido no escopo, neste modelo são consideradas apenas as falhas registradas como alarmes nos equipamentos de automação do carregamento. O equipamento identifica quando ocorre algum problema durante o carregamento: se houve falha na obtenção da temperatura da tubulação, se o aterramento do caminhão não está funcionando corretamente, ou se o produto não está fluindo apesar de ter sido liberado pelas válvulas, ou algum outro problema detectável pelo equipamento.

Ao identificar uma destas falhas, o carregamento é interrompido e é registrado um alarme relacionado a falha observada, que exige que o supervisor verifique a situação e autorize a continuação do carregamento, caso o problema seja sanado ou seja identificado que o alarme



era falso. Para modelar estes dados, observa-se a frequência com que estes alarmes ocorrem por dia para estimar o tempo médio entre falhas, registrados no banco de dados, além do tempo médio para retirada do alarme. O sistema de automação registra a ocorrência destes alarmes, indicando o horário e o tipo do alarme.

Os dados obtidos para o número de alarmes por dia podem ser modelados conforme a seguinte distribuição:

$$\text{beta}(0.617261, 284.473238, 1.030395, 6.038284)$$

O tempo necessário para retirada é modelado conforme a distribuição Johnson Bounded:

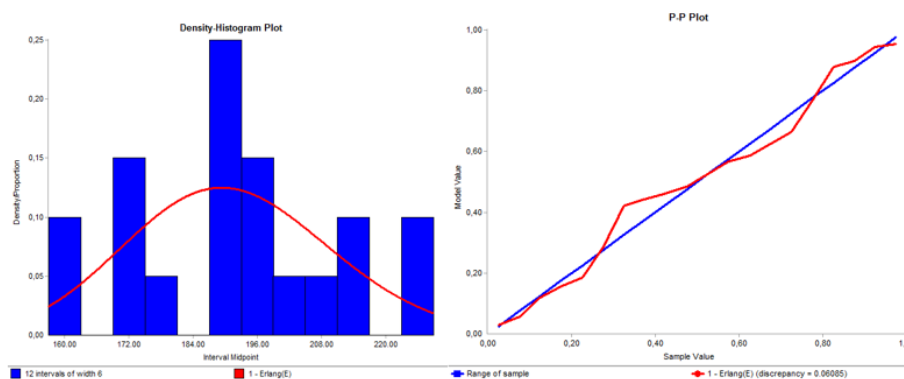
$$\text{johansonbounded}(69.154702, 208.569742, -0.049841, 0.698523)$$

### 3.4.5 Demais etapas

As demais etapas do processo são tarefas executadas pelo motorista durante o carregamento. Como os tempos obtidos com estas etapas não são registrados automaticamente no banco de dados, para cada etapa, foram realizadas cronometragens dos intervalos de tempo e identificada a distribuição de probabilidades que melhor representa o conjunto de resultados obtidos. Como muitas destas etapas são executadas sequencialmente sem interrupções, adotou-se o método contínuo, registrando-se apenas o valor instantâneo do tempo em minutos e segundos, utilizando então a diferença entre dois instantes para determinar o tempo do processo, sendo coletadas 20 amostras para cada processo. Os resultados constam no apêndice D.

Devido ao tamanho relativamente menor das amostras, torna-se mais difícil visualizar a semelhança entre os dados com a distribuição teórica em um histograma, comparados aos dados anteriormente analisados que contam com um histórico de 3 meses de observações, como é possível observar na Figura 13 a comparação para o tempo de setup de carregamento.

Figura 13 – Histograma dos dados observados para os tempo de setup de carregamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Isto também influencia na aplicação dos testes de aderência: na grande maioria destas etapas foi utilizado o teste K-S em vez do teste qui-quadrado, capaz de obter resultados satisfatórios em amostras menores, conforme discutido anteriormente. Entretanto, como a variação dos tempos destes processos não é elevada, também foram obtidos valores  $p$  satisfatórios para todas as amostras coletadas, indicando uma relação confiável entre os dados coletados e as distribuições de probabilidade selecionadas, conforme observado na Figura 14.

Figura 14 – Teste K-S para as observações do tempo de setup do carregamento

**Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Erlang(E)**

Sample size                    20  
Normal test statistic        0.12180  
Modified test statistic      0.54469

Note:                    No critical values exist for this special case.  
The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
20	1.102	1.186	1.315	1.434	1.577
Reject?	No				

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.5 Modelagem Computacional do Sistema

#### 3.5.1 Estacionamento e Atendimento

O modelo se inicia com os eventos que antecedem a entrada do caminhão-tanque no terminal para carregamento. As entidades são geradas pelos blocos do tipo *Source*, definidos como Entrada CON, Entrada FOB e Entrada CIF no modelo, ilustrados na Figura 15.

Figura 15- Modelagem computacional das filas do estacionamento e atendimento(Gate) e propriedades da entidade Auto-Tanque



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nestes primeiros blocos, é executado um código na saída de cada caminhão que define os atributos seguintes para a entidade:

- Companhia: Modalidade do frete, que pode assumir os valores CIF, CON ou FOB;
- Id: Identificação única da entidade;
- Combustíveis: Tabela com a programação de carregamento. Cada linha corresponde a um compartimento, representado por 3 colunas: a primeira contém o tipo de produto  $P$ , a segunda armazena o volume programado  $V$  e a terceira indica o status do carregamento deste compartimento, assumindo o valor 0 quando o compartimento está vazio, -1 quando está em carregamento e se torna igual ao volume programado quando o compartimento é concluído;
- $p$ : Referência numérica ao compartimento que está sendo carregado no momento. Quando nenhum compartimento está sendo carregado, este atributo assume valor zero.

Em cada bloco *Source*, são definidos os tempos entre chegadas para cada companhia, que podem ser inseridos no campo *Inter-Arrivaltime*. Entretanto, como os tempos entre chegadas foram modelados como distribuições de probabilidade distintas para cada faixa horária o bloco é configurado para obter os tempos de chegada a partir de um algoritmo que identifica a faixa horária em que se encontra o tempo atual e retorna um valor aleatório que segue a distribuição atribuída a este horário. Se for identificado que o próximo tempo entre chegadas gerado é longo o suficiente para ultrapassar a faixa horária atual, o tempo da próxima chegada é recalculado a partir do próximo intervalo, utilizando sua respectiva distribuição.

Com seus atributos definidos, a entidade prossegue ao faturamento, onde são utilizados dois blocos independentes do tipo *Processor*, pois os carregamentos Congenere são faturados pela respectiva companhia. Os carregamentos FOB e CIF utilizam o mesmo recurso, por isso há apenas um bloco de processamento para ambos. Os fretes CIF tem prioridade na fila, portanto o bloco é configurado para somente processar entidades originadas do bloco Entrada FOB quando não houver nenhuma entidade do bloco Entrada CIF que ainda não tenha passado pelo faturamento.

### 3.5.2 Faixa de Espera e Plataforma

No interior do Terminal, antes de posicionar o AT para carregamento, o motorista guia o caminhão por uma trajetória e se dirige a uma faixa de espera. O terminal estabelece a política de manter apenas 4 caminhões (CON e FOB) na faixa de espera. Não há limite para os carros CIF. No modelo, é definida uma fila separada para os caminhões CIF, sem limite definido. O restante dos ATs são destinados à outra fila, o bloco Faixa de Espera, no qual é definido o limite de 4 ATs em fila.

A existência desta fila interna evita ociosidade na plataforma, pois quando um carro se prepara para sair do terminal, o próximo a carregar já está perto o suficiente e pronto para movimentar o caminhão até a baia vaga. É com o caminhão posicionado na faixa de espera que os motoristas conferem sua programação e realizam a lacração de seus compartimentos, o que pode ser compreendido como uma parte do setup do carregamento, definido também por meio de um bloco *Processor*, nomeado Setup do AT. O limite de entidades em processamento (*Maximum Content*) deste bloco é definido com um valor alto o suficiente de forma que não haja limitação alguma, pois é um processo realizado por cada motorista, de modo que todos os caminhões podem ser processados simultaneamente.

Este tempo de *setup* não é refletido no *lead time* da operação, uma vez que o processo é realizado enquanto outros carros estão utilizando a plataforma. O tempo de setup realizado na faixa de espera só terá impacto na operação quando há ociosidade nas baias. Quando a demanda é baixa o suficiente, as baias permanecem vazias até que o motorista termine o *setup* e se desloque à plataforma.

No bloco Faixa de Espera, é implementado um algoritmo para identificar quando uma baia está vazia e associar um carro aguardando carregamento à esta baia. Na prática, a atribuição de motoristas às baias envolve a tomada de decisão dos motoristas presentes na faixa de espera, envolvendo ocasionalmente o operador da companhia, e é influenciada pela ordem de chegada e programação de cada AT em espera, pela programação dos ATs em carregamento, dentre outros fatores. Entretanto, neste modelo assume-se para simplificação que a ordem de carregamento é determinada exclusivamente pela ordem de chegada.

No carregamento, a prioridade dos caminhões CIF se faz presente por meio de uma política que estabelece que devem haver 2 baias ocupadas por ATs deste tipo de frete. Logo, sempre que surge uma vaga, se existirem menos que duas baias ocupadas por carros CIF, o primeiro caminhão da fila Faixa de Espera CIF é deslocado à baia vaga. Caso contrário, esta

vaga é ocupada pelo primeiro carro da fila Faixa de Espera, independente de ser classificado como FOB ou CON, pois estes ATs já entram em proporção definida no terminal.

A plataforma é onde se concentra a maior parte lógica do modelo, e que exige mais simplificações devido a complexidade do sistema real. No modelo computacional, cada ilha é representada por um grupo de blocos, ilustrado na Figura 16. Quando o bloco Faixa de Espera desloca um AT para a baía  $i$ , o bloco que recebe a entidade é o AT Baía  $i$ . Uma vez que a entidade chegue a esta fila, definida com capacidade igual a 1, permanece até que o carregamento esteja concluído. No bloco Driver Hold, do tipo *Source*, é gerada uma entidade motorista no tempo de simulação 0, que permanece neste bloco até o final da simulação. A chegada do AT no bloco AT Baía  $i$  aciona um código para criar uma cópia desta entidade gerada e posicioná-la no bloco Driver Baía  $i$ .

Figura 16 – Representação gráfica da plataforma de carregamento



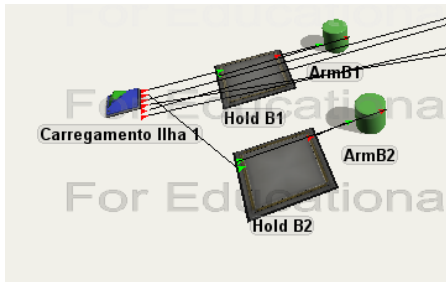
Fonte: Elaborado pelo autor.

Antes de iniciar o carregamento, o motorista retorna ao bloco *Processor* identificado como *DriverDelay i*. Neste bloco, o tempo de processamento é modelado conforme o tempo de setup do carregamento. O motorista então retorna ao bloco *Driver Baía i* e permanece até o final do carregamento. O processo de carregamento em si é realizado por outro conjunto de entidades, constituído pelos blocos representados na Figura 17.

O bloco Carregamento Ilha 1 cria duas entidades no início da simulação, que permanecem em fila nos blocos *Hold B1* e *Hold B2*. Quando o motorista no bloco *Driver Baía 1* decide carregar um compartimento, envia uma mensagem que libera a entidade na fila

B1 para o processador ArmB1, que demora um tempo para processar a unidade. Este tempo é determinado conforme a vazão para o combustível em questão e o volume do compartimento carregado, incluindo falhas, quando ocorrem. Ao finalizar o carregamento do compartimento, a entidade sai do bloco ArmB1 e retorna ao bloco Hold B1, o que dispara um *Trigger* para enviar uma mensagem ao motorista informando que o carregamento foi concluído, e ali permanece até que um novo compartimento seja carregado.

Figura 17– Blocos que representam o processo de carregamento de cada compartimento do AT



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após finalizados todos os compartimentos, o motorista é movimentado para o bloco de saída *EntranoAT* e o caminhão é deslocado para a saída, passando por outro *Processor* que representa o tempo de setup para a saída e o deslocamento do caminhão até a saída do terminal. No bloco de saída *TerminalExit* é registrado todo o carregamento realizado pelo AT em um relatório.

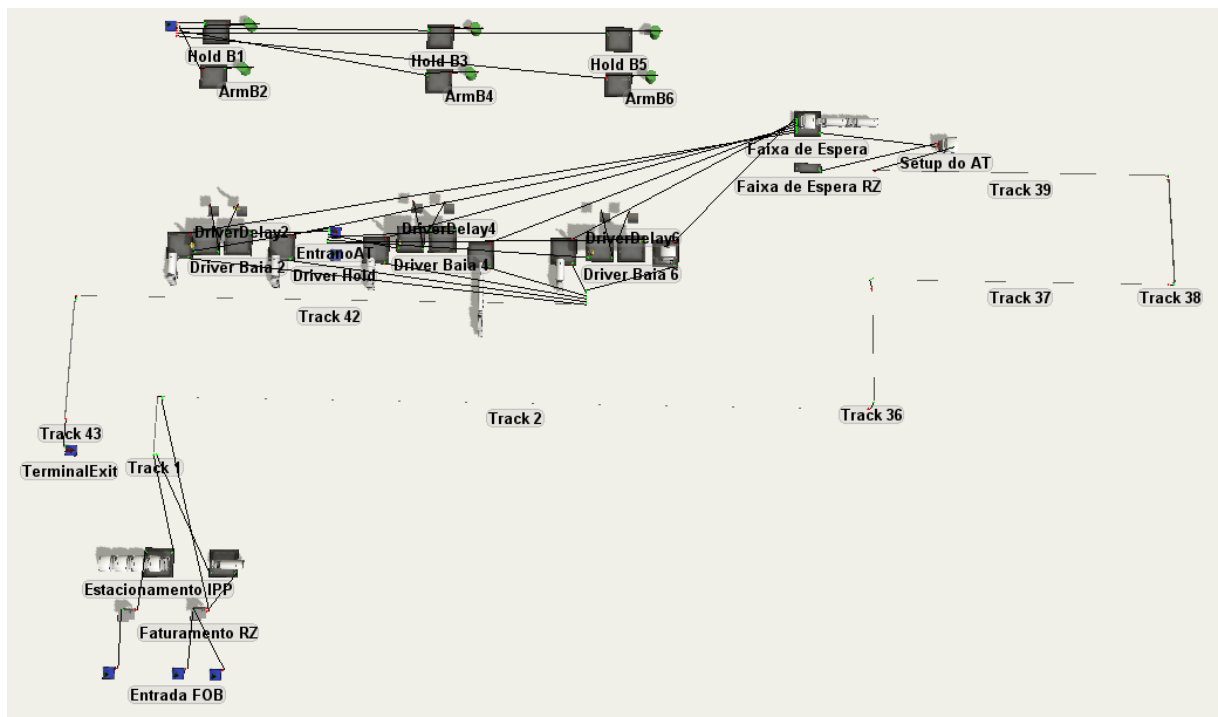
O bloco *Driver Baia i* controla a maioria das operações de carregamento por meio de um algoritmo que é executado sempre que este bloco recebe uma mensagem ou quando uma entidade entra neste bloco. O motorista que guia o AT em carregamento na plataforma precisa definir o próximo compartimento a carregar ao concluir o compartimento anterior ou ao estacionar na plataforma para carregamento. Esta decisão depende também do outro AT que está carregando na mesma ilha, pois os recursos são limitados, com apenas um braço de carregamento de determinado produto por ilha.

O processo decisório implementado no modelo é uma simplificação das condições verificadas pelos motoristas no sistema real, representado pelo fluxograma no apêndice F. O motorista da baia 1 precisa verificar primeiramente qual dos dois (representados por AT1 e AT2 no fluxograma) tem prioridade no carregamento, definida apenas pela ordem de chegada. O motorista com prioridade escolhe o próximo compartimento a carregar. Identifica-se que na

prática, os motoristas tendem a escolher os tipos de produto conforme a seguinte ordem: Gasolina, Diesel S-10, Diesel S-500, Álcool Hidratado, e segue-se a mesma ordem no modelo.

Quando o motorista com prioridade escolhe o próximo compartimento a carregar, o motorista não prioritário decide qual compartimento carregar, excluindo de suas possibilidades o braço de carregamento já utilizado pelo colega ao lado. Caso o motorista sem prioridade não tenha mais nenhum compartimento pendente com exceção dos compartimentos com o tipo do produto cujo braço de carregamento está sendo atualmente utilizado pelo AT prioritário, permanece aguardando até que o AT prioritário conclua todos os compartimentos deste tipo de combustível, disponibilizando-o para o AT não prioritário. O processo de escolha do próximo compartimento se repete até que não existam mais compartimentos pendentes, e o motorista guia o AT para a saída. É possível visualizar todos os blocos do modelo na Figura 18.

Figura 18 – Visão geral do modelo computacional no FlexSim com todos os blocos utilizados



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Validação do Modelo

#### 4.1.1 Indicadores de Performance

O indicador definitivamente mais importante nas análises realizadas é o *lead time*, um dos mais utilizados pela empresa para medir a eficiência no carregamento e usualmente chamado de *Gate-to-Gate* (G2G). Neste contexto, o G2G literalmente representa o tempo decorrido entre a entrada do AT no portão do terminal e a sua saída.

O volume carregado por dia e o número de ATs carregados por dia são dois outros indicadores também monitorados pela administração da instalação. Na simulação da maioria dos cenários, entretanto, estes dois indicadores não são observados, pois nem sempre estão diretamente relacionados à eficiência das operações, uma vez que a demanda de caminhões e o volume carregado são determinados pelas distribuições de probabilidade obtidas com a análise dos dados reais e não são alterados em função da eficiência dos processos internos. Estes indicadores de performance serão mais utilizados durante o estudo de demanda e capacidade.

O tempo médio de espera também é medido na instalação, embora seja menos utilizado. Está diretamente associado à eficiência do carregamento e, geralmente, suas variações são similares ao G2G, devido ao tempo de espera, assim como o *lead time* serem fortemente relacionados à eficiência do processo de carregamento. Compreende o tempo que o motorista aguarda para iniciar o faturamento e o tempo que aguarda para iniciar o carregamento após entrar no terminal.

O indicador horário de saída do último AT não é regularmente mensurado pela companhia, embora se mostre importante neste estudo para estabelecer um limite à capacidade do terminal, pois a capacidade do terminal em atender a demanda é influenciada pelo horário de encerramento diário das operações para contabilização do estoque. Finalmente, o indicador de Ociosidade na plataforma também não é mensurado pela companhia e foi considerado neste estudo por representar um dos aspectos do funcionamento do terminal que se deseja explorar: O tempo que os ATs ocupam a baía sem estarem realizando carregamento, ou seja, o tempo que a baía permanece ociosa. Algumas causas desta ociosidade são inerentes ao processo, por exemplo, quando o motorista realiza o *setup* de carregamento após se posicionar na baía, entretanto, por muitas vezes a baía fica ociosa por que o motorista está aguardando que o



carregamento da baia ao lado termine para que possa utilizar o braço do produto, e isto é uma ineficiência que deve ser visualizada e pode ser reduzida.

#### 4.1.2 Determinação das configurações da simulação

Os experimentos de simulação têm como objetivo estimar a performance do sistema por meio de indicadores em diferentes cenários. Uma vez que o modelo é composto por diversos eventos probabilísticos, os resultados observados a partir da simulação do sistema apresentam variabilidade, de modo que duas sequências de números aleatórios utilizados no modelo produzirão resultados diferentes. Um indicador de performance pode ser estimado pela média das observações, mas é necessário determinar a precisão do indicador. Banks (2014) apresenta uma maneira de definir o número de replicações do modelo com base na precisão desejada. Determinando  $\pm\epsilon$ , o erro máximo aceitável para um parâmetro  $\theta$ , é possível determinar o número de replicações suficiente para garantir que a diferença entre a média das observações e a média real do parâmetro não excederá o valor de  $\pm\epsilon$  com uma probabilidade de  $1-\alpha$  por  $R = \left(\frac{t_{\alpha/2, R-1} S_0}{\epsilon}\right)^2$ . Foi escolhido um dos principais parâmetros de performance, o *lead time*, com valor de  $\alpha = 0,05$  (95% de confiança) e o erro máximo de  $\pm 3$  minutos.

É realizada uma simulação com um número de replicações inicial,  $R=10$ , e coletado o desvio padrão  $S_0$  da amostra. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 19.

Figura 19 – Resultados obtidos para simulação com número de replicações inicial ( $R=10$ )

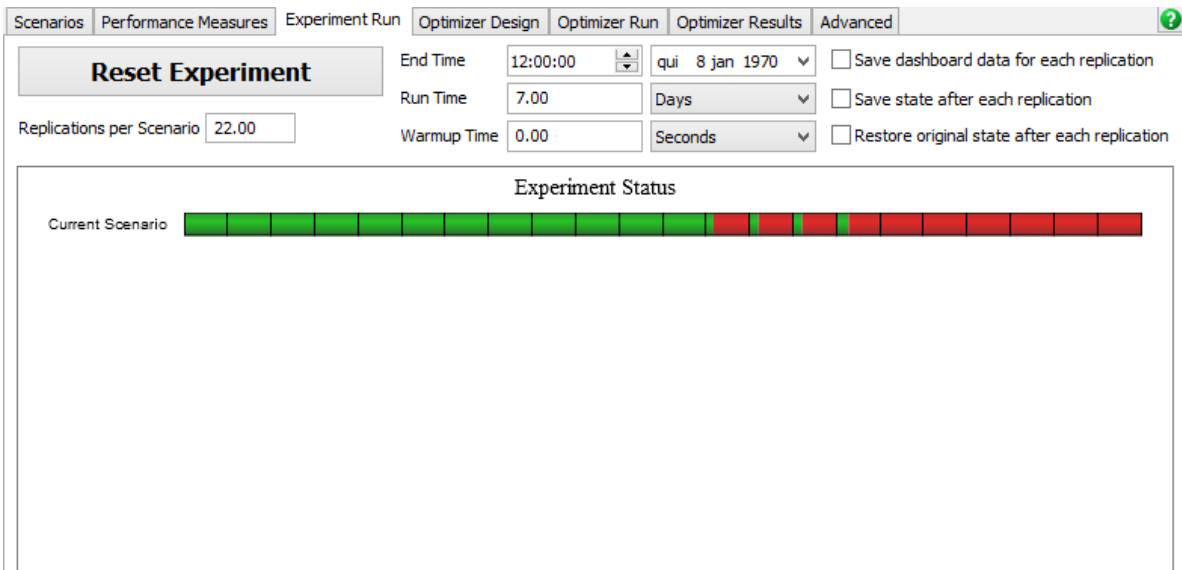
<b>G2G</b>								
	<b>Mean (90% Confidence)</b>			<b>Sample Std Dev</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>		
<b>Current Scenario</b>	74.0	<	77.5	<	81.1	6.1	67.1	86.0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para 10 replicações, o valor de  $t_{\alpha/2, R-1}$  é obtido pela tabela da distribuição t de student, utilizando 9 graus de liberdade e nível de confiança 95% bicaudal: 2,2621. Utilizando o desvio padrão de 6,1 minutos obtido com a simulação, o valor obtido para R é igual a 21,1564. Deste modo, os experimentos de simulação devem ser realizados com 22 replicações para obter-se resultados com erro aceitável.

O tempo de simulação para cada replicação é definido como uma semana, ou 7 dias. Como o terminal sempre interrompe completamente suas operações no fim do dia, retornando ao estado em que se encontrava antes da abertura e inicia novamente o ciclo no dia seguinte, define-se o tempo de *warm-up* como zero. O *software* utilizado possibilita a simulação de experimentos com as configurações determinadas, como ilustrado na Figura 20.

Figura 20 – Configurações do modelo para execução de experimentos de simulação



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.3 Comparação dos indicadores

Antes de explorar outros cenários do sistema simulado, é necessário verificar se de fato o modelo desenvolvido é capaz de reproduzir o sistema real com fidelidade. Caso contrário, as conclusões obtidas a partir da introdução de cenários alternativos poderiam diferir das conclusões que seriam obtidas se os cenários fossem implementados no sistema real. Para realizar esta verificação, o terminal é simulado com o número de replicações determinado, sem que haja nenhuma modificação no modelo.

A ferramenta do *FlexSim* gera os resultados para os indicadores conforme ilustrado na Tabela 3, indicando o intervalo de confiança para a média, o desvio padrão e os valores mínimos e máximos observados.

Tabela 3 - Resultados obtidos para a simulação com o terminal sob funcionamento normal

Indicador de Performance( diário)	Média	Intervalo de Confiança (95%)		Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
		Limite Inferior	Limite Superior			
G2G	78,2	74,5	81,9	8,3	60,6	89,8
Tempo de Espera	57	41	73	36	19	136
Ociosidade	21,7	21,25	22,15	1,01	19,02	22,93
Número de ATs	125,2	122	132,7	8,4	115	149
Horário de saída do último AT	21,23	21,06	21,41	0,4	20,67	22,27
Volume carregado	3.033.455	2.926.773	3.140.136	240.568	2.566.000	3.504.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos indicadores mensurados, apenas o *Gate to Gate*, o número de ATs carregados, e o volume total carregado são acompanhados pela empresa. Utilizando um histórico de 3 meses de operação, obtidos à partir do banco de dados do *software* de automação do carregamento, observa-se um *lead time* médio de 80,6 minutos. É de se esperar que haja certa diferença entre o tempo real e o obtido com a simulação, devido as simplificações consideradas no modelo, como a decisão de atribuição de caminhões a ilhas, as falhas não consideradas, as oscilações de demanda não previstas, dentre outros fatores mencionados na definição do escopo. Apesar disto, o indicador apresentou média muito próxima das observações reais, resultando em uma diferença de 2,4 minutos. Observa-se também que o valor real se encontra dentro do intervalo de confiança de 95% obtido a partir da simulação. Não havendo evidência estatística para rejeitar a hipótese que a média real é diferente da obtida com a simulação, entende-se que o *lead time* obtido é consistente com o *lead time* real.

Outra parte do processo que não pode ser avaliada somente pelo G2G é o o número de ATs atendidos por dia, que está relacionada à chegada de caminhões. A média obtida com as observações do sistema real é 127,3 caminhões, novamente próxima à média obtida com a simulação e dentro do intervalo de confiança estabelecido .

O volume carregado por dia, apesar de diretamente relacionado com o número de ATs, pode indicar também se a modelagem da programação de carregamento dos caminhões está correta. A média real obtida com as últimas observações é de 2.935 metros cúbicos de combustíveis. É provável que o aumento da movimentação na simulação, comparado ao modelo real, seja devido ao fato de a modelagem da programação ser realizada de forma segregada por compartimento, enquanto na realidade cada escolha de produto/volume de um compartimento

pode influenciar na determinação dos outros compartimentos. Verifica-se que esta simplificação resulta na diferença observada, embora o valor real ainda se encontre dentro do intervalo de confiança estabelecido para a média.

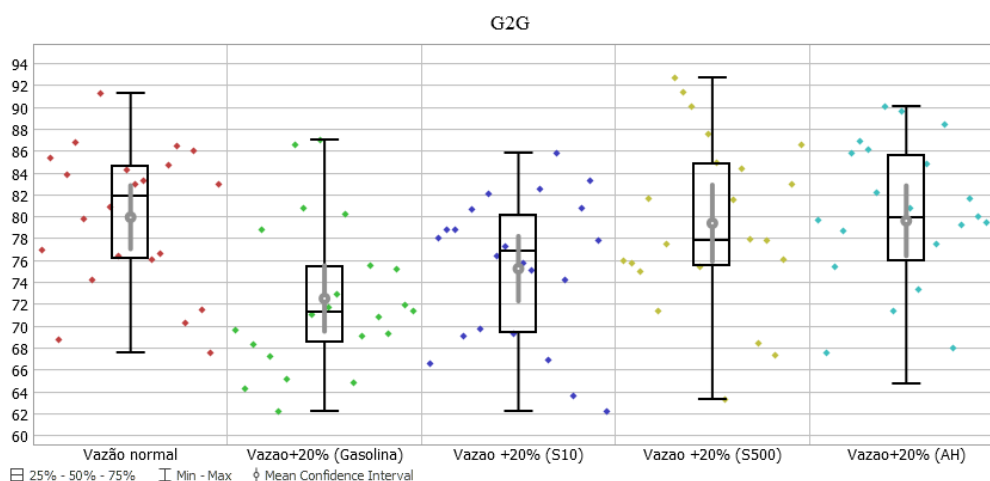
Deste modo, de acordo com a comparação dos indicadores de performance entre o sistema real e o simulado, pode-se afirmar que o modelo desenvolvido é adequado para representar o sistema estudado, sendo possível utiliza-lo para conduzir os experimentos de simulação desejados.

## 4.2 Experimentos de Simulação

### 4.2.1 Aumento da vazão de carregamento

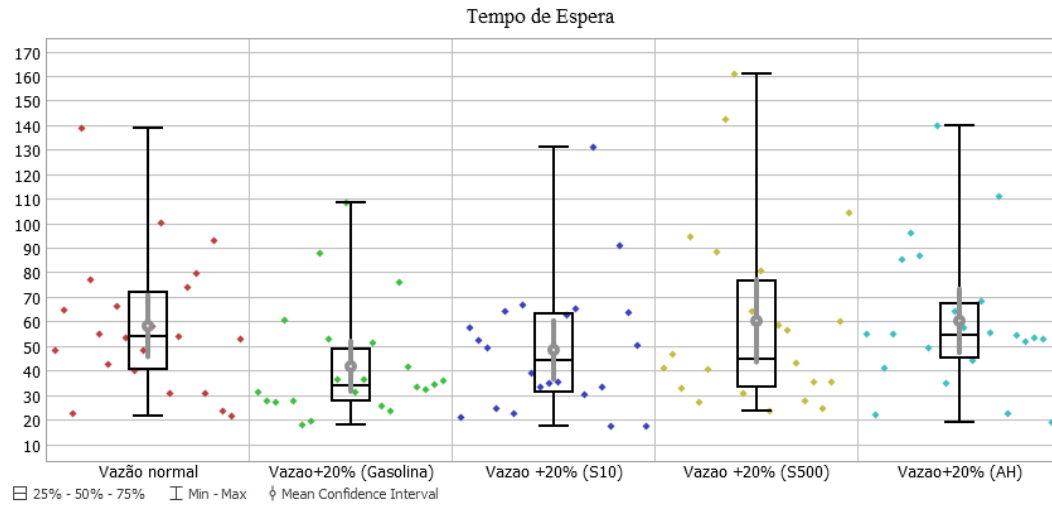
A vazão de carregamento é um dos parâmetros que possui o maior potencial para aumentar ou reduzir a eficiência do carregamento. Como observado, o volume médio movimentado no modelo é alto, podendo exceder 3 milhões de litros, de modo que um aumento mesmo que baixo na vazão pode significar várias horas economizadas e a possibilidade de carregar milhares de litros a mais. Nas Figuras 21, 22 e 23 são apresentados diagramas de caixa comparando os resultados obtidos quando se altera a vazão de cada combustível em 20%.

Figura 21 – Diagrama de caixa comparativo entre os *lead times* obtidos com alteração de vazão



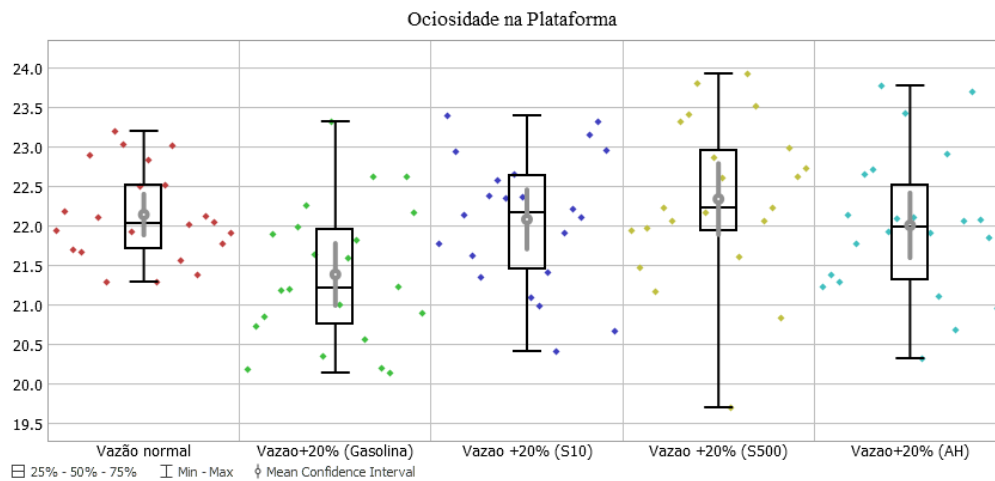
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 — Diagrama de caixa comparativo entre os tempos de espera obtidos com a alteração de vazão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23– Diagrama de caixa comparativo entre os *lead times* obtidos com a simulação com alteração de vazão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido a baixa representatividade do S-500 e do Etanol Hidratado, é observada uma alteração muito baixa no *lead time* com um aumento de vazão para estes combustíveis, principalmente para o Hidratado, que se aproxima muito do G2G encontrado com vazão normal. O S-10 já apresenta uma redução mais elevada, de 4 minutos, e o aumento da vazão na Gasolina resulta em uma redução muito vantajosa para a operação, de 7 minutos. É interessante observar que ao aumentar a vazão do S-500, apesar de reduzir o *lead time*, houve um moderado aumento no indicador de ociosidade. Isto pode ocorrer devido ao produto ser carregado em menor quantidade, pois o motorista que tem diesel S-500 em sua programação finaliza os compartimentos de S-500 mais cedo e aguarda o motorista da baía ao lado finalizar os compartimentos de gasolina ou S-10 para poder utilizar o braço de carregamento.

#### 4.2.2 Acréscimo de braços de carregamento

Um dos fatores que pode contribuir para a ineficiência das operações na plataforma é o tempo que os motoristas aguardam para utilizar um braço já em uso pelo motorista carregando o caminhão ao lado. Neste cenário, busca-se explorar a redução desta ineficiência modificando a configuração dos braços de carregamento. A ilha 1 tem espaço para instalação de um braço adicional, possibilitando acrescentar um braço extra de Gasolina, tornando o carregamento simultâneo. Uma vez que o produto é o mais requisitado, a chance de que dois ATs em uma mesma ilha tenham este combustível em sua programação para carregamento é grande.

Tabela 4 – Resultados obtidos com o acréscimo de um braço de carregamento de gasolina

Indicador de Performance( diário)	Média	Intervalo de Confiança (95%)		Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
		Limite Inferior	Limite Superior			
G2G	76,7	72,9	80,6	8,6	57,6	91,4
Tempo de Espera	49	35	62	30	15	136
Ociosidade	21,51	21,14	21,88	0,84	128,87	22,98

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se, pela Tabela 4 que a modificação resulta em uma redução no *lead time*, tempo de espera e ociosidade, mas não é tão significativa quanto a redução observada no aumento de vazão. Isto ocorre porque se aplica a uma só ilha, enquanto a alteração da vazão afeta toda a plataforma de carregamento. Além disto, o braço extra de gasolina só se torna útil quando na mesma ilha se os dois carros que carregarão majoritariamente gasolina, e o restante das suas programações de carregamento não inclui outros produtos em quantidade suficiente para permitir o uso alternado dos braços de carregamento sem que haja ociosidade.

#### 4.2.3 Utilizando um método heurístico para direcionar carros às baias

Quando dois caminhões em uma mesma ilha apresentam programações de carregamento compatíveis, há uma tendência que o carregamento seja mais eficiente. Se um motorista precisa carregar 30.000 litros de Gasolina e outro na mesma ilha necessita de 30.000 litros de S-10, os dois carregam simultaneamente, utilizando braços de carregamento distintos. Entretanto, se os dois precisassem carregar 30.000 litros de Gasolina apenas, a ociosidade seria inevitável: como só há um braço para cada produto por ilha, um dos motoristas teria que aguardar até que o outro concluísse o seu carregamento, de modo que uma baía ficaria ociosa durante o tempo necessário para que um dos motoristas carregasse os 30m<sup>3</sup> programados do combustível.

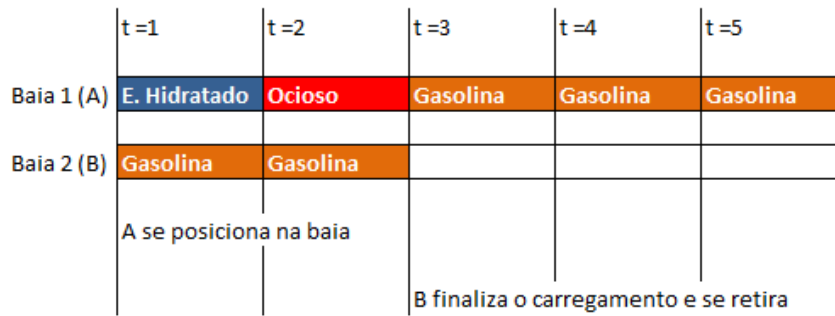
Na prática, dificilmente estes casos extremos acontecem. Nem sempre o uso dos braços consegue ser alternado de maneira que a ociosidade na plataforma seja zero, ou seja, os dois caminhões posicionados em cada ilha estejam sempre em carregamento, embora, da mesma forma, é improvável que um motorista se dirija a uma ilha se o AT em carregamento nesta ilha tiver uma programação totalmente incompatível com a sua. Geralmente os motoristas procuram se informar sobre os combustíveis que estão sendo carregados nas ilhas para evitar esta ociosidade, embora, por muitas vezes, não tomem as melhores decisões.

Até então, o modelo desenvolvido desconsidera estas decisões tomadas pelos motoristas e direciona os ATs às baias de carregamento segundo uma política *First-come, first served* (FCFS): quando o caminhão em uma baia conclui o carregamento e se retira do terminal, o primeiro AT em fila na faixa de espera é direcionado a baia. Como não se leva em consideração a programação do outro AT em carregamento localizado na mesma ilha, a ociosidade consequente do posicionamento do AT em fila nesta baia é aleatória, podendo assumir valores elevados e atrasar o carregamento. Por isto se torna interessante explorar esta problemática no modelo, buscando uma maneira de reduzir a ociosidade na plataforma, reduzindo o tempo de carregamento.

Para conseguir avaliar corretamente as alternativas de atribuições de caminhões às baias, é fundamental conseguir mensurar  $O_{AB}$ , a ociosidade esperada ao direcionar o caminhão-tanque  $A$  a uma ilha onde já se encontra o caminhão em carregamento  $B$ . Poderíamos expressar esta ociosidade em unidade de tempo, mas para simplificar o problema, considera-se no cálculo deste indicador que a vazão dos produtos é igual, logo a quantidade em litros é diretamente proporcional ao tempo em espera. Deste modo,  $O_{AB}$  retornará um valor referente a quantidade de combustível (em litros) que será carregada enquanto um AT permanece em ocioso, aguardando a disponibilidade do braço.

Na Figura 24 é ilustrada uma sequência de carregamentos em duas baias de uma mesma ilha por meio de uma linha do tempo, com um AT  $A$  que está programado para carregar 15.000 litros de Gasolina e 5.000 litros de Etanol Hidratado e o caminhão-tanque  $B$ , que já se encontra na baia e precisa carregar 10.000 litros de Gasolina para terminar o seu carregamento.

Figura 24 – Sequência de carregamento em uma ilha com dois ATs



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que ao chegar à ilha, o motorista do caminhão *A* inicia o carregamento de hidratado, pois o caminhão *B* precisa carregar apenas gasolina, e tem prioridade por já ter iniciado seu carregamento anteriormente. Após finalizar o compartimento de hidratado, o AT da baia 1 não pode mais carregar nenhum combustível, pois só lhe resta gasolina para concluir a programação, e o braço de carregamento deste produto já está sendo utilizado pelo motorista do caminhão *B*. Somente em  $t = 3$ , o motorista da baia 2 finaliza o carregamento e cede o braço para ser utilizado pelo motorista da baia 1, que inicia o carregamento de gasolina.

Durante a operação dos dois carros, o motorista do caminhão *A* teve que aguardar o carregamento de 5.000 de Gasolina, portanto, neste caso,  $O_{AB}=5.000$ . Note que quando  $t \geq 3$ , um novo AT deve se posicionar na baia 2, o que não é considerado nesta análise. Quando se posiciona outro caminhão, é calculado outro indicador de ociosidade entre o caminhão em fila e o caminhão *A*, que agora tem prioridade e precisa carregar 15.000 litros de gasolina.

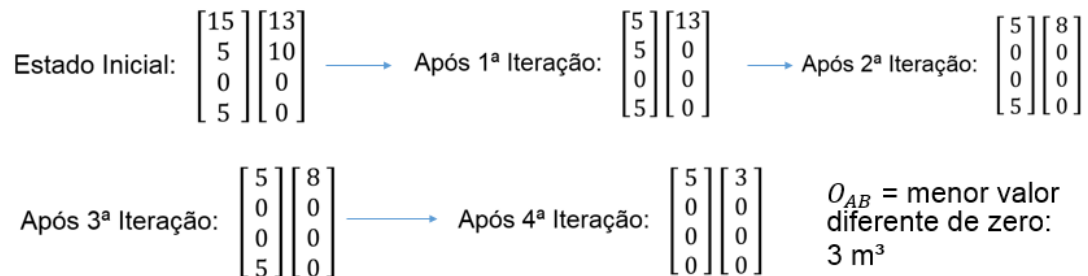
O cálculo deste indicador de ociosidade pode ser realizado analiticamente como ilustrado para qualquer combinação entre ATs, entretanto, para testá-lo no modelo computacional, de modo que o valor possa ser calculado várias vezes durante cada replicação, é necessário elaborar um método estruturado para obter este indicador. Como este valor depende essencialmente da quantidade e tipos de combustíveis carregados, cada AT pode ser definido neste contexto por um vetor  $A_i = [A_1, A_2, \dots, A_n]$ , seja  $A_i$  o volume total que o AT *A* precisa carregar do combustível tipo  $i$ . Como no terminal estudado são utilizados apenas 4 tipos de combustíveis,  $n$  é sempre igual a 4.

Na Figura 25 é ilustrada a aplicação do método utilizando vetores para representar os caminhões. Neste exemplo, o AT *A* tem 15m<sup>3</sup> de gasolina, 5m<sup>3</sup> de diesel S-10 e 5m<sup>3</sup> de etanol hidratado em sua programação, enquanto o AT *B* tem 13m<sup>3</sup> de gasolina e 10m<sup>3</sup> de diesel S-10.



Em cada iteração, compara-se um elemento  $A_i$  com os elementos de  $B$  que possuem índice  $j$  diferente de  $i$  (ou seja, os tipos de combustíveis são diferentes) e procura-se eliminar de ambos vetores os combustíveis que podem ser carregados simultaneamente, subtraindo os elementos sempre que possível. Se ao final destas operações, um dos vetores apresentar soma igual a zero, significa que um dos carros terminará o carregamento e sairá da baía sem que haja ociosidade. Caso contrário, o menor valor entre os elementos dos dois vetores diferente de zero representa o volume restante para que um dos ATs finalize o seu carregamento enquanto o outro aguarda, representando a ociosidade. No exemplo da Figura 25, atribui-se o valor de  $3\text{m}^3$  à ociosidade, pois este é o menor valor diferente de zero encontrado após a última iteração.

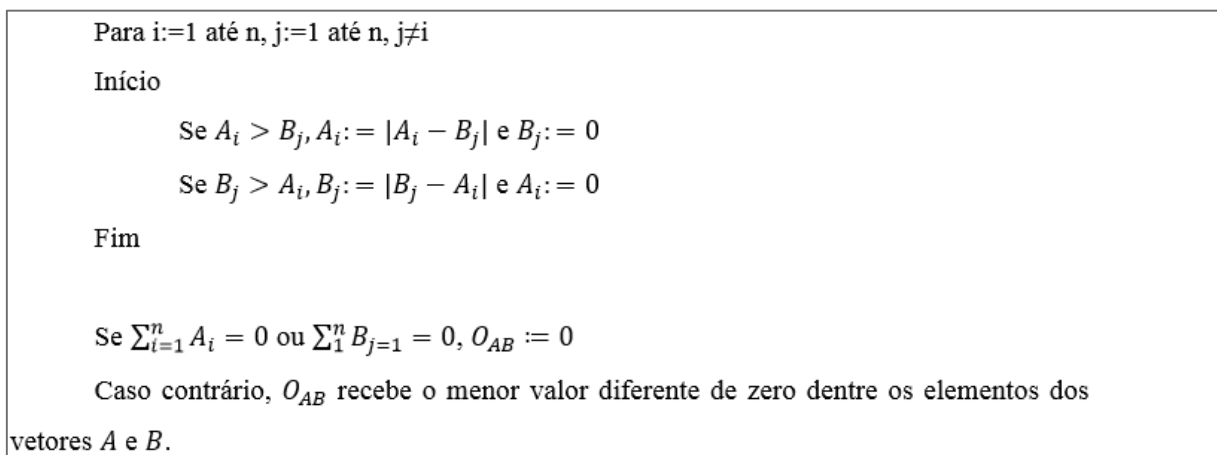
Figura 25 – Algoritmo para determinar a ociosidade gerada pela associação de dois ATs à uma mesma ilha



Fonte: Elaborado pelo autor.

O algoritmo desenvolvido para este processo foi implementado em *flexscript* no modelo de simulação, e está descrito por meio de um pseudocódigo na Figura 26, tornando o modelo capaz de identificar o atraso que causará no tempo de carregamento quando direcionar cada AT em fila à uma baía vazia.

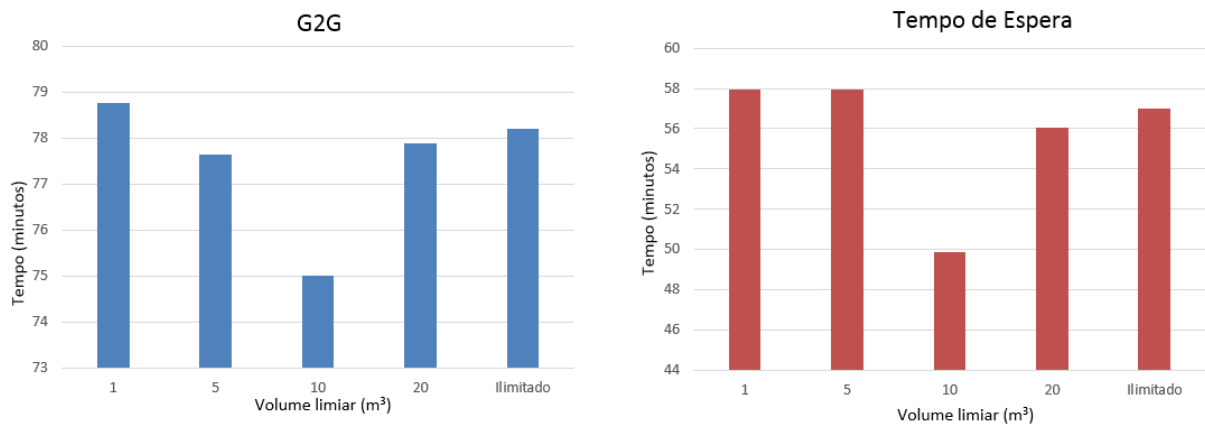
Figura 26 – Algoritmo para determinar a ociosidade gerada pela associação de dois ATs à uma mesma ilha



Fonte: Elaborado pelo autor.

No modelo é implementada uma política simples para evitar ociosidade elevada na plataforma: quando uma baia vazia é encontrada, se o primeiro motorista da fila tiver uma programação de carregamento que, quando comparada com a programação do carro que já se encontra na baia ao lado, apresenta  $O_{AB} < l$ , seja  $l$  uma constante que define o limite aceitável de ociosidade, o motorista é direcionado a baia vazia. Caso contrário, a mesma comparação é realizada com cada motorista em fila, por ordem de chegada, até que a condição seja atendida, e o AT seja por consequência direcionado à baia. Esta política é uma simplificação do modo como os motoristas tomam estas decisões na prática, pois geralmente se dirigem a uma ilha se tiverem que esperar o motorista ao lado carregar uma quantidade de combustível menor que o valor limiar  $l$ . Na Figura 27, são apresentados os resultados obtidos com a realização de simulações com 5 cenários com diferentes valores de  $l$ .

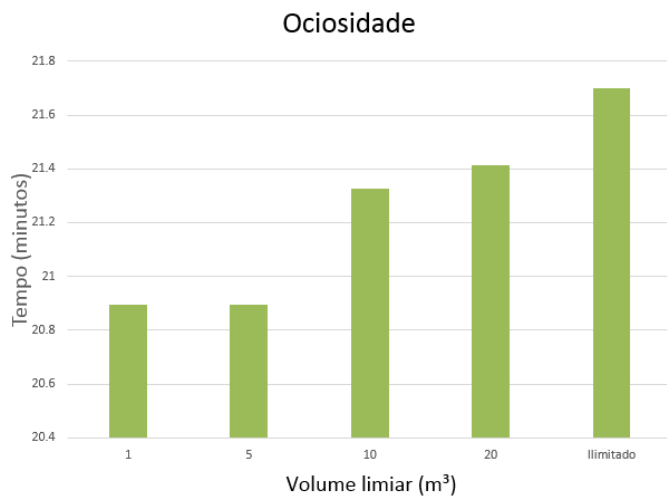
Figura 27– Indicadores G2G e Tempo de Espera para diferentes valores de  $l$



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que, quando o valor limiar é muito pequeno, não se admite de maneira alguma posicionar dois motoristas em uma baia se as programações destes carros foram perfeitamente compatíveis. Isto garante que praticamente nenhum tempo é desperdiçado na plataforma por espera por braços de carregamento, mas torna a alocação de caminhões bem menos eficiente. Enquanto não encontrar a ilha adequada para o AT, o AT permanece aguardando na faixa de espera por mais tempo, e isto se reflete em um aumento no *lead time*. Com base nos resultados apresentados na Figura 28, pode-se constatar que, apesar do indicador de ociosidade geral diminuir quando o volume limiar é baixo, o G2G aumenta consideravelmente.

Figura 28 – Indicador de ociosidade geral na plataforma para diferentes valores de  $l$



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando o valor limiar é alto demais, qualquer ociosidade entre dois carros se torna aceitável, então os carros são associados aleatoriamente às baias, da mesma forma que ocorre no modelo de referência. Esta aleatoriedade permite que várias escolhas de alocação ruins sejam feitas, resultando em alta ociosidade, aumentando o *lead time*. A política que se mostra mais vantajosa de fato é estabelecer um valor limiar adequado para a ociosidade. A tomada de decisão pelos motoristas é bem menos estruturada ou padronizada, mas ao indagá-los sobre a maneira como tomam este tipo de decisão, a maioria indicou que evitariam uma ilha na qual tivessem que esperar o AT ao lado carregar um volume entre 5.000 e 15.000. No modelo, constata-se que o valor ideal para tomar como limiar é 10.000, pois resulta em maior eficiência, apesar de permitir certo nível de ociosidade na plataforma.

#### 4.2.4 Demanda e Capacidade

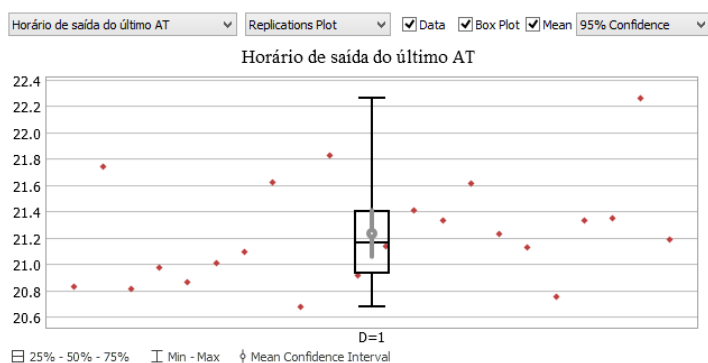
Além de observar os demais indicadores, que são fundamentais na constatação do impacto que cada alteração tem sobre a eficiência da operação de carregamento, neste estudo observa-se também a influência destes fatores sobre a capacidade que o terminal tem de atender a demanda. Pode-se mensurar esta capacidade pelos indicadores: número de caminhões-tanque carregados e volume total carregado por dia. Para que estes indicadores sejam utilizados para estimar a capacidade máxima, entretanto, é necessário também alterar a demanda, que até então era gerada de acordo com as distribuições de probabilidade obtidas por faixa horária, e levar em consideração o horário de encerramento das operações do terminal.

No modelo de simulação, a configuração para os intervalos entre chegadas garante que não serão gerados ATs para carregamento após o horário máximo de faturamento, embora não seja definido um limite de horário de carregamento, e o terminal atenda todos os carros que entram no terminal após o faturamento. Na prática, o horário varia bastante em função da demanda diária, podendo terminar bem mais cedo ou mais tarde do que o planejado. Contudo que a média do horário de fechamento não aumente, isto não prejudica as operações, pois quando a movimentação é mais intensa e o terminal fecha mais tarde, atrasando o início das operações no dia seguinte, as variações de demanda ao longo da semana compensam este atraso, mantendo o sistema em equilíbrio. Se a média do horário de fechamento se tornasse mais elevada, entretanto, o terminal quase sempre encerraria as operações com atraso, elevando as filas e o tempo de espera a um ponto inaceitável, pois estaria operando com capacidade insuficiente. Por isto considera-se a média do horário de fechamento como restrição nesta análise, que deve se manter abaixo do valor estipulado.

Portanto, para mensurar a capacidade do terminal em relação a demanda, procura-se o maior valor de  $N$  e  $V$ , respectivamente, o número médio de ATs carregados e o volume médio carregado em um dia, contanto que o horário em que o último AT finaliza o carregamento apresente média inferior ao horário de fechamento  $h$ . Assume-se que a chegada de ATs segue as distribuições de probabilidade encontradas com os dados reais, e que uma demanda superior ou inferior a esta pode ser obtida multiplicando os resultados obtidos por uma constante.

Inicialmente, é considerado o horário de fechamento das operações como 22:00, e é simulado o funcionamento do terminal sem alterações no funcionamento. Verifica-se que com a demanda real, a média do horário em que o último AT finaliza seu carregamento é igual a 21,23, menor que o horário de 22h estabelecido, conforme mostra o diagrama de caixa da Figura 29. Entende-se, portanto, que a capacidade atual do terminal é adequada para a demanda, resultando em uma média de ATs atendidos de 125,2 e volume médio 3.033.455 por dia.

Figura 29 – Diagrama de caixa para o horário de saída do último AT sob funcionamento normal

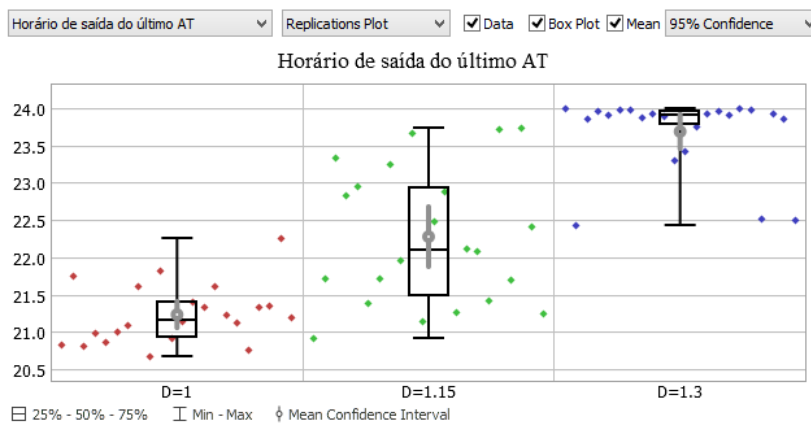


Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se estimar a capacidade máxima para uma demanda com as mesmas variações ao longo do dia multiplicadas por uma constante. No modelo computacional, esta constante é definida uma variável global  $D$ , que multiplica todas as taxas de chegada. O objetivo é encontrar o valor desta variável que torna a média do horário de saída do último AT o mais próximo possível de 22h, sem ultrapassá-la. A alternativa encontrada para calcular este valor foi realizar múltiplas simulações independentes com diferentes valores para a variável de demanda. Escolhe-se intervalos para o valor de  $D$ , e a partir dos resultados obtidos, são realizadas novas simulações, desta vez com um intervalo menor para a demanda, mais próximo do valor a ser alcançado. As iterações terminam quando aumentos no valor da variável não são mais capazes de aumentar o número de ATs carregados por dia sem que a média de horário de saída do último AT ultrapasse o limites estabelecido.

Na Figura 30, é ilustrado o resultado obtido na primeira iteração para três cenários distintos. No primeiro, a variável de demanda assume o valor 1, enquanto o segundo cenário considera um aumento de 15%. O terceiro cenário considera uma demanda 30% maior. Verifica-se que o terceiro cenário é totalmente inviável, pois com o último AT saindo do terminal 23,8 horas, em média, não haveria tempo para realizar a contabilização do estoque.

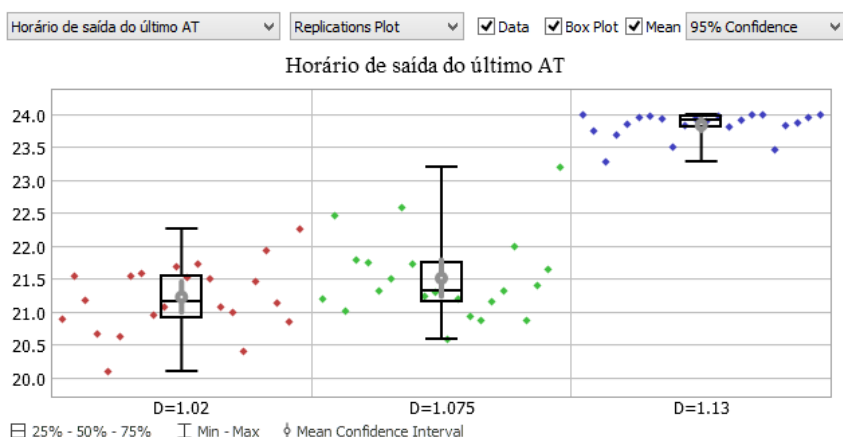
Figura 30 – Diagrama de caixa comparativo entre três possíveis cenários para a demanda



Fonte: Elaborado pelo autor.

São simulados então novamente 3 cenários com diferentes valores para a variável, compreendendo desta vez um intervalo com valores entre os dois primeiros cenários, conforme apresentado na Figura 31.

Figura 31 – Diagrama de caixa comparativo entre cenários intermediários para a demanda



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos ainda estão distantes do alvo, 22h, de modo que é necessário realizar simulações com valores intermediários entre o segundo e terceiro cenário. São realizadas outras 3 iterações em seguida, reduzindo cada vez mais a diferença entre os valores da variável até que se encontra o valor de 1,106. Não foi possível obter média do horário de saída do último AT inferior a 22h quando a variável de demanda assume valores maiores que este. Deste modo, estima-se a capacidade máxima do terminal, com uma média de 141,3 caminhões e 3.305.000 litros carregados por dia.

Tabela 5 - Resultados da simulação com e restrição do horário a 22h

Indicador de Performance( diário)	Média	Intervalo de Confiança (95%)		Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
		Limite Inferior	Limite Superior			
G2G	84	81,7	86,4	5,3	70	90,5
Tempo de Espera	98	75	121	53	33	260
Ociosidade	22	21,65	22,35	0,78	20,43	23,43
Número de ATs	141,3	137,2	145,4	9,3	126	157
Horário de saída do último AT	21,96	21,52	22,39	0,97	20,71	23,9
Volume carregado	3.305.000	3.198.926	3.411.074	239.197	2.787.000	3.715.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível também reduzir o tempo necessário para realizar o fechamento inserindo novas tecnologias, como sistema de medição automática, automação dos controles de estoque, dentre outras melhorias. Para visualizar um possível impacto desta mudança, é realizado o mesmo método para encontrar o maior valor da variável de demanda, com a restrição de que a média

do horário de saída do último AT não poderá ultrapassar 23h. Nesta simulação, foram alterados também o intervalo entre chegadas. Como o terminal tem definido um horário após o qual o faturamento é encerrado, quando o horário de carregamento é estendido, o mesmo deve ocorrer com o de faturamento, caso contrário, mesmo com uma demanda maior poderia se observar ausência de carros ao final do dia. Para estipular o intervalo entre chegadas do horário posterior, ainda desconhecido, é considerada a média dos três últimos horários.

Tabela 6 – Resultados da simulação com demanda máxima e restrição do horário a 23h

Indicador de Performance( diário)	Média	Intervalo de Confiança (95%)		Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
		Limite Inferior	Limite Superior			
Número de Ats carregados	150,4	147	153,7	9,1	127	166
Horário de Saída do Último AT	22,97	22,7	23,24	0,75	21,81	23,98
Volume Carregado	3.551.091	3.473.625	3.628.556	211.124	303.400	3.881.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 6 que o número de ATs carregados por dia aumentou em 10 caminhões, e fora possível carregar em média 246 m<sup>3</sup> a mais de combustíveis.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Considerações

Por meio de uma consistente análise do processo de carregamento de auto-tanques do Terminal, compreendendo um extenso volume de dados e identificando os elementos lógicos inerentes às operações, principalmente quanto às decisões tomadas ao longo do processo, foi possível construir um modelo que represente o Terminal de Distribuição estudado de maneira satisfatória, devidamente validado com dados reais.

A elaboração do modelo envolveu a aplicação de diversos conceitos e ferramentas de simulação e pesquisa operacional, essenciais para adaptar a realidade do Terminal ao modelo de simulação computacional, de maneira que o modelo se tornasse robusto o suficiente para reproduzir as operações reais com fidelidade e, ao mesmo tempo, simplificado o suficiente para viabilizar seu desenvolvimento e manter a execução eficiente das simulações no *software* utilizado.

Foram simulados diferentes cenários para a instalação, sendo utilizados para explorar o potencial que modificações em seu funcionamento podem ter sobre a eficiência operacional. Verificou-se que o aumento da vazão dos combustíveis é a modificação que definitivamente resulta em maior eficiência, principalmente quando este aumento é válido para os combustíveis com maior movimentação (Gasolina e S-10). Foi possível observar também um aumento significativo, embora menor, nos principais indicadores ao se adicionar um braço de Gasolina à Ilha I.

Foi desenvolvido um método heurístico para direcionar caminhões às baias que se mostrou bastante eficaz em reduzir a ociosidade causada pela disponibilidade limitada de braços de carregamento e a incompatibilidade entre as programações dos ATs. Com a implementação deste método na forma de um algoritmo dentro do modelo de simulação e realização de vários testes, observou-se que nem sempre a redução de ociosidade na plataforma resulta em um aumento de eficiência operacional expresso pelo *lead time* e tempo de espera e que, em média, a eficiência do carregamento é maior quando se adota a política de não direcionar o caminhão em fila à baia vazia se houver a expectativa de que o motorista fique ocioso na plataforma enquanto o motorista da baia ao lado carrega um volume superior a 10.000 litros.

Observou-se ainda a capacidade de operação do Terminal comparada a demanda atual e verificou-se que a instalação possui capacidade adequada para atender a movimentação usual, embora um aumento da demanda diária média de volume para 3.300 m<sup>3</sup> já possa por em questão



um investimento em aumento de capacidade, pela dificuldade que a instalação terá em atender o volume requisitado, mantendo o horário de funcionamento dentro do necessário para realizar a contabilização de estoque. Avaliou-se a possibilidade de extensão do carregamento até o horário máximo de 23h, o que tornaria o terminal capaz de expedir 246 m<sup>3</sup> a mais de combustíveis.

O estudo da capacidade aliado à previsão de crescimento pode indicar o momento ideal para realizar um investimento em aumento da capacidade antes que a demanda a supere, evitando os possíveis transtornos do atendimento de uma demanda superior à capacidade do terminal, e evitando também investimentos precoces na capacidade e consequente má utilização de recursos.

A escolha de um investimento em eficiência operacional para implementação depende do capital disponível, do valor do investimento, da expectativa de crescimento e de vários outros fatores que fogem ao escopo deste estudo. Todavia, uma vez que se saiba quais as opções de investimento, o que esperar de cada uma delas em termos de eficiência e qual o momento adequado para implementá-las torna-se muito mais clara a análise, e muito maior a chance de que uma decisão que traga retornos positivos a organização seja tomada, e, neste aspecto, alinhado com os objetivos estabelecidos, o presente trabalho foi definitivamente eficaz.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Apesar do modelo desenvolvido envolver uma quantidade considerável de algoritmos e considerar várias particularidades da operação real do Terminal em estudo, no intuito de reproduzi-la com fidelidade, muitas simplificações tiveram de ser feitas durante o desenvolvimento do modelo. Há ainda várias particularidades do sistema real que poderiam ser implementadas no modelo computacional, como a variação da demanda em função do dia da semana, ou os picos de demanda observados em feriados, a baixa movimentação em determinados dias que podem ser modelados para visualizar melhor as flutuações reais de demanda e como a operação do terminal ocorre perante estes cenários. Uma modelagem mais realista do aumento de demanda e a distribuição deste aumento por faixas horárias e dias da semana poderia ser elaborada, levando em consideração observações de um extenso período, e os padrões encontrados no aumento da demanda.

O processo de carregamento em si também pode ser modelado de maneira mais detalhada, incluindo falhas e paralisações com baixa probabilidade de ocorrência não

consideradas no modelo e implementar modelos lógicos mais avançados, que se aproximem cada vez mais do sistema real, especialmente referente à maneira que os motoristas, operadores, e demais agentes dentro do processo tomam suas decisões e reagem às situações encontradas na operação.

Um interessante produto deste trabalho foi o desenvolvimento do método heurístico para direcionar os caminhões às baias, que pode ainda ser aprimorado. A presente implementação do método envolve uma simples política de rejeição ou não rejeição da atribuição de um caminhão A a uma ilha na qual já está posicionado um caminhão B, com base na ociosidade consequente desta combinação e o valor definido como limite. Um método mais complexo poderia não só visualizar cada atribuição individualmente, mas sim a alocação de ATs às baias como um todo, pois cada decisão de alocação tomada altera o estado do sistema e influencia as decisões futuras.

Deste modo, seria possível desenvolver um método que fosse capaz de obter uma solução ótima ou próximo à ótima para a alocação, testando a alocação dos ATs em fila de diferentes maneiras, incluindo todas as combinações possíveis, até que fosse encontrada a maneira mais eficiente de direcionar os ATs em fila, com base na configuração do sistema em um determinado período. Outra aplicação interessante seria adaptar o método para outras situações em que seja identificado um problema similar, por exemplo, uma máquina que executa vários tipos de serviço com capacidade limitada que recebe materiais com diferentes demandas de serviços.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIOK, Tayfur.; MELAMED, Benjamin: Simulation modeling and analysis with Arena. New Jersey: Elsevier, 2007.

BANKS, Jerry *et al.*: Discrete-Event System Simulation, 5th edition. Pearson, 2014.

CHOI, B. K., KANG, D.: Modeling and Simulation of Discrete-Event Systems. Wiley, Hoboken 2013.

ELSAYED, Elsayed.; BOUCHER, Thomas: Analysis and Control of Production Systems, 2nd edition. Prentice Hall, 1994.

EY: Perspectivas para a indústria de petróleo e gás no Brasil. 2014 Disponível em: <[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Perspectivas\\_Oleo\\_Gas\\_Brasil/\\$FILE/LR%20Estudo%20Centro%20de%20energia%2010\\_02\\_2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Perspectivas_Oleo_Gas_Brasil/$FILE/LR%20Estudo%20Centro%20de%20energia%2010_02_2014.pdf)>. Acesso em: 10.09.2015.

GOMES JR., Aloísio *et al.*: Um método heurístico híbrido para a resolução do problema de sequenciamento em uma máquina com penalidades por antecipação e atraso da produção. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2007.

GONÇALVES, Frederico: Sequenciamento em uma Máquina: Otimização Heurística via multiprocessamento paralelo. Belo Horizonte, 2010.

HADDAD, Matheus N. *et al.*: Algoritmos Genéticos para o Problema de Sequenciamento em Máquinas Paralelas Não-Relacionadas com Tempos de Preparação Dependentes da Sequência. XLIII Simpósio de Pesquisa Operacional, Ubatuba, 2011.

HILLER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J: Introdução à pesquisa operacional. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

KELTON, W.D.; LAW, A.M. : Simulation Modeling & Analysis. 2ed. New. York, NY: McGraw Hill. 1991.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G. C.: Applied Statistics and probability for engineers: Wiley, 2003.

RESENDE, M.G.;RIBEIRO C.C.: Greedy Randomized Adaptive Search Procedures, 2003.

TAHA, Hamdy A. Operations Research: An Introduction, 8th ed. Prentice Hall N.J., 2007.

WINSTON, Wayne L.: Operations Research Applications & Algorithms, 4th ed, Thompson Brooks/ Cole, U.S., 2004.

ZAPATA, J. C. *et al.*: Assessment of Discrete Event Simulation Software for Enterprisewide Stochastic Decision Problems. Indiana, 2014.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – Distribuições de probabilidade para os tempos entre chegadas por faixa horária para ATs FOB

		FOB	
Horario	Distribuição		Alfa
0	pearson6( 6.120058, 611.436754, 1.186496, 3.225706)		.455
1	johnsonbounded( 0.040160, 3511.651100, 1.215802, 0.611169)		.672
2	pearson6( 0.000000, 81329.538091, 0.995313, 99.726206)		.774
3	exponential( 0.000000, 888.244344)		.449
4	exponential( 0.236056, 928.707909)		.887
5	pearson6( 0.235773, 10102.190558, 1.061263, 18.120651)		.226
6	erlang( 11.815963, 819.816221, 1.000000)		.473
7	erlang( 21.696536, 1065.510565, 1.000000)		.109
8	gamma( 0.030709, 808.315389, 1.313466)		.188
9	johnsonbounded( 0.070280, 3882.630469, 0.935041, 0.686524)		.993
10	pearson6( 4.959351, 70372.057704, 1.211922, 99.954361)		.911
11	johnsonbounded( 0.026844, 4181.781123, 1.198242, 0.808927)		.070
12	gamma( 4.222701, 991.102810, 0.972095,)		.772
13	weibull( 0.000000, 1026.588663, 1.110791)		.171
14	gamma( 0.000000, 1065.626692, 0.959784)		.283
15	beta( 0.206393, 7109.484975, 1.055803, 7.043803)		.482
16	exponential( 1.416337, 817.193328)		.512
17	weibull( 12.400713, 1005.980459, 1.12216)		.087
18	exponential( 0.000000, 1125.196970)		.329
19	johnsonbounded( 0.446844, 3682.890270, 0.460276, 0.639751)		.956
20	0		
21	0		
22	0		
23	0		

APÊNDICE B – Distribuições de probabilidade para os tempos entre chegadas por faixa horária para ATs CON

CON		
Horario	Distribuição	Alfa
0	0	
1	0	
2	pearson6( 0.000000, 51508.359580, 1.236665, 99.698401)	1
3	pearson6( 0.617261, 12116.402272, 1.121865, 13.339285)	.637
4	johnsonbounded( 0.791370, 14668.804462, 2.428744, 0.871641)	.542
5	pearson6( 0.000000, 2619.752518, 1.613660, 5.678246)	.898
6	beta( 12.707375, 14142.239544, 1.001864, 10.375285)	.226
7	gamma( 0.000000, 897.042755, 1.636396)	.690
8	johnsonbounded( 102.089664, 9392.663067, 0.779222, 0.718651)	.395
9	johnsonbounded( 12.263259, 11612.257115, 1.163742, 0.591148)	.561
10	weibull( 0.000000, 1602.398117, 0.919528)	.527
11	exponential( 0.000000, 1827.475806)	.478
12	pearson6( 0.000000, 18687.117554, 1.208081, 12.398809)	.518
13	beta( 0.378387, 11857.695412, 1.228317, 5.919695)	.628
14	pearson6( 9.876183, 180448.514194, 1.240110, 99.964402)	.241
15	pearson6( 8.774237, 9941.524758, 1.150599, 7.237634)	.387
16	pearson6( 0.000000, 8188.224178, 1.136052, 5.463996)	.942
17	johnsonbounded( 236.303573, 17914.597935, 1.557599, 0.72557)	.821
18	0	
19	0	
20	0	
21	0	
22	0	
23	0	

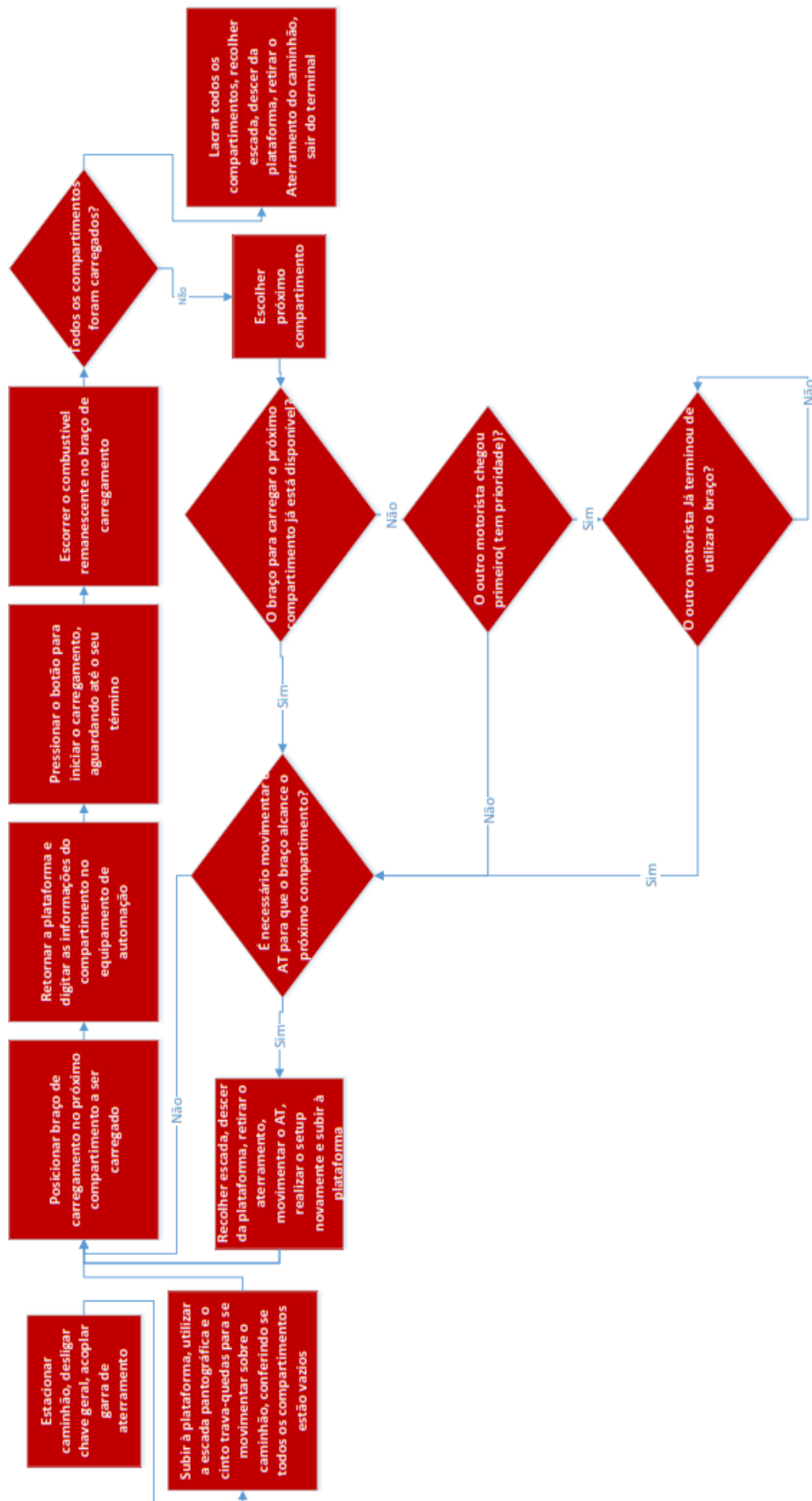
APÊNDICE C – Distribuições de probabilidade para as taxas médias de chegada por faixa horária para ATs CIF

CIF		
Horário	Taxa média de Chegada	Alfa
0	4	0.306
1	2	0.505
2	1	0.481
3	1	0.683
4	0	
5	0	
6	1	0.366
7	1	0.274
8	2	0.324
9	1	0.202
10	1	0.608
11	1	0.873
12	1	0.844
13	1	0.274
14	1	0.576
15	1	0.202
16	0	
17	0	
18	0	
19	3	0.328
20	1	0.686
21	0	
22	0	
23	0	

APÊNDICE D – Distribuições de probabilidade encontradas para as etapas do processo de carregamento

Descrição	Definição do Intervalo	Distribuição de Probabilidade	Nível de Significância ( $\alpha$ )
Deslocamento Entrada-Faixa de Espera	Do instante em que a cancela de entrada é liberada até o motorista abrir a porta da cabine após estacionar na faixa de espera	Beta( Min:49.04 , Max: 64.36 , Shape 1: 1.98, Shape 2 : 1.49)	.669
Setup na Faixa de Espera	Do momento em que o motorista abre a porta da cabine até o momento em que conclui a lacração do último compartimento	Log-Logistic( Location: 0, Scale: 179.18, Shape: 8.62)	.215
Deslocamento faixa de espera- plataforma	A partir de quando o motorista fecha a porta da cabine na faixa de espera até abri-la novamente, estacionado na plataforma	Beta( Min: 66.46, Max: 81.92, Shape1: 2.22, Shape 2: 4.41)	.578
Setup do Carregamento	Do momento em que o motorista abre a porta da cabine ao estacionar na baia de carregamento até iniciar a digitação dos dados de carregamento no equipamento de automação do carregamento	Erlang( Location: 0.30, Scaler: 1.93, Shape: 99.00)	.287
Tempo de Digitação	Quando o motorista inicia a digitação até pressionar o botão que libera a passagem de produto pela tubulação	Erlang( Location: 10.59, Scale: 0.12, Shape: 209.00)	.478
Carregamento	Intervalo compreendido entre o início da passagem de produto na tubulação até o fechamento das válvulas - Diretamente relacionado à vazão.	Constante Gasolina: 1020,408 l/min S-10/S-500: 797,8723 l/min Alcool Hidr.: 803,945 l /min	-
Setup do Compartimento	Do instante em que é interrompido o fluxo do compartimento anterior até o iniciar a digitação do próximo compartimento	Pearson Tipo 5 ( Location: 77.44, Scale: 50.11, Shape: 3.08)	.189
Setup da Saída	Do momento em que o fluxo de produto no último compartimento é interrompido até o motorista fechar a porta da cabine do AT	Johnson Bounded ( Min: 117.56, Max: 273.70, Shape 1: 0.09, Shape 2: 1.28)	.146
Deslocamento Plataforma-Saída	Quando o motorista fecha a porta da cabine do AT até a cancela de saída ser liberada	Beta( Min: 32.42, Max 39.26, Shape 1: 2.07, Shape 2: 1.29)	.392

APÊNDICE E– Fluxograma representando o processo de carregamento





APÊNDICE F – Fluxograma representando o algoritmo que controla a operação na plataforma

